

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ VE İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR
DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE YÜKSEK BİR BİNANIN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ersin Deniz ÇINAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ VE İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR
DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE YÜKSEK BİR BİNANIN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ersin Deniz ÇINAR
(501071205)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ

HAZİRAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501071205 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ersin Deniz ÇINAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ VE İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE YÜKSEK BİR BİNANIN TASARIMI”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cenk ALHAN
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **2 Haziran 2015**

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bilgi ve deneyimiyle yardımlarını esirgemeyen, kendisine her zaman ulaşabildiğim değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. A. Necmettin Gündüz' e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşime ve aileme göstermiş oldukları sabır ve hoşgörü için teşekkür ediyorum.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimim boyunca desteklerinden dolayı Modern Mühendislik firmasına ve Dr. Şamil Şeref Polat'a, bu tezin hesap ve yazım aşamasında beni yalnız bırakmayan ve her konuda yardımcı olan arkadaşlarım İnş.Yük.Müh.Seren Eremre ve İnş.Yük.Müh.Bihter Korkmaz'a teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2015

Ersin Deniz ÇINAR
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Kapsamı	1
2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞLARI VE DOĞRUSAL OLMAYAN TEORİYE GÖRE HESABI.....	3
2.1 Giriş	3
2.1.1 Sistem analizlerin sağlaması gerekenler	4
2.1.2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri.....	4
2.1.3 Yapı sistemlerinin dış yükler etkisindeki doğrusal olmayan davranışı.....	5
2.2 İç Kuvvet- Şekil Değiştirme Bağlılıları ve Akma Koşulları.....	8
2.2.1 Malzemelerin şekil değiştirme özellikleri.....	8
2.2.2 Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları ve akma koşulları	11
2.3 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Betonarme Sistemlerin Hesabı.....	16
2.3.1 Şekil değiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali	16
2.3.2 Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplanması hali	17
3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM	25
3.1 Giriş	25
3.2 Binalardan Bilgi Toplanması	25
3.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	26
3.3.1 Kesit hasar sınırları	27
3.3.2 Kesit hasar bölgeleri.....	27
3.4 Bina Deprem Performans Düzeyleri.....	28
3.4.1 Hemen kullanım performans düzeyi	28
3.4.2 Can güvenliği performans düzeyi	28
3.4.3 Göçme öncesi performans düzeyi	29
3.5 Deprem Hareketi.....	29
3.6 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri	30
3.7 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar.....	31
3.8 Depremde Bina Performansının Belirlenme Yöntemleri	33
3.8.1 Doğrusal elastik hesap yöntemleri	33
3.8.2 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri	36

4. İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR DEPREM YÖNETMELİĞİ TASARIM KURALLARI	39
4.1 Giriş.....	39
4.2 Deprem Etkisinin Tanımlanması	40
4.2.1 Deprem etkisinin tanımlanması.....	40
4.2.2 Deprem tasarım spektrumları	40
4.2.3 Zaman tanım alanında deprem etkisi	42
4.3 Yüksek Binalar İçin Tanımlanan Performans Düzeyleri, Performans Bölgeleri ve Performans Hedefleri	43
4.3.1 Minimum hasar / kesintisiz kullanım performans düzeyi (MH/KK)	43
4.3.2 Kontrollü hasar / can güvenliği performans düzeyi (KH/CG)	44
4.3.3 İleri hasar / göçmeme güvenliği performans düzeyi (İH/GG)	44
4.3.4 Performans bölgeleri	44
4.3.5 Yüksek binalar için öngörülen minimum performans hedefleri	45
4.4 Yüksek Binalar için Analiz ve Tasarım Yöntemleri.....	45
4.4.1 Yüksek binalar için analiz yöntemleri.....	45
4.4.2 Analiz modellerine ilişkin kural ve koşullar	47
4.4.3 Yüksek binalarda performansla göre deprem tasarım aşamaları.....	49
5. BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE TASARLANMASI	57
5.1 Yapı Genel Bilgileri.....	57
5.1.1 Malzeme bilgileri	62
5.1.2 Deprem parametreleri.....	63
5.1.3 Yükleme durumları	72
5.1.4 Yük kombinasyonları	73
5.1.5 Deprem hesabında kullanılacak kütlelerin tanımı	74
5.1.6 Çatlamış kesit rijitliklerinin belirlenmesi	75
5.1.7 Taşıyıcı sistem bilgileri	77
5.1.8 Analiz modellerinin oluşturulması	78
5.2 Performansa Göre Tasarım Aşamaları.....	91
5.2.1 Tasarım aşaması I-A	91
5.2.2 Tasarım aşaması II	122
5.2.3 Tasarım aşaması III	129
6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	151
KAYNAKLAR.....	153
EKLER.....	157
EK A	159
EK B	177

KISALTMALAR

BS	: Beton Sınıfı
BÇ	: Beton Çeliği
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
CG	: Can Güvenliği Performans Seviyesi
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
İYBDY	: İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği
TS500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
GB	: Göçme Bölgesi
GV	: Kesit Güvenlik Sınırı
GÇ	: Kesit Göçme Sınırı
GÖ	: Göçme Öncesi Performans Seviyesi
HK	: Hemen Kullanım Performans Seviyesi
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
MN	: Kesit Minimum Hasar Sınırı
SAP 2000	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
ETABS	: Extended 3D Analysis of Building Systems
PERFORM-3D	: Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri (Özer, 2009).	5
Çizelge 3.1 : Binalar için Düzeyi Katsayıları (DBYBHY, 2007).	26
Çizelge 3.2 : Binalar için Öngörülen Minimum Performans Hedefleri(İYYDY,2008).	30
Çizelge 3.3 : Betonarme Kirişler için Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (rs) (DBYBHY, 2007).	35
Çizelge 3.4 : Betonarme Kolonlar için Hasar Sınır Sınırları Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları(rs) (DBYBHY, 2007).	35
Çizelge 3.5 : Betonarme Perdeler için Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (rs) (DBYBHY, 2007).	35
Çizelge 4.1 : Kısa Periyot Zemin Katsayısı Fa (İYYDY, 2008).	41
Çizelge 4.2 : 1.0 sn Periyodu Zemin Katsayısı Fv (İYYDY, 2008).	41
Çizelge 4.3 : Çeşitli Deprem Düzeylerinde Yüksek Binalar için Hedeflenen Performans Bölgeleri (İYYDY, 2008).	45
Çizelge 4.4 : Yüksek Binalar için Performansa göre Tasarım Yaklaşımı (İYYDY, 2008).	55
Çizelge 5.1 : D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri B grubu zemin için S_s ve S_1 değerleri.....	63
Çizelge 5.2 : D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri B grubu zemin için Fa değerleri (İYYDY, 2008).	64
Çizelge 5.3 : D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri B grubu zemin için FV değerleri (İYYDY, 2008).	64
Çizelge 5.4 : D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri B grubu zemin için Fv ve Fa değerleri için özet tablo.	64
Çizelge 5.5 : D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri B grubu zemin için TS ve T0 Köşe periodları.	65
Çizelge 5.6 : Yükleme Durumları.....	73
Çizelge 5.7 : Yükleme Notasyonu	74
Çizelge 5.8 : Yükleme Kombinasyonları.....	74
Çizelge 5.9 : Perdeler için Çatlamış Kesit Rijitlikleri.	75
Çizelge 5.10 : Kolonlar için Çatlamış Kesit Rijitlikleri.	76
Çizelge 5.11 : B30x60 Kirişi için Plastik Dönem Kapasiteleri Hesabı.	85
Çizelge 5.12 : Kolon Tipleri ve Donatı Adetleri.	86
Çizelge 5.13 : C40x60 Kolonu için Fiber Elemanlar.	87
Çizelge 5.14 : " α_s " Katsayısının Belirlenmesi.....	93
Çizelge 5.15 : C16 Kolonu için Nd Eksenel Basınç Kuvvetleri.....	105
Çizelge 5.16 : C16 Kolonu için Donatı Oranları.	106
Çizelge 5.17 : P2 Perdesi Kesme Güvenliği Kontrolü.	121
Çizelge 5.18 : Değişik Durumlar İçin Kesme-Sürtünme Katsayısı (TS500, 2000).	121

Çizelge 5.19 : Taban Kesme Kuvvetleri.	140
Çizelge 5.20 : 40x60 Tüm Kirişleri için Plastik Mafsal Dönme Değerleri.	142
Çizelge A.1 : A1-Burulma Düzensizliği Kontrolü-X Yönü Deprem.	159
Çizelge A.2 : A1- Burulma Düzensizliği Y Yönü Deprem.	160
Çizelge A.3 : B1-Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği Kontrolü-X Yönü Depremi.	161
Çizelge A.4 : B1-Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği Kontrolü-Y Yönü Depremi.	162
Çizelge A.5 : Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği Kontrolü-X.....	163
Yönü.	163
Çizelge A.6 : Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği Kontrolü-Y	164
Yönü.	164
Çizelge A.7 : X Yönü Modal Kütle Katılımı.	165
Çizelge A.8 : Y Yönü Modal Kütle Katılımı.	167
Çizelge A.9 : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü-X Doğrultusu.	169
Çizelge A.10 : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü-Y Doğrultusu.	170
Çizelge A.11 : X Yönü Modal Kütle Katılımı.	171
Çizelge A.12 : Y Yönü Modal Kütle Katılımı.	173
Çizelge A.13 : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü-X Doğrultusu.	175
Çizelge A.14 : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü-Y Doğrultusu.	176
Çizelge B.1 :Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü- X Doğrultusu.....	177
Çizelge B.2 :Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü- Y Doğrultusu.....	184

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çeşitli Teorilere Göre Yük Parametresi-Yerdeğiştirme Bağlılıkları (Özer, 2009).	6
Şekil 2.2 : Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim (Özer, 2009).	8
Şekil 2.3 : Şematik Yük Parametresi-Şekil Değiştirme(P-Δl) Bağlılıkları (Özer, 2009).8	
Şekil 2.4 : Beton Çeliğinde σ - ϵ Bağlılıkları Diyagramı (Özer, 2009).	9
Şekil 2.5 : Beton Çeliğinin σ - ϵ Diyagramlarının İdealleştirilmesi (Özer, 2009).	10
Şekil 2.6 : Betonarme Bir Çubuk Elemanın Eğilmesinde Dış Basınç Lifindeki σ - ϵ Diyagramı (Özer, 2009).	10
Şekil 2.7 : Düzlem Çubuk Elemanlarda İç Kuvvetler ve Şekil Değiştirmeler (Özer, 2009).	12
Şekil 2.8 : Betonarme Kesitler Akma Eğrisi-Karşılıklı Etki Diyagramı (Özer, 2009).	13
Şekil 2.9 : Betonarme Kesitlerde (M- χ) Bağlılıkları (Özer, 2009).	15
Şekil 2.10 : Betonarme Kesitlerde Akma Eğrisi (Özer, 2009).	16
Şekil 2.11 : Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı (Özer, 2009).	17
Şekil 2.12 : Doğrusal Olmayan Şekil Değiştirmeler (Özer, 2009).	18
Şekil 2.13 : İdealleştirilmiş Denge Denklemleri (Özer, 2009).	19
Şekil 2.14 : Bir Yapının Atrna Yükler Altında Davranışı (Celep ve Gençoğlu, 2008).	22
Şekil 2.15 : Betonarme Perde Duvarların Fiber Modelleri (ATC72, 2010, S. 4-2)...	23
Şekil 2.16 : Betonarme Kolonların Fiber Modelleri (Özer, 2009).	24
Şekil 3.1 : Kesit Hasar Bölgeleri (DBYBHY, 2007).	27
Şekil 4.1 : İYBDY Tasarım Spektrumu (İYYDY, 2008).	41
Şekil 4.2 : İYBDY Performans Bölgeleri (İYYDY, 2008).	44
Şekil 4.3 : Moment-Eğrilik Bağlılıkları (İYYDY, 2008).	48
Şekil 4.4 : Ek Dışmerkezi Etkisi (İYYDY, 2008).	51
Şekil 4.5 : Asal Eksen Doğrultuları (İYYDY, 2008).	51
Şekil 5.1 : Bodrum Kat Planı.	58
Şekil 5.2 : Zemin Kat Planı.	58
Şekil 5.3 : 1.Kat Kat Planı.	59
Şekil 5.4 : 4 Kat Planı.	59
Şekil 5.5 : 6.Kat Planı.	60
Şekil 5.6 : Tip Kat Planı.	60
Şekil 5.7 : 3 Boyutlu Görünüş.	61
Şekil 5.8 : D1 Deprem Düzeyi Tasarım Spektrumu.	65
Şekil 5.9 : D2 Deprem Düzeyi Tasarım Spektrumu.	66
Şekil 5.10 : D3 Deprem Düzeyi Tasarım Spektrumu.	66
Şekil 5.11 : D1, D2 ve D3 Deprem Düzeyleri Tasarım Spektrumları.	67
Şekil 5.12 : Deprem Kayıt Parametreleri.	67

Şekil 5.13 : Irpinia,Italy-01_Torro Del Greco_Parallel - İvme(g)/ Zaman-H1.	68
Şekil 5.14 : Irpinia,Italy-01_Torro Del Greco_Normal - İvme(g)/ Zaman-H2.	68
Şekil 5.15 : Loma Prieta_Hayward City Hall-North_Parallel - İvme(g)/ Zaman-H1.	68
Şekil 5.16 : Loma Prieta_Hayward City Hall-North_Normal- İvme(g)/ Zaman-H2.	69
Şekil 5.17 : Loma Prieta_Hollister SAGO Vault_Parallel- İvme(g)/ Zaman-H1.	69
Şekil 5.18 : Loma Prieta_Hollister SAGO Vault_Normal- İvme(g)/ Zaman-H2.	69
Şekil 5.19 : Loma Prieta_Belmont Envirotech_Parallel- İvme(g)/ Zaman-H1.	70
Şekil 5.20 : Loma Prieta_Belmont Envirotech_Normal- İvme(g)/ Zaman-H2.	70
Şekil 5.21 : Loma Prieta_Calaveras Reservoirs_Parallel- İvme(g)/ Zaman-H1.	70
Şekil 5.22 : Loma Prieta_Calaveras Reservoirs_Normal- İvme(g)/ Zaman-H2.	71
Şekil 5.23 : Morgan Hill San Justo Dam-L Abut_Parallel- İvme(g)/ Zaman-H1.	71
Şekil 5.24 : Morgan Hill San Justo Dam-L Abut_Normal- İvme(g)/ Zaman-H2.	71
Şekil 5.25 : Morgan Hill San Justo Dam-R Abut_Parallel- İvme(g)/ Zaman-H1.	72
Şekil 5.26 : Morgan Hill San Justo Dam-R Abut_Normal- İvme(g)/ Zaman-H2.	72
Şekil 5.27 : Tip Kat Yapı Taşıyıcı Sistem Boyutları.	78
Şekil 5.28 : Doğrusal Analiz Modeli.	79
Şekil 5.29 : Doğrusal Olmayan Analiz Modeli-Perform3D.	81
Şekil 5.30 : B30x60 Kirişi Section Designer Modeli.	82
Şekil 5.31 : SAP2000 B30x60 Kirişi için Beton Modeli.	83
Şekil 5.32 : B30x60 Kiriş için Donatı %1 Gerilme Değeri için Kesit Özellikleri.	83
Şekil 5.33 : B30x60 Kiriş için Donatı %4 Gerilme Değeri için Kesit Özellikleri.	84
Şekil 5.34 : B30x60 Kiriş için Donatı %6 Gerilme Değeri için Kesit Özellikleri.	84
Şekil 5.35 : B30x60 Kiriş için Perform3D Plastik Dönme Kapasiteleri.	85
Şekil 5.36 : C40x60 Kolonu için Kesit Özellikleri.	86
Şekil 5.37 : C40x60 Kolonu için SAP2000 Oluşturulan Fiber Özellikleri.	87
Şekil 5.38 : P1A Perdesi için Başlık Bölgeleri ve Donatı Yerleşimleri.	89
Şekil 5.39 : P1A Perdesi'nin bir kolu için fiber elemanların manuel olarak belirlenmesi.	89
Şekil 5.40 : P1A Perdesi'nin bir kolu için fiber elemanların yazılım ile belirlenmesi.	90
Şekil 5.41 : Perform 3D Kontrol Fiberleri Modellenmesi.	90
Şekil 5.42 : X ve Y Doğrultusunda Şekil Değiştirmiş Sistem.	95
Şekil 5.43 : X Doğrultusu Rölatif Deplasmanlar.	96
Şekil 5.44 : Y Doğrultusu Rölatif Deplasmanlar.	96
Şekil 5.45 : Kiriş Hesapları Örneklenen B53 Kirişi.	97
Şekil 5.46 : B30x60 Kirişi için Açıklık Donatısı Hesabı.	98
Şekil 5.47 : B30x60 Kirişi için Mesnet Donatısı Hesabı.	99
Şekil 5.48 : Kolon Hesapları Örneklenen C16 Kolonu.	104
Şekil 5.49 : C16 Kolonu Donatı Düzeni.	107
Şekil 5.50 : C16 30x90 Kesit için P-M2 Karşılıklı Etki Diagramı.	108
Şekil 5.51 : C16 30x90 Kesit için P-M3 Karşılıklı Etki Diagramı.	108
Şekil 5.52 : C16 40x90 Kesit için P-M2 Karşılıklı Etki Diagramı.	109
Şekil 5.53 : C16 40x90 Kesit için P-M3 Karşılıklı Etki Diagramı.	109
Şekil 5.54 : C16 40x120 Kesit için P-M2 Karşılıklı Etki Diagramı.	110
Şekil 5.55 : C16 40x120 Kesit için P-M3 Karşılıklı Etki Diagramı.	110
Şekil 5.56 : C16 40x160 Kesit için P-M2 Karşılıklı Etki Diagramı.	111
Şekil 5.57 : C16 40x160 Kesit için P-M3 Karşılıklı Etki Diagramı.	111
Şekil 5.58 : Perde Hesabı Örneklenen P2 Perdesi.	114
Şekil 5.59 : P2 Perdesi Uç Bölgeleri ve Donatıları.	115

Şekil 5.60 : P2 Perdesi 50cm'lik Kesit için Karşılık Etki Diyagramı.	117
Şekil 5.61 : P2 Perdesi 40cm'lik Kesit için Karşılık Etki Diyagramı.	118
Şekil 5.62 : P2 Perdesi 30cm'lik Kesit için Karşılık Etki Diyagramı.	118
Şekil 5.63 : X ve Y Doğrultusunda Şekil Değiştirmiş Sistem	124
Şekil 5.64 : X Doğrultusu Rölatif Deplasmanlar	125
Şekil 5.65 : Y Doğrultusu Rölatif Deplasmanlar	125
Şekil 5.66 : Yığılı Plastik Modeli ve Tipik Moment-Dönme İlişkisi (ATC 72, 2010, s. 4-2).	132
Şekil 5.67 : Betonarme Perde Duvarların Fiber Modelleri (ATC 72, 2010, s. 4-2).	132
Şekil 5.68 : Rayleigh Sönüm Eğrisi.....	133
Şekil 5.69 : Mod Şekli - I $T=2.795sn$	135
Şekil 5.70 : Mod Şekli - II $T=2.116sn$	135
Şekil 5.71 : Mod Şekli -III $T=1.85sn$	136
Şekil 5.72 : Görelî Kat Ötelemesi-X Yönü.....	136
Şekil 5.73 : Görelî Kat Ötelemesi-Y Yönü.....	137
Şekil 5.74 : Irapina,Italy Torro Del Greco Paralel Enerji Sönüm Eğrisi Maksimum Enerji=29870kN.m,Sönüm Oranı %46.25.	138
Şekil 5.75 : Loma Prieta Hayward City Hall North Paralel Enerji Sönüm Eğrisi Maksimum Enerji=18310kN.m,Sönüm Oranı %50.5.....	138
Şekil 5.76 : Kolonlar için Enerji Denge Grafiği ,Sönüm Oranı %19.50.	139
Şekil 5.77 : Kirişler için Enerji Denge Grafiği,Sönüm Oranı %44.85.	139
Şekil 5.78 : Perdeler için Enerji Denge Grafiği ,Sönüm Oranı %32.95.	140
Şekil 5.79 : B40x60 Kirişi için Plastik Mafsal Dönme Değerleri (rad).....	141
Şekil 5.80 : B40x60 Kirişi için Plastik Mafsal Dönme Değerleri (rad).....	142
Şekil 5.81 : P2 Perdesi Performans Kontrolü.	143
Şekil 5.82 : P2 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği(kN).	144
Şekil 5.83 : SG-1 için Hasar Kontrol Grafiği.	144
Şekil 5.84 : SG-2 için Hasar Kontrol Grafiği.	145
Şekil 5.85 : SG-3 için Hasar Kontrol Grafiği.	145
Şekil 5.86 : SG-4 için Hasar Kontrol Grafiği.	146
Şekil 5.87 : SG-5 için Hasar Kontrol Grafiği.	146
Şekil 5.88 : SG-6 için Hasar Kontrol Grafiği.	147
Şekil 5.89 : SG-7 için Hasar Kontrol Grafiği	147
Şekil 5.90 : SG-8 için Hasar Kontrol Grafiği.	148
Şekil 5.91 : SG-9 için Hasar Kontrol Grafiği.	148
Şekil 5.92 : C20 Kolonu Maksimum Çekme Gerilmesi	149
Şekil 5.93 : C20 Kolonu Maksimum Basınç Gerilmesi.	149
Şekil 5.94 : Örnek Kolon Şekildeğiştirmesi	150

SEMBOL LİSTESİ

A(T)	: Spektral ivme katsayısı
A0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
Ac	:Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı
Ack	: Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı
Ash	: Kolonda veya perde uç bölgesindeki yatay donatı alanı
Aw	: Kolon enkesiti etkin gövde alanı
Ba	: Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenı doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü
Bax	: Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenı doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
Bay	: Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenı doğrultusunda, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
bk	: Kolon veya perde uç bölgesi çekirdeğının enkesit boyutu
bw	: Kirişin gövde genişliği, perdenin gövde kalınlığı
d	: Kirişin faydalı yüksekliği
dfi	: Binanın i'inci katında Ffi fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
e	: Güvenlik katsayısı
e1	: Yük güvenlik katsayısı
e2	: Malzeme güvenlik katsayısı
E	: Elastisite modülü
Ec	: Betonun elastisite modülü
Es	: Donatı çeliğının elastisite modülü
EIo	: Çatlamamış kesit eğilme rijitliği
EIe	: Çatlamış kesit eğilme rijitliği
Fa	: Kısa periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı
Fv	: 1 saniye periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı
fcd	: Betonun tasarım basınç dayanımı
fcm	: Betonun ortalama basınç dayanımı
fck	: Beton karakteristik basınç dayanımı
fyd	: Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
fym	: Donatı çeliğının ortalama dayanımı
fyk	: Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı
fctd	: Betonun tasarım çekme dayanımı
fctk	: Betonun karakteristik çekme dayanımı
fywd	: Enine donatının tasarım akma dayanımı
fywk	: Enine donatının karakteristik akma dayanımı
Ffi	: Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etkileyen fiktif yük
ΔFN	: Binanın tepesine etkileyen ek eşdeğer deprem yükü

g	: Yer çekimi ivmesi (9.81 m/s ²)
gi	: Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük
Hcr	: Kritik perde yüksekliği
Hi	: Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
Hw	: Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
ln	: Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği/kirişin kolon veya perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığı
lp	: Plastik mafsalsal boyu
lw	: Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
m0j	: Binanın j'inci katının kütle eylemsizlik momenti
MN	: Etkin plastik moment
M	: Eğilme momenti
Mp	: Kesitin eğilme momenti taşıma gücü (plastik moment)
Mpa	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda hesaplanan moment kapasitesi
Mpi	: Kirişin sol ucu i'deki kolon yüzünde hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
Mpj	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon yüzünde hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
Mpü	: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda hesaplanan moment kapasitesi
Mra	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda hesaplanan taşıma gücü kapasitesi
Mri	: Kirişin sol ucu i'deki kolon veya perde yüzünde hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü kapasitesi
Mrj	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon veya perde yüzünde hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü kapasitesi
Mrü	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda hesaplanan taşıma gücü kapasitesi
Mxin	: x doğrultusundaki depremde n'inci modda i'inci katta aynı doğrultuda meydana gelen kat kesme kuvvetine ilişkin etkin kütle
My	: Akma momenti
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
N	: Normal kuvvet, binanın kat adedi
Nd	: Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet
Ndm	: Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü
q	: Hareketli yük
qi	: Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
R	: Yapı davranış katsayısı
Ra(T)	: Deprem yükü azaltma katsayısı
s	: Enine donatı aralığı, spiral donatı adımı
S(T)	: Spektrum katsayısı
Sae(T)	: Elastik spektral ivme
Saen	: n'inci moda karşılık gelen spektral ivme
SS	: Referans zemin sınıfı için kısa periyotlu spektral ivme
S1	: Referans zemin sınıfı için 1 saniye periyotlu spektral ivme

SMS	: Gözönüne alınan zemin sınıfı için kısa periyotlu spektral ivme
SM1	: Gözönüne alınan zemin sınıfı için 1 saniye periyotlu spektral ivme
S(T1)	: T1 periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değeri
T	: Doğal titreşim periyodu
T1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
TA, TB	: Spektrum karakteristik periyodu
Tn	: Binanın n'inci doğal titreşim periyotları
To, Ts	: Spektrum köşe periyodu
TL	: Uzun periyod bölgesine geçiş periyodu
Vc	: Betonun kesme dayanımına katkısı
Vd	: Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti
Vdy	: Kirişin herhangi bir kesitinde düşey yüklerden meydana gelen kesme kuvveti
Ve	: Kolon, kiriş ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti
Vr	: Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
Vt	: Taban kesme kuvveti
Vt,min	: Minimum taban kesme kuvveti
Vxin	: x doğrultusundaki depremde n'inci modda i'inci katta aynı doğrultuda meydana gelen kat kesme kuvveti
wi	: Binanın i'inci katının toplam ağırlığı
W	: Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
ε	: Birim boy değişmesi
εcg	: Sargı donatısı içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesinin üst sınırı
εc	: Beton birim şekil değiştirmesi
εcu	: Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi
εy	: Akma şekil değiştirmesi
εs	: Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
εsu	: Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
ξ	: Sönüm oranı
βv	: Betonarme perdede kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı
ρs	: Kolonda spiral donatısının hacımsal oranı
ρsh	: Perdede yatay gövde donatılarının hacımsal oranı
σs	: Doğrusal elastik donatı gerilmesi
σem	: Emniyet gerilmesi
σi	: İşletme yüklerinden oluşan gerilme
σk	: Kopma gerilmesi
Φxjn	: n'inci modda j'inci katın kütle merkezinin x doğrultusundaki mod şekli genliği
Φyjn	: n'inci modda j'inci katın kütle merkezinin y doğrultusundaki mod şekli genliği
Φθjn	: n'inci modda j'inci katın kütle merkezinden geçen eksen etrafındaki dönme cinsinden mod şekli genliği
Θi	: i'inci katta tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri
χ	: Birim dönme (eğrilik)
χp	: Kesitin eğilme momentine karşı gelen birim dönme
γ	: Birim kayma şekil değiştirmesi

α_t	: Düzgün sıcaklık değişimi
Γ_{xn}	: x doğrultusundaki deprem için n'inci moda ait modal katkı çarpanı
Δ_i	: Binanın i'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{maks}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{min}$	: Binanın i'inci katındaki minimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{ort}$	: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ VE İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE YÜKSEK BİR BİNANIN TASARIMI

ÖZET

Dünya üzerindeki nüfusun her geçen gün artış göstermesi ve bu nüfus artışına bağlı şehirleşmenin de fazla olmasından da kaynaklanan yaşam alanlarındaki azalış, insanların az katlı küçük yapılar yapmak yerine daha çok insanın yaşayabileceği yüksek katlı binalar yapmaya itmiştir. Bununla birlikte ülkemizin büyük bölümünün deprem tehlikesi altında olması yapılacak bu yüksek yapılar için özel analizler yapılmasını gerektirmektedir. Ayrıca hesaplarda kullanılan doğrusal analizlerden daha ekonomik sonuçlar veren doğrusal olmayan analizler kullanılması hesapları zorlastırmakta ve bu analizlere özel yönetmelikler ortaya çıkmasını zorunlu hale getirmektedir. Ülkemizde 2008 yılında taslak olarak İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliği yayınlanmıştır. Henüz resmi olarak yayınlanmamış ancak yüksek bina analizlerinde Deprem Bölgelerinden Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 ile birlikte analiz ve tasarımlarda kullanılmaktadır.

Bu Tez aşamasında, 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik ve İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği kullanılarak betonarme yüksek katlı bir binanın tasarımı ve analizleri yapılmıştır.

Bölüm 1’de çalışmanın amacı ve kapsamı olan yüksek binaların performansa bağlı tasarımı ve DBYYHY 2007 ve İYBDY’ ne göre yüksek binaların tasarımı konusu ana hatlarıyla açıklanmıştır.

Bölüm 2’ de yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları ve bu davranışlar çerçevesinden yapılan kabuller incelenmiştir. Doğrusal olmayan sistemlerde iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları ve akma koşulları malzeme bakımından incelenmiş, şekil değiştirmenin kesitin belirli bir bölgesinde toplandığı varsayımına dayalı plastik mafsal hipotezi ve betonarme davranışın beton ve çelik elemanların tek eksenli deformasyon üzerinden tanımlandığı fiber model hakkında özet bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3’te İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği göre performansa dayalı tasarım hakkında genel bilgiler verilmiş ve kabuller özetlenmiştir. Performansa dayalı tasarım aşamasında kullanılan doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri incelenmiş ve yöntemler hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 4’te yüksek katlı bir binanın tasarımında kullanılacak İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği ve Deprem Bölgelerinden Yapılacak Yapılar Binalar hakkında kurallar ve genel kabuller özetlenmiştir.

Bölüm 5’ te yüksek bir betonarme bina İYBDY’ ne göre sayısal olarak tasarlanmıştır. Bu bölüm, yapı hakkındaki genel bilgiler, analiz modelinin bilgisayar ortamında tanımlanması ve İYBDY ' ne göre Tasarım Aşamaları I, II ve III' e göre analizler sıra ile yapılmıştır.

Sonuç bölümü olarak, Bölüm 6’da elde edilen analiz sonuçları irdelenmiştir. DBYYHY 2007 ve IYBDY kullanılarak tasarlanan yüksek bir binanın tasarım aşamasında yapılan kabuller ve tasarım sonucunda ortaya çıkan yapı performansı özetlenmiştir ve yorumlanmiştir.

ANALYSIS OF A HIGH-RISE REINFORCED CONCRETE BUILDING ACCORDING TO 2007 TURKISH EARTHQUAKE CODE AND ISTANBUL HIGH-RISE BUILDINGS EARTHQUAKE REGULATIONS

SUMMARY

By the increase of the population over the world each passing day and decrease in habitat depends on increasing of population and urbanization, high rise buildings are made people can live rather than the small low-rise structure. In addition, it is required some special analysis methods for the design of high rise building because of being in seismic region of big parts of our country. Moreover, in the design phase using nonlinear analysis methods more economical than the linear analysis methods, makes calculation steps much complicated and hard. These difficulties makes special codes about high rise building necessary.

In our country, Istanbul High Rise Buildings Earthquake Regulations was published as a draft in 2008. DBYBHY 2007 and İYBDY are used in design of high rise building although the officially have not been published yet. Although developments in structural engineering, computer technology and the material science help engineers to be familiar to the earthquake motions and the effects of earthquake on buildings in a more realistic and accurate way. These developments with the observation of the non-linear behaviour of structural systems in an earthquake, enable engineers to accomplish more realistic designs.

This study-thesis are about design and calculations of a high rise building according to DBYBHY 2007 and İYBDY. This study is composed of six chapters. These six chapters are detailed in below.

In Section 1, general informations and scope about thesis and study are given. Design rules of high rise building according to DBYYHY 2007 and İYBDY are examined in short. According to DBYYHY 2007 and İYBDY, performance based design is mainly used for high rise building. At the present time, in the calculation strenght design is mainly used and plastic behaviour is added to calculation by dividing behaviour factors, because of that earthquake load reduction coefficient used in calculation is totally independent from plastic deformation of the structure and earthquake effects on structure. The most important parameter is obtaining the deformations of columns, beams and shear walls in performanced based design. These deformation on structure, can be occurred by various static and dynamic effects like wind load, earthquake load, etc. Also seismic hazard assesment for a specifit region can be obtained in performanced based design.

In Section 2, the nonlinear behavior of structural systems is examined and assumptions according to nonlinear behavior of structural systems are summarized. Force - deformation relation in nonlinear systems and yield conditions are examined according to material properties. Hinge hypothesis that is based on the assumption of non-linear

deformations are collected at certain sections and fiber models are summarized and explained in short.

In Section 3, general informations about performance based design according to İstanbul High Rise Buildings Earthquake Regulations are given. Assumptions which used in performance based designed are summarized. Nonlinear analysis methods and linear analysis methods are used to determine performance of building are explained shortly and given informations. Performance level of the structure under the effect of an earthquake given, it is state of the prescribed limit the amount of deformation. This limit states, the amount of deformation to the carrier and non-structural elements of the building, which damage the safety in terms of the constituted a danger, is used when the building after the earthquake and caused the deformation is determined, depending on the economic loss.

In Section 4, The rules and general assumptions of İstanbul High Rise Buildings Earthquake Regulations which used in the design of a numerical example for high rise reinforced concrete building, are summarized. İstanbul High Rise Buildings Earthquake Regulations, is based on the basic principles of design based on performance under seismic forces. In the design approach based on performance based design, deformation of the structural elements of high-rise buildings under earthquake force certain level is estimated to be digital, and that each element of the deformation is to check that remain below the acceptable deformation limits. Acceptable deformation limits are defined in a manner consistent with the performance targets stipulated for the structure in various earthquake levels.

Earthquake deformation anticipated to be calculated on the element, under severe earthquakes, that generally means to strain beyond the linear elastic limit, the non-linear design approach based on performance (nonlinear) analysis methods and deformation is directly related to the concept of performance based design.

After these concepts and methods are examined in detail, In Section 5, a numerical example for high rise reinforced concrete building was designed and examined according to Buildings to be Built in Seismic Zones Code 2007 and İstanbul High Rise Buildings Earthquake Regulations. Also in this chapter shown how to defined general design parameters like design loads, combinations etc. in computer model. For all structural members, it is included that members strength calculations, demand/capacity ratios, drift limits deformation limits and strain limits.

For each design phase-Design Phases I-A, II and III , necessary analysis and calculations are done and summarized.

Design Phase I-A can be classify as a preliminary design section. In this phase the structural elements like columns, beams etc. are determined. For normal class buildings, D2 earthquake is used as a earthquake level. For this phase target performance level is life safety performance level. Mode superposition method is used for seismic analysis. For this phase, structural behaviour factor R is chosen according do Buildings to be Built in Seismic Zones Code 2007 but less than 7. Drift check limit is %2. Section rigidity is calculated by using Built in Seismic Zones Code 2007 and by Built in Seismic Zones Code 2007. Effective storey drift limit is %2. For materials strenght parameters are used as characteristic strenght for concrete and reinforcing bar. Acceptance criteria is strenght and effective storey drifts. To summarize the aim of the preliminary design is to target yielding to occur in components that are reliably capable of ductile response. Desirable modes of inelastic response include, but are not necessarily limited to flexural yielding in reinforced concrete beams, slabs, shear walls.

For Design Phase II is verification phase for the previous phase. For normal class buildings, D1 earthquake is used as a earthquake level. For this phase target performance level is immediate occupancy performance level. Mode superposition method is used for seismic analysis. For this phase, structural behaviour factor R is chosen as 1.5 according to Buildings to be Built in Seismic Zones Code 2007. Effective storey drift limit is %1. Section rigidity is calculated by using moment-curvature curve. For materials strength parameters are used as average strength for concrete and reinforcing bar. Acceptance criteria is strength and effective storey drifts.

For Design Phase III is verification phase for the previous phase with using time history analysis for seismic calculation. For normal class buildings, D3 earthquake is used as a earthquake level. For this phase target performance level is collapse prevention performance level. Time history analysis method is used for seismic analysis. For this phase, there is no structural behaviour factor R used in calculation because of seismic analysis method as a time history analysis. Effective storey drift limit is %3.5. Section rigidity is calculated by using moment-curvature curve. For materials strength parameters are used as average strength for concrete and reinforcing bar. Acceptance criteria is strain and effective storey drifts. For this phase energy balance diagrams are analyzed. It is possible to examine the plastic deformations on structural members if its occurred. Another hand by energy balance diagrams it is possible to get information about the amount of energy which is dissipated inelastic energy. Rayleigh damping model is used for design of the structure.

As a concluding section, in Section 6, the analysis results are examined. The assumptions which are made in the design phase of high rise building according to Specifications for Buildings to be Built in Seismic Zones Code 2007 and Istanbul High Rise Buildings Earthquake Regulations, the building earthquake performance and design results are summarized and reviewed. For the building in hand, the result of the analysis, main bearing elements columns and beams remain in elastic limits. Design results which was made in accordance with regulations, there is a limited scale of plastic deformations. These plastic deformations are checked in accordance with the limitations of related performance level criteria. For all structural members, to prevent brittle failure under the shear forces, capacity design is used in preliminary design phase.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Kapsamı

Dünya üzerindeki nüfusun her geçen gün artış göstermesi ve bu nüfus artışına bağlı şehirleşmenin de fazla olmasından da kaynaklanan yaşam alanlarındaki azalış, insanların az katlı küçük yapılar yapmak yerine daha çok insanın yaşayabileceği yüksek katlı binalar yapmaya itmiştir. Günümüzdeki inşaat alanındaki gelişmeler bunu kolaylaştırmaktadır.

Ülkemizin büyük bölümü deprem tehlikesi altındadır. Deprem etkisi, şiddetine göre yeryüzünde can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Yurdumuz dışında depremler tsunami, volkan patlaması v.b. gibi etkileri gözlemlenmektedir. Ülkemizin büyük bölümünün deprem tehlikesi altında olması nedeniyle yapılacak yapılarda deprem etkisi en önemli parametre haline gelmektedir. Özellikle çalışmanın da konusu olan yüksek yapılar için özel analizler yapılmasını gerektirmektedir. Ayrıca hesaplarda kullanılan doğrusal analizlerden daha ekonomik sonuçlar veren doğrusal olmayan analizler kullanılması hesapları zorlastırmakta ve bu analizlere özel yönetmelikler ortaya çıkmasını zorunlu hale getirmektedir. Ülkemizde 2008 yılında taslak olarak İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliği yayınlanmıştır. Henüz resmi olarak yayınlanmamıştır ancak yüksek bina analizlerinde Deprem Bölgelerinden Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 ile birlikte analiz ve tasarımlarda kullanılmaktadır [13].

Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği'nde performansa göre tasarım kavramı esas alınmıştır. Günümüzde kullanılan dayanımın esas alındığı tasarımlarda, yapının elastik ötesi davranışı sistem sünekliği ile ilgili bir taşıyıcı sistem davranış katsayısı kullanılarak, doğrusal elastik hesap yöntemiyle ele alınmakta, bu nedenle hesapta kullanılacak deprem yükü azaltma katsayısı sistemde oluşan plastik şekil değiştirmelerden ve bunların sistem üzerindeki dağılımından bağımsız olmaktadır. Ayrıca, yapılan hesaplar dayanıma bazlı yapıldıklarından, yapının gerçek şekil değiştirmeleri hakkında bilgi vermemektedir. Performansa göre tasarım da ise yapılar

üzerindeki deprem etkisinden oluşacak hasarlar şekil değiştirme-deformasyonlar ile hesaplara dahil edilmektedir [13-15].

Performans bağlı tasarımda en önemli parametre taşıyıcı elemanların şekil değiştirme ve deformasyonlarının belirlenmesidir. Bu deformasyonlar çeşitli statik ve dinamik etkilerden -rüzgar deprem gibi- dolayı oluşmaktadır. Oluşan deformasyonlar narin yapılar yapma talebinin olumsuzluklarındandır [21].

Yüksek yapıların performansa göre tasarımlarında sahaya özel deprem tehlike değerlendirmesi yapılabilmektedir. Farklı deprem düzeyleri için zemine bağımlı tasarım yer hareketleri belirlenmeli ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile binanın deprem performansı değerlendirilmektedir. Yönetmelik kapsamında deprem tehlike haritalarından belirli bölgeler için deprem tehlike bölgeleri belirlenerek parametreler bu şekilde de elde edilebilir [15].

Bu çalışmada, İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği' ne göre yüksek bir binanın performansa göre tasarımı yapılacaktır. Yönetmelikte belirtildiği şekilde ilk iki tasarım aşaması için doğrusal analizler yapılacak ve DBYYHY 2007' ye göre betonarme tasarımlar yapılacaktır. III.Tasarım aşamasında ise doğrusal olmayan hesap yapılacaktır. Deprem hesapları 7x2 deprem seçilerek zaman tanım alanında nonlinear analiz kullanılarak yapılacaktır. İlk tasarım aşamasında yönetmelikte belirtildiği şekilde malzemelerin karakteristik dayanım özellikleri kullanılacaktır.Tasarım aşaması II ve III' te ise ortalama dayanım esas alınacaktır. Kesitlerin rijitlikleri yönetmelikte belirtildiği gibi ilk tasarım aşaması için kesitlerin DBYYHY 2007' den elde edilen etkin rijitlikleri, diğer tasarım aşamaları için moment-eğrilik eğrisinden elde edilen rijitlikleri kullanılacaktır [13-15].

2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞLARI VE DOĞRUSAL OLMAYAN TEORİYE GÖRE HESABI

2.1 Giriş

Genel olarak doğrusal olmayan analizin tanımı bir yapının deprem hareketi doğrultusunda yer değiştirmesi ve bu yer değiştirme ile beraber yapısal elemanlarındaki şekil değiştirmelerin izlenmesini sağlamaktadır. Bu konuya giren yapılar ikinci mertebe etkilerinin etkili olduğu yapılar ve elastik zemine oturan sistemler, kısmen yapısal stabilite yetersizlikleri bulunan yapılar sayılabilir. Doğrusal olmayan sistem analizleri dışında doğrusal analizlerde malzemenin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları elastik kaldığı ve oluşacak yerdeğiştirmelerin küçük olduğu varsayılmaktadır. Ancak yapı üzerindeki yüklerin artması ile yapı taşıma gücüne yaklaşır ve kesit boyutları büyük olmayan sistemlerde gerilmeler doğrusal elastik sınırı aşmaktadır. Çelik ve betonarme yapı sistemlerinin analizlerinde sistemin doğrusal olmayan davranışı çeşitli şekillerle hesaplara dahil edilmektedir. Sistem analizlerinde kullanılan moment büyütme yöntemi ve burukulma katsayıları ile ikinci mertebe etkilerinin hesaba katılması sağlanmakta sistemlerde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler nedeniyle iç kuvvetlerdeki değişim yeniden dağılım ilkesi ile gözönüne alınmaktadır.

Yapısal analizlerde eksenel yüklerin etkisi dışında deprem yüklerinden oluşan etkilere göre analizlerde sistemin deprem enerjisinin söndürülmesini ve malzemelerin doğrusal-elastik sınır ötesi davranışlarını hesaba katmak için elastik deprem yüklerinin bölünerek küçültüldüğü yapısal sistem davranış katsayısı kullanılmaktadır. Yapısal analizlerde yapı sistemlerinin dış yükler altındaki davranışlarının daha net belirlenebilmesi ve bunun sonucunda daha ekonomik sonuçlar elde edilebilmesi analizler kullanılan yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesi taşıma kapasitelerinin gözönüne alınması ve çok küçük olmayan yerdeğiştirmelerin denge denklemleri ve geometrik uygunluk koşullarına etkileri hesaba katılması ile

sağlanabilmektedir. Doğrusal olmayan sistemlerin analizlerinde, yapı sisteminin doğrusal olmamasına neden olan etkilerin belirlenmesi ve bu şekilde sistemin gerçek sisteme yakın bir şekilde analiz modelinin oluşturulması ve oluşturulan hesap modelinin doğrusal olmayan teoriye göre analizi altında iki farklı durum gözönüne alınmaktadır.

2.1.1 Sistem analizlerin sağlaması gerekenler

Bir yapı sisteminin dış etkiler altında analizi sonucunda elde edilen iç kuvvetler, yerdeğiştirmeler ve şekil değiştirmelerin çözüm olarak kabul edilebilmesi için aşağıda belirtilen üç şartı aynı anda sağlamalıdır [1-2].

- Bünye denklemleri : Malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme-şekildeğiştirme ve iç kuvvet-şekildeğiştirme bağlantılarına bünye denklemleri denilmektedir.
- Denge koşulları (denklemleri) : Sistemi oluşturan elemanların ve bu elemanların birleştiği düğüm noktalarının denge denklemlerinden oluşmaktadır.
- Geometrik uygunluk koşulları : Elemanların ve düğüm noktalarının geometrik süreklilik denklemleri ile mesnetlerdeki geometrik sınır koşullardır.

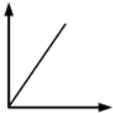
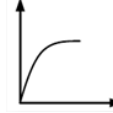
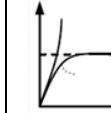
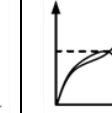
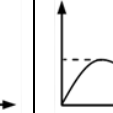
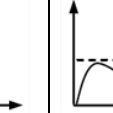
2.1.2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri

Dış etkiler altında bir yapı sisteminin doğrusal olmayan davranış sergilemesinin temel olarak iki nedeni vardır [3].

- Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması
- Geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkileri göz önüne alan terimler Çizelge 2.1' de tabloladıştırılmıştır. Çözümün sağlaması için gereken koşullara karşılık bünye denklemleri, denge denklemlerinde yerdeğiştirmeler, geometrik uygunluk koşulları ve P-Δ bağıntılarında olması gereken durumlar tabloda görülebilir.

Çizelge 2.1 : Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri (Özer, 2009).

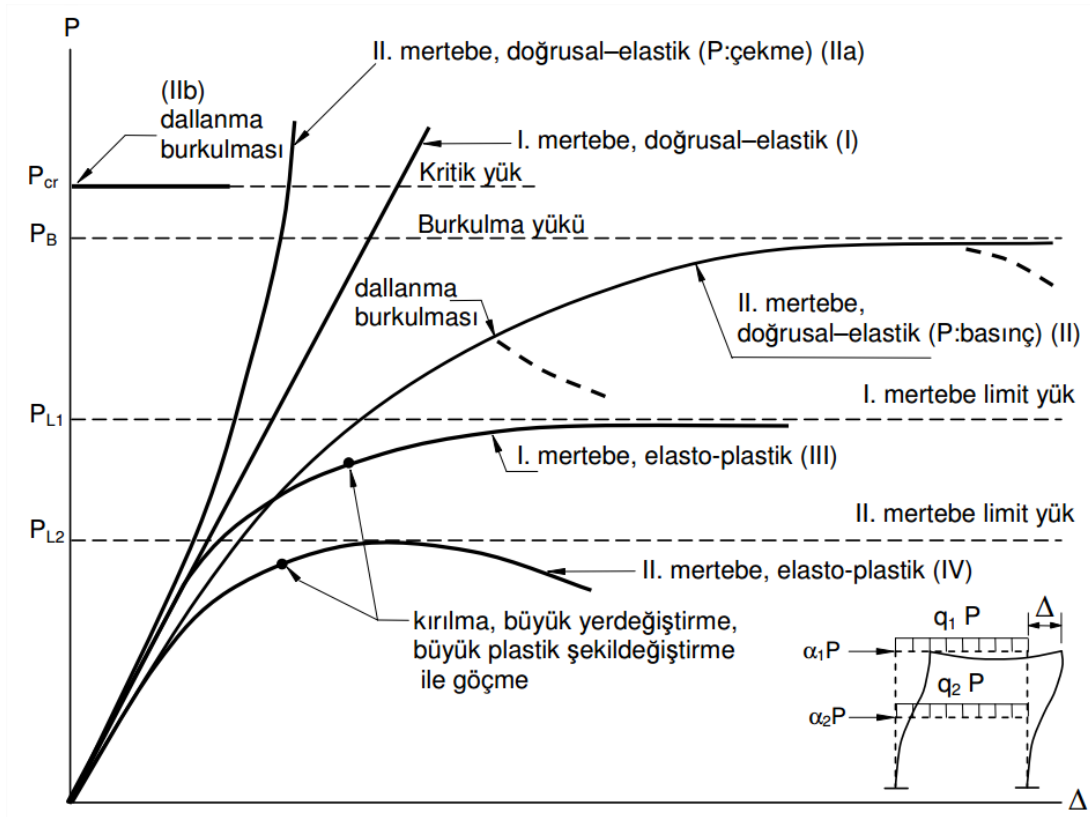
Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımında	Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri(Gerilme-Şekil Değiştirme Bağlılıkları)	Doğrusal-Elastik	Doğrusal-Elastik DEĞİL	Doğrusal-Elastik	Doğrusal-Elastik	Doğrusal-Elastik DEĞİL	Doğrusal-Elastik DEĞİL
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük DEĞİL	Küçük DEĞİL	Küçük DEĞİL	Küçük DEĞİL
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük	Küçük DEĞİL	Küçük	Küçük DEĞİL
P-Δ Bağlılıkları						

Yerdeğiştirmelerin gözardı edilemeyeceği kadar küçük olmadığı denge denklemlerinde, denge denklemleri şekil değiştirmiş eksen üzerine yazılmaktadır. Yapısal sistemlerin geometrik uygunluk koşullarında yerdekiştirmelerin ihmal edilemeyecek şekilde küçük olmaması durumunda geometrik süreklilik denklemleri de şekil değiştirmiş eksen üzerine yazılmaktadır. Yapısal sisteme bağlı olarak yukarıda belirtilen geometrik uygunluk koşulları sağlayamamasından dolayı sistemde geometrik süreksizlikler meydana gelir.

Taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların sınır koşullarındaki bu süreksizlikler nedeniyle yapı sisteminin davranışı doğrusal olmaz. Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler gibi incelenecek bu tür sistemlere geometrik süreksizlikler bakımından doğrusal olmayan sistemler denir.

2.1.3 Yapı sistemlerinin dış yükler etkisindeki doğrusal olmayan davranışı

Şekil 2.1’de düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntıları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Çeşitli Teorilere Göre Yük Parametresi-Yerdeğiştirme Bağlılıları (Özer, 2009).

(I) doğrusu ile malzemenin sınırsız olarak doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı ifade edilmektedir. Eksenel kuvvetlerin şekildeğiştirmiş sistem üzerinde oluşturduğu ikinci mertebe etkilerinin (P-Δ etkilerinin) hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde yani geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin eksenel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre iki farklı sistem davranışı ile karşılaşılabilmektedir. Eksenel kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklere daha hızla artan yerdeğiştirmeler karşı gelmektedir. Aralarındaki oran sabit kalacak şekilde değişen dış kuvvetlerin büyüklüğünü ifade eden yük parametresi artarak doğrusal-elastik burkulma yükü adı verilen bir P_B değerine eşit olduğu zaman, yerdeğiştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkularak göçer. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra artan yerdeğiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir. Asma sistemler gibi eksenel kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, şekilde (IIa) ile gösterilen P-Δ diyagramı pekleşen özellik gösterir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekildeğiştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir P_{cr} değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekildeki (IIb)

diyagramından görüldüğü gibi, yerdeğiştirmeler birden artarak sonsuza gider. Dallanma burkulmasına neden olan bu yüke kritik yük denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz daha büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekildeğiştiren sistemlerde de oluşabilir, (II eğrisi). Doğrusal olmayan malzemedan yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, taşıma kapasitesine karşı gelen toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranının büyük olduğu sünek malzemedan yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsallık (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bu kesitlerin dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım plastik mafsallık (plastik kesit) hipotezi olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsallık hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci merteye teorisine göre hesabında (III eğrisi), oluşan plastik mafsallıklar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma kapasitesine erişildiğini gösterir. Bu yük birinci merteye limit yük adını alır. Doğrusallığı bozan her iki etkinin birlikte gözönüne alınması halinde, diğeri bir deyişle, yapı sisteminin ikinci merteye elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen $P-\Delta$ diyagramı şekilde (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte doğrusal-elastik sınırın aşılmasına kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra oluşan doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle yerdeğiştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsallık hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir PL2 sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallıklar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, yani $P-\Delta$ diyagramında artan yerdeğiştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu yük parametresine ikinci merteye limit yük denilmektedir.

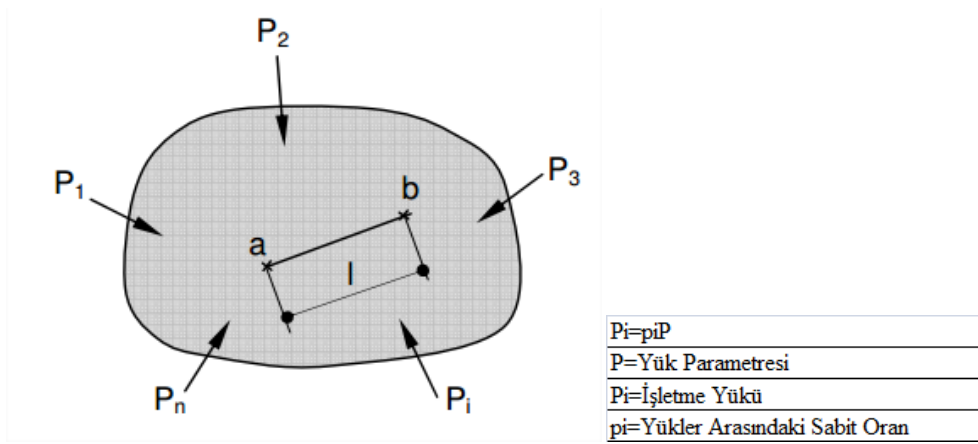
Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğiştirmeler, büyük plastik şekildeğiştirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan büyük çatlaklar ve kırılma yapının göçmesine neden olabilmektedir.

2.2 İç Kuvvet- Şekil Değiştirme Bağlılıları ve Akma Koşulları

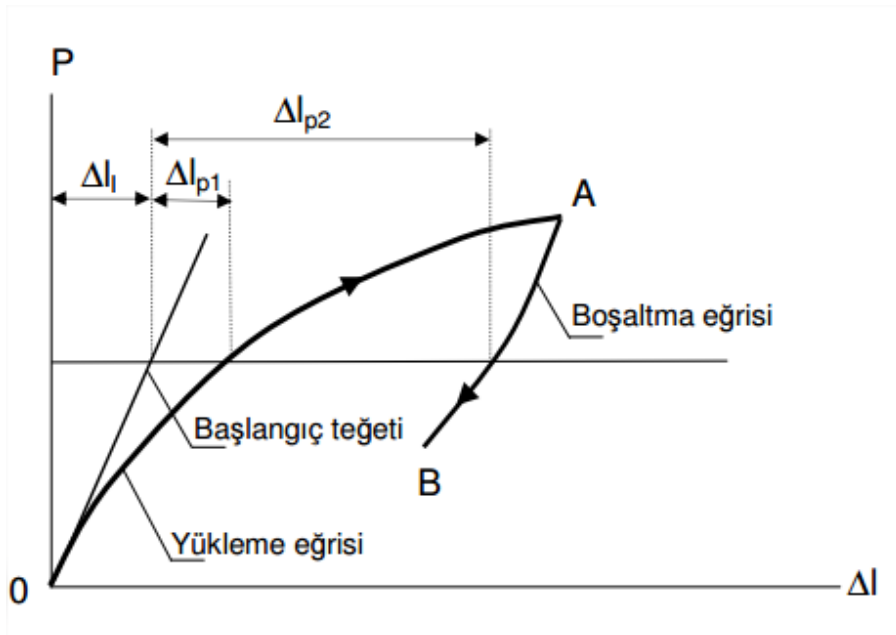
Betonarme çubuklar gibi düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları ve kırılma-akma koşulları çeşitli yapı malzemelerinin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları aşağıda incelenmiştir.

2.2.1 Malzemelerin şekil değiştirme özellikleri

Üzerine etkiyen P_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) dış kuvvetleri altında Şekil 2-2' de verilen katı cisim dengededir. Yükler, aralarındaki oranlar sabit kalacak şekilde değişmektedir. Şekildeki katı cismin a ve b noktaları arasındaki l uzunluğunun P yükleri altındaki Δl değişimi Şekil 2.3 te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim (Özer, 2009).



Şekil 2.3 : Şematik Yük Parametresi-Şekil Değiştirme($P-\Delta l$) Bağıntısı (Özer, 2009).

Bu diyagramın, artan yük parametresi için elde edilen OA bölümüne yükleme eğrisi, yüklerin kaldırılması durumuna karşı gelen AB bölümüne de boşaltma eğrisi denir. Eğrinin başlangıç teğeti ile ordinat eksenindeki Δl şekildeğiştirmeleri doğrusal şekildeğiştirmeler, başlangıç teğeti ile yükleme ve boşaltma eğrileri arasında kalan Δl_{p1} ve Δl_{p2} şekildeğiştirmeleri ise doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler olarak tanımlanır.

İdeal Malzemeler

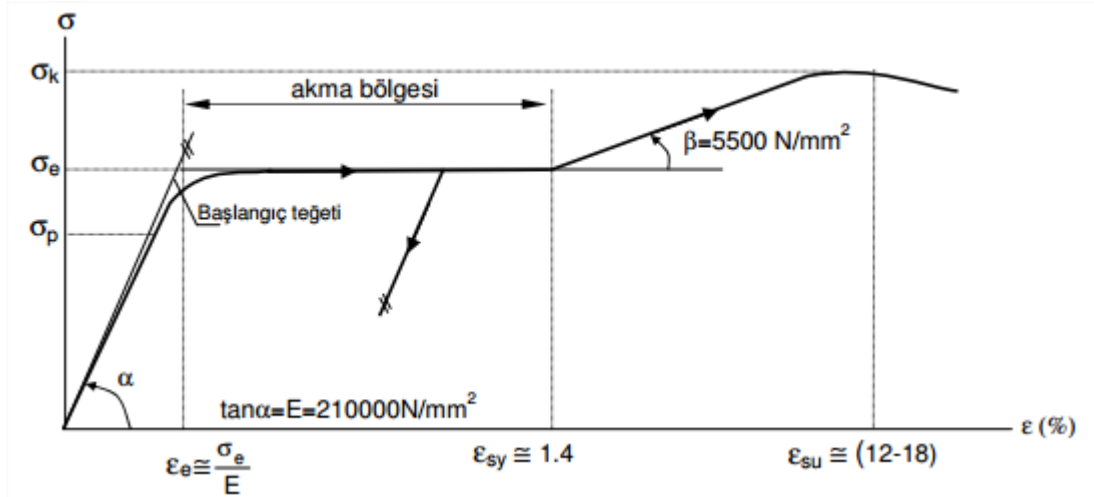
Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek yapı malzemelerinin şekildeğiştirme özellikleri ile, yukarıda açıklanmış olan $P-\Delta l$ bağıntısı ancak bir bölgede yaklaşık olarak birbirine benzeyebilir. Bu nedenle, kullanılacak malzemeler üzerinde bazı idealleştirmeler yapılarak yapı sistemlerinin hesabı gerçekleştirilir.

Yapı Malzemelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Bağıntıları

Betonarme yapı elemanlarını oluşturan beton çeliği ve betonun gerilme-şekildeğiştirme $\sigma-\epsilon$ diyagramları ve bu diyagramlara ait bazı sayısal değerler aşağıda verilmiştir.

- Beton Çeliği

Beton çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme diyagramı (Şekil 2.4)'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Beton Çeliğinde $\sigma-\epsilon$ Bağıntısı Diyagramı (Özer, 2009).

Burada;

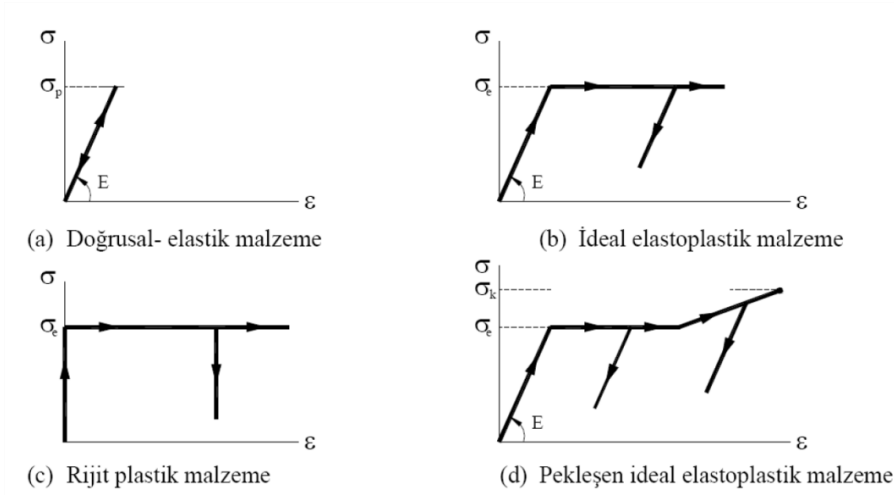
σ_k : kopma gerilmesi, σ_e : akma gerilmesi, ϵ_e : akma şekil değişimi,

σ_p : orantı sınırı (doğrusal orantılı sınır) gerilmesi olarak tanımlanmaktadır.

S420 Beton Çeliği için ;

$$\sigma_k = 500 \text{ N/mm}^2 ; \sigma_e = 420 \text{ N/mm}^2 (\epsilon_e = 0.002)$$

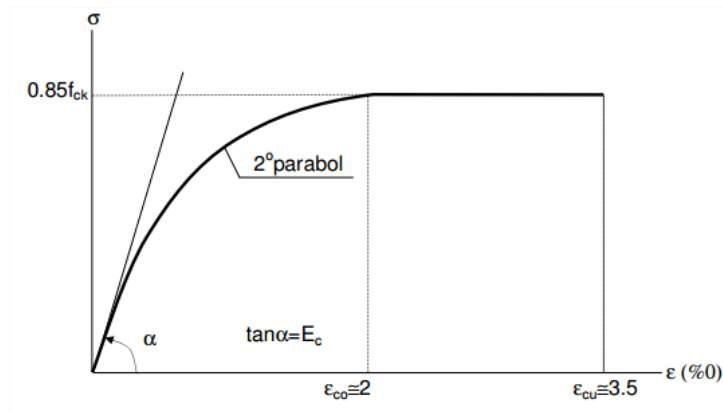
Yapısal analiz ve tasarım yöntemine bağlı olarak beton çeliğinin σ - ϵ diyagramının bir bölümü veya tümü Şekil 2.5'te verilen modellerden birine uygun olarak idealleştirilebilirler.



Şekil 2.5 : Beton Çeliğinin σ - ϵ Diyagramlarının İdealleştirilmesi (Özer, 2009).

- Beton

Şekil 2.6' da betonarme bir çubuk elemanın eğilmesinde, dış basınç lifindeki betonun σ - ϵ bağıntısı görülmektedir.



Şekil 2.6 : Betonarme Bir Çubuk Elemanın Eğilmesinde Dış Basınç Lifindeki σ - ϵ Diyagramı (Özer, 2009).

Burada ;

f_{ck} :Betonun karakteristik basınç dayanımı, ϵ_{co} : Betonun plastik şekildeğiştirmesinin başlamasına karşılık gelen birim kısalması, ϵ_{cu} : Betonun izin verilen en büyük birim kısalması olarak tanımlanmaktadır.

$$E_c = 14000 + 3250 f_{ck} \text{ (N /mm}^2 \text{)} \quad (2.1)$$

formülü ile betonun elastisite modülü hesaplanmaktadır [4].

Betonun ezilerek kırılmasına neden olan ϵ_{cu} birim kısalması sargısız betonda yaklaşık olarak 0.003-0.0035 iken, sargılı betonda sargı donatısı (ettriye) miktarına bağlı olarak önemli oranda artabilmektedir. Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizinde, sargılı beton için birçok model kullanılmaktadır [5]. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılanları, Geliştirilmiş Kent-Park, Mander ve Saatçioğlu-Ravzi modelleridir. Her üç model de, sargılı beton davranışı için yükleme ve boşaltma eğrilerini içeren çeşitli gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları önermişlerdir. Sözü edilen bu malzeme modelleri yapıların sismik analizlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. 2007 Türk Deprem Yönetmeliği, başkaca bir seçim yapılmadığı durumlarda, sargılı veya sargısız beton modelleri için Mander beton modelinin kullanılmasını önermektedir . Mander sargılı beton modelinde, sargı etkisiyle artan beton basınç dayanımı ve ϵ_{cu} birim kısalması, malzeme dayanımlarının yanında elemanda enine ve boyuna donatı yerleşimi gözönüne alınarak hesaplanır. Mander modeli ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 2.4.6'da verilmiştir.

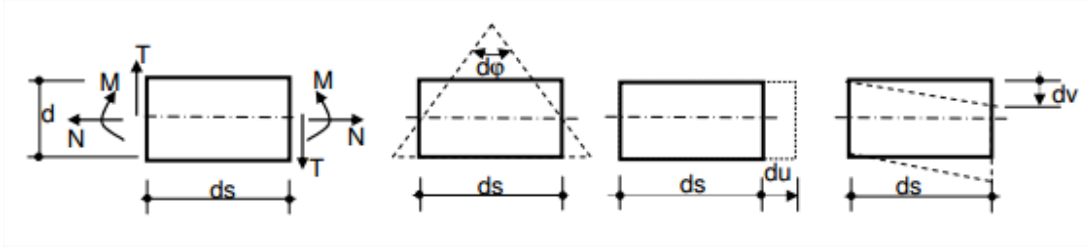
2.2.2 Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları ve akma koşulları

Düzlemi içindeki kuvvetlerin etkisi altında bulunan düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvetler, M eğilme momenti, N normal kuvveti ve T kesme kuvvetidir. ds boyundaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre görelî (rölatif) yerdeğiştirmelerinin kesit zorları doğrultularındaki bileşenleri ds elemanın birim şekildeğiştirmeleri olarak tanımlanır, Şekil 2.7. Bunlar ϕ kesitin dönmesini, u ve v kesitin çubuk eksenî ve ona dik doğrultudaki yerdeğiştirmelerini göstermek üzere

$\chi = d\phi / ds$: birim dönme (eğrilik)

$\epsilon = du / ds$: birim boy değişmesi

$\gamma = dv / ds$: birim kayma



Şekil 2.7 : Düzlem Çubuk Elemanlarda İç Kuvvetler ve Şekil Değişiklikler (Özer, 2009).

Düzlem çubuk sistemlerde şekil değişiklikler ve iç kuvvetler arasında aşağıdaki bağıntılar vardır.

$$\chi = \frac{d\phi}{ds} = F_1(M, N, T) + \frac{\alpha_t \Delta t}{d} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N, T) + \alpha_t t \quad (2.3)$$

$$\gamma = \frac{dv}{ds} = F_3(M, N, T) \quad (2.4)$$

Burada F_1 , F_2 , F_3 malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı olarak belirlenen doğrusal olmayan fonksiyonları, t ve Δt kesite etkiyen düzgün ve farklı sıcaklık değişmelerini, α_t sıcaklık genişleme katsayısını göstermektedir. İç kuvvetlerin artarak, belirli bir sınır duruma erişmesi halinde kırılma veya akma nedeniyle kesitin taşıma gücü sona erer. Kesitin daha büyük kesit zorlarını taşıyamayacağını ifade eden bu sınır durum kısaca akma veya kırılma olarak tanımlanır. Bu duruma karşı gelen iç kuvvetlere de kesitin taşıma gücü adı verilir. Akma durumunu kesit zorlama veya şekildeğişikliklere bağlı olarak ifade eden;

$$K_1(M, N, T) = 0 \quad (2.5)$$

veya

$$K_2(\chi, \varepsilon, \gamma) = 0 \quad (2.6)$$

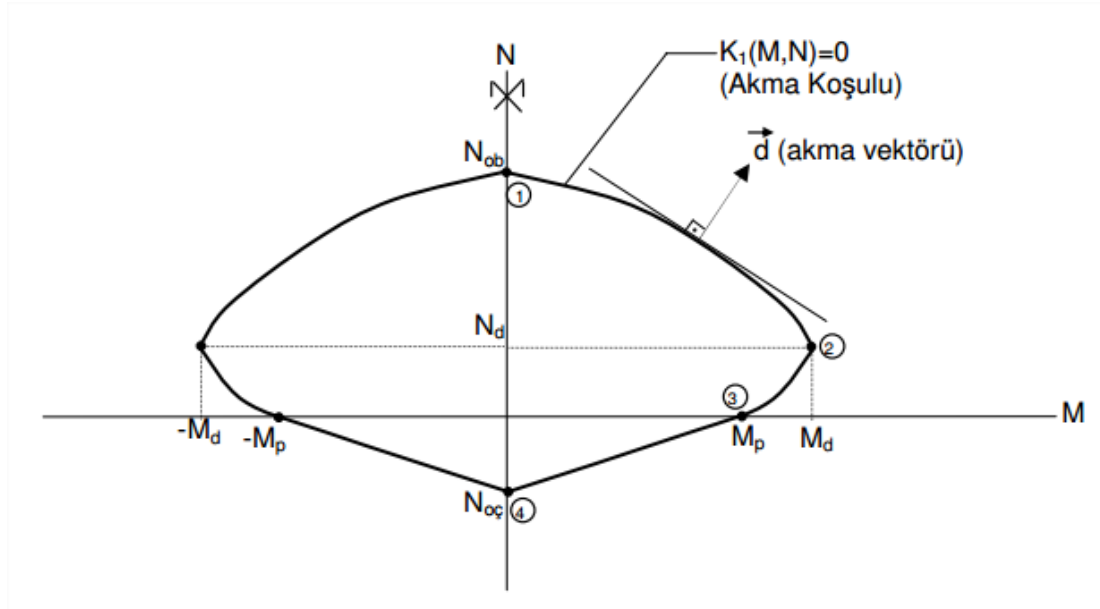
bağıntılarına akma koşulları denilmektedir.

Uygulamada, genellikle olduğu gibi, kayma şekildeğişiklikleri eğilme ve uzama şekildeğişiklikleri yanında terk edilir ve kesme kuvvetinin birim dönme ve birim boy değişmesine etkileri ihmal edilirse, iç kuvvet şekildeğişiklik bağıntıları

$$\chi = \frac{d\phi}{ds} = F_1(M, N) + \frac{\alpha_t \Delta t}{d} \quad (2.2-1)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N) + \alpha_t t \quad (2.3-1)$$

Akma koşulunu kesit zorları cinsinden ifade eden $K_1(M, N) = 0$ denkleminin belirlediği kapalı eğri, akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramı adını almaktadır, Şekil 2.8' de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : Betonarme Kesitler Akma Eğrisi-Karşılıklı Etki Diyagramı (Özer, 2009).

Normal Kuvvetin sıfır olması hali , $N=0$;

Normal kuvvetin sıfır veya terk edilebilecek kadar küçük olması ve kesite sıcaklık değişmesi etkimemesi halinde, iç kuvvet – şekildeğiştirme (eğilme momenti - eğrilik) bağıntısı

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M) \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Akma koşulu ise $M - M_p = 0$ veya $\chi - \chi_p = 0$ bağıntıları ile ifade edilir. Burada M_p kesitin eğilme momenti taşıma gücünü, χ_p ise buna karşı gelen birim dönmeyi göstermektedir ve aşağıdaki şekilde eğilme momenti-eğrilik arasındaki ilişki belirtilmiştir.

Betonarme Çubuklar

Eğilme momenti ve normal kuvvet (bileşik eğilme) etkisindeki betonarme çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları incelenecektir. Ayrıca, bu bağıntı ve koşulların nasıl idealleştirilebileceği açıklanacaktır. Basit eğilme ($M \neq 0$, $N = 0$) etkisindeki çubuklar, incelenen durumun özel bir halini oluşturmaktadır.

- **Varsayımlar ve Esaslar**

Betonarme çubuk elemanların iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının elde edilmesinde şu temel varsayımlar ve esaslar gözönünde tutulmaktadır.

- 1- Dik kesit şekildeğiştirdikten sonra da düzlem kalmaktadır.
- 2- Beton ve donatı arasında tam aderans bulunmaktadır.
- 3- Çatlamış betonun çekme dayanımı terk edilmektedir.
- 4- Betonun σ - ϵ diyagramı için Şekil 2.6'da verilen parabol ve dikdörtgen modeli veya benzeri bir beton modeli, örneğin Mander modeli esas alınmaktadır.
- 5- Beton çeliğinin σ - ϵ diyagramı için ideal elastoplastik malzeme varsayımı yapılmaktadır.

- **Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisindeki Çubuklar**

- **Eğilme Momenti – Birim Dönme (M - χ) Bağıntısı**

Sabit normal kuvvet ($N=N_0$) altında, artan eğilme momenti ile zorlanan betonarme bir kesitte M eğilme momenti ile χ birim dönmesi (eğriliği) arasındaki bağıntı üç bölgeden oluşmaktadır, Şekil 2.9 ' da gösterilmektedir.

Bu bölgeleri sınırlayan L_0 , L_1 ve L_2 noktalarına karşı gelen durumlar aşağıda açıklanmıştır [6].

L_0 : Beton kesitin dış çekme lifinde çatlakların başladığı durumdur. Dış çekme lifindeki normal gerilme, eğilmedeki betonun çekme dayanımına eşit olunca betonda çatlakların meydana geldiği varsayılmaktadır. Eğilmedeki betonun çekme dayanımı ise

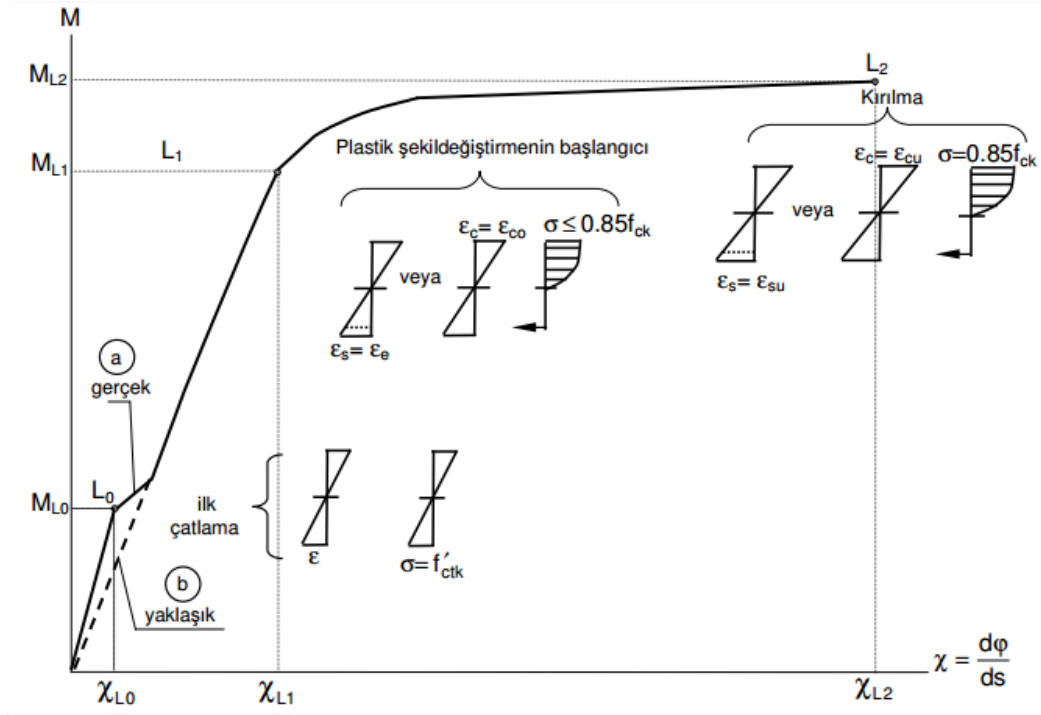
$$f_{ctk} = 0.7\sqrt{f_{ck}} \text{ (N / mm}^2\text{)} \text{ bağıntısı ile hesaplanabilir.}$$

L_0 : Çatlama noktasına karşı gelen M_{L_0} momentinin hesabında, beton kesitin homojen olduğu varsayılmakta ve betonun σ - ϵ bağıntısı doğrusal-elastik olarak alınmaktadır.

L_1 : Betonun dış basınç lifinde veya çekme donatısında plastik şekildeğiştirmelerin başlamasına karşı gelen durumdur. Plastik şekildeğiştirmelerin betonda $\epsilon_{co}=0.002$ birim kısalmasında, çelikte ise ϵ_e akma sınırında başladığı gözönünde tutulmaktadır. M_{L_1} eğilme momentinin hesabında betonun çekme dayanımı gözönüne alınmaz.

L_2 : Eğilme momenti artarak betonarme kesitin taşıma gücü adı verilen $M_{L_2}=M_p$ değerine eşit olunca basınç bölgesindeki beton ezilerek kırılır veya çekme donatısı

kopar. Betonun ezilerek kırılması birim kısalmanın sınır değerine erişmesi suretiyle meydana gelir. Sargısız betonda kısa süreli yükler için $\epsilon_{cu}=0.003-0.0035$ olan bu sınır değer sargı donatısına bağlı olarak artmaktadır. Betonarme kesitlerin boyutlandırılmasında, çekme donatısının kopması yerine, genellikle çelikteki birim uzamanın değeri ile sınırlandırılması esas alınır.



Şekil 2.9 : Betonarme Kesitlerde ($M-\chi$) Bağıntısı (Özer, 2009).

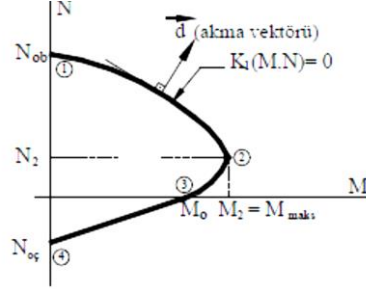
Betonunun çekme dayanımının terk edildiği durumlarda, $M-\chi$ bağıntısının çatlamadan önceki bölümü yaklaşık olarak (b) eğrisi ile temsil edilmektedir.

Betonarme kesitlerin taşıma gücü esasına göre boyutlandırılmasında, betonarme betonu ve beton çeliğinin karakteristik dayanımları malzeme güvenlik katsayılarına bölünerek küçültülür. Buna karşılık, betonarme sistemlerin dış yükler altındaki davranışlarının incelenmesinde, örneğin kapasite diyagramlarının elde edilmesinde, malzeme güvenlik katsayılarının kullanılmasına ve çelikteki birim uzamanın $\epsilon_{su}=0.01$ değeri ile sınırlandırılmasına gerek olmamaktadır.

• Akma Koşulu (Karşılıklı Etki Diyagramı)

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki betonarme bir kesitte taşıma gücünü ifade eden karşılıklı etki diyagramı Şekil 2.11'de şematik olarak gösterilmiştir. Doğrusal olmayan şekilleştirmelerin, plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı varsayılan betonarme sistemlerde, iç kuvvet durumunun bu eğri

üzerinde bulunması bir plastik kesitin oluştuğunu ve bu kesitte sonlu plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiğini (yani kesitin aktığı) ifade etmektedir. Bu nedenle, karşılıklı etki diyagramına akma eğrisi de denilmektedir. Denklem 2.5a'daki bağıntı ile tanımlanan akma eğrisi N normal kuvvetinin çeşitli değerleri için hesaplanan $M_{L2}=M_p$ eğilme momentleri yardımı ile elde edilebilir.



Şekil 2.10 : Betonarme Kesitlerde Akma Eğrisi (Özer, 2009).

Akma eğrisi dört karakteristik noktası ile tanımlanmaktadır. Şekil 2.10' da gösterilmektedir. Akma eğrisinin idealleştirilmesinde de yararlanılabilecek olan bu noktalar aksenal basınç, basit eğilme ve aksenal çekme hallerine karşı gelen (1), (3) ve (4) noktaları ile kesitin en büyük eğilme momenti taşıma gücüne sahip olduğu dengeli duruma karşı gelen (2) noktasıdır. Bileşik eğilme etkisindeki betonarme kesitlerde, plastik şekildeğiştirme bileşenlerini içeren akma vektörünün bazı koşullar altında ve yaklaşık olarak akma eğrisine dik olduğu bilinmektedir [7].

2.3 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Betonarme Sistemlerin Hesabı

Malzeme bakımından doğrusal olmayan betonarme sistemlerin hesabı, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması ve plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığının varsayılması halleri için ayrı ayrı incelenecektir. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali hakkında kısa ön bilgi verildikten sonra, bu çalışmanın kapsamı içinde olan plastik mafsallı hipotezi ve bu hipoteze dayanan hesap yöntemi ayrıntılı olarak incelenecektir.

2.3.1 Şekil değıştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali

Malzeme bakımından doğrusal olmayan yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde sürekli olarak yayıldığı gözönüne alınması halinde, yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntılarının (kapasite eğrilerinin)

belirlenmesi ve göçme yüklerinin hesabı için, ardışık yaklaşım yöntemlerinden veya yük artımı yöntemlerinden yararlanılabilir [3-8-9].

2.3.2 Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplanması hali

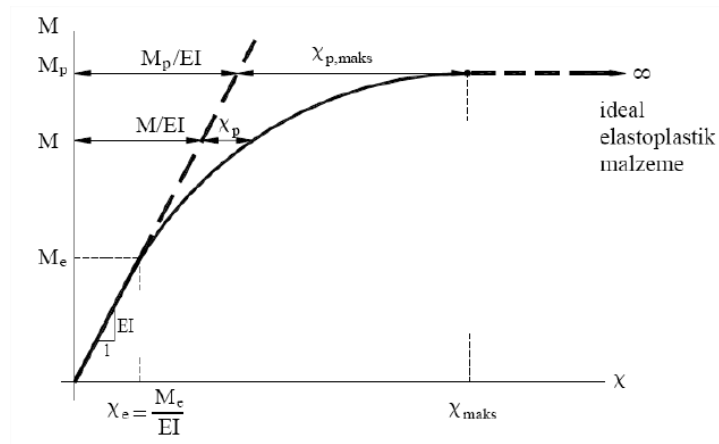
Malzeme bakımından doğrusal olmayan ve yeterli düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsalları adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, sistemin diğer bölümlerinin ise doğrusal-elastik davrandığı varsayımı yapılabilir [3].

Plastik Mafsalları Hipotezi

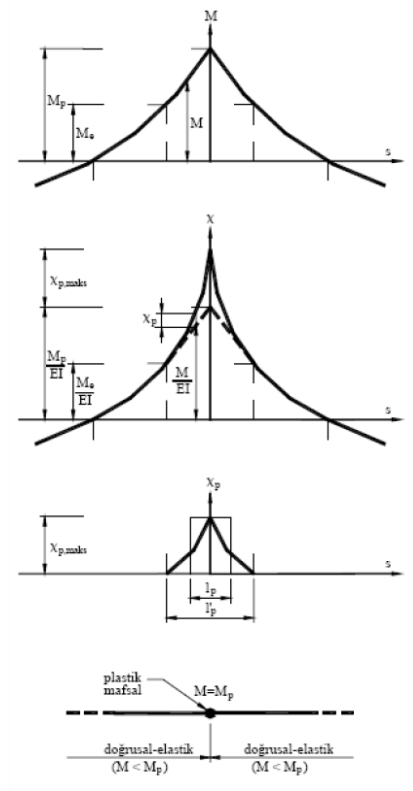
Toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsalları adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, *plastik mafsalları (plastik kesit) hipotezi* adı verilir.

Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren sistemlerde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsalları hipotezi yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir.

Doğrusal olmayan malzemeden yapılan ve gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 2.11’de verilen bir düzlem çubuk elemanın bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekildeğiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler Şekil 2.12’te gösterilmiştir.

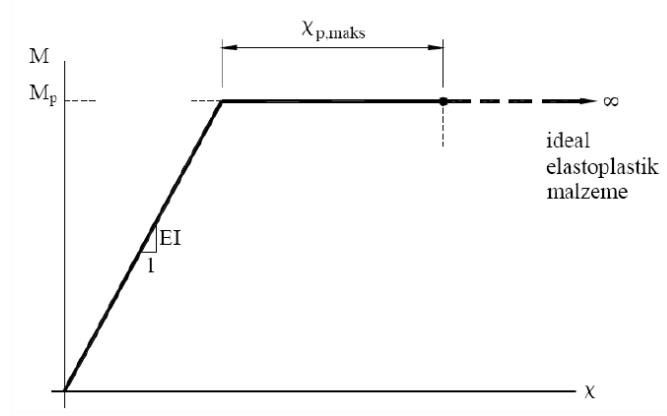


Şekil 2.11 : Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı (Özer, 2009).



Şekil 2.12 : Doğrusal Olmayan Şekil Değişiklikleri (Özer, 2009).

Çelik kesitlerin ve yeterli sünekliliğe sahip olan betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik bağıntıları incelendiğinde, bu bağıntıların esas olarak iki farklı bölgeden oluştuğu gözlenir. Birinci bölgede, eğilme momentinin küçük değerleri için eğilme momenti-eğrilik ilişkisi yaklaşık olarak doğrusal-elastik varsayılabilir. Betonarme kesitlerde, bu bölgede beton ve beton çeliği doğrusal davranış bölgesinde kaldığı için, eğilme momenti-eğrilik bağıntısında da benzer özellik ortaya çıkar. Ancak beton ve çelik gerilmelerinin artmasına paralel olarak, doğrusal olmayan gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin kesitin davranışında etkili olmaya başlaması, eğilme momenti-eğrilik bağıntısının da doğrusal davranıştan ayrılmasına neden olur. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde eğrinin eğimi giderek azalır. Bu bölgede elastik ötesi, elastoplastik davranış etkilidir. Kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük bir artım meydana gelirken, eğrilik belirgin bir şekilde artar ve eğriliğin sınır değerine erişmesi ile kesitte güç tükenmesi meydana gelir. Plastik mafsallarda, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge, biri yatay olan iki doğru parçası ile temsil edilir, Şekil 2.13' te gösterilmiştir.



Şekil 2.13 : İdealleştirilmiş Denge Denklemleri (Özer, 2009).

İdealleştirilmiş denge bağıntısının her iki bölümü birbirinden kesin bir nokta ile ayrılamaz. Ancak, çekme donatısının akmaya başlaması veya betondaki birim kısalmanın ϵ_{co} sınır değerine erişmesi bu iki bölgeyi ayıran nokta olarak varsayılabilir ve bu duruma karşı gelen eğrilik χ_y olarak gösterilir. Plastik mafsal hipotezi uyarınca, idealleştirilmiş eğilme moment-eğrilik diyagramını tanımlayan bağıntılar aşağıda gösterilmiştir.

$$M \leq M_p \text{ için } \chi = \frac{M}{EI} \quad (2.8), (2.9)$$

$$M = M_p \text{ için } \chi = \chi_{p,maks}$$

Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik χ_u ile gösterilirse, kesitin eğilme sünekliği

$$\mu = \frac{\chi_u}{\chi_y} \quad (2.10)$$

şeklinde tanımlanır.

Artan dış yükler altında, plastik mafsalın dönmesi artarak *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere ulaşınca, meydana gelen büyük plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelebilir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsal dönmelerinin kendilerine ait dönme kapasitelerine ulaşması halinde ise, yapı sisteminin kullanım dışı kaldığı varsayılır. Şekil 2.12'ten görüldüğü gibi, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler çubuk üzerindeki l_p uzunluğundaki bir bölgede yoğunlaşmakta ve en büyük plastik eğrilik $\chi_{p,maks}$ değerine eşit olmaktadır. Bu hipotezde doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmelerin çubuk elemanı üzerinde l_p uzunluğunda bir bölgede sürekli olarak düzgün yayıldığı varsayılmaktadır. Buna göre

plastikleşen bölgedeki toplam plastik şekildeğiştirme aşağıdaki şekilde hesaplanabilir ve plastik mafsalları dönmesi olarak isimlendirilir.

$$\varphi = \int_{l_p} \chi_p ds \quad (2.11)$$

Plastik mafsalları dönme kapasitesi aşağıdaki şekilde eğilme momenti diyagramının şekline ve $M-\chi$ bağıntısına bağlı olarak belirlenir.

$$\text{maks}\varphi_p = \int_{l_p} \chi_p ds \quad (\chi \rightarrow \chi_{p,\text{maks}}) \quad (2.12)$$

Plastik dönme kapasitesi yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{maks}\varphi_p = l_p \chi_{p,\text{maks}} \quad (2.13)$$

$$l_p \cong 0.5d \quad (2.14)$$

Burada ;

d: enkesit yüksekliği

l_p : plastik mafsalları boyu

Betonarme yapı sistemlerinde dönme kapasitesi çeşitli etkenlere bağlıdır. Bunların başlıcaları

- Betonarme betonu ve beton çeliğinin $\sigma-\varepsilon$ diyagramlarını belirleyen ε_{cu} ve ε_{su} sınır birim boy değişimleri
- Betonarme betonunun ε_{cu} birim boy değişmesini etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni
- Plastik bölge uzunluğunu etkileyen enkesit boyutları
- Eğilme momenti diyagramının şekli
- Kesitteki normal kuvvettir.

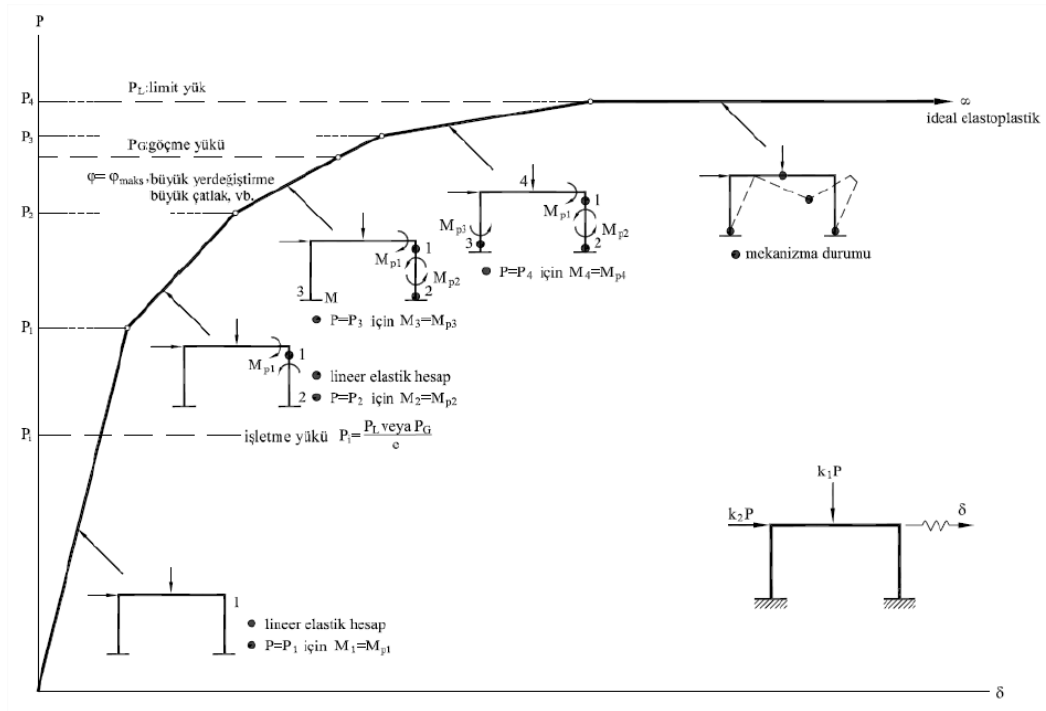
Çelik yapı sistemlerinde dönme kapasitesi genellikle büyük değerler alabilmektedir. Diğer taraftan, performansa dayanan tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde, dönme kapasitesinin belirlenmesinde yapıdan beklenen performans düzeyi de etken olmaktadır.

Yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan plastik mafsalları hipotezinin esasları aşağıda özetlenmiştir.

- Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsall oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti ($M=M_p$) sabit olarak kalır ve kesit serbestçe döner. Böylece kesitteki eğilme momentinin $M=M_p$ değerinde sabit kalması sağlanır. Plastik mafsaldaki ϕ_p plastik dönmesi artarak dönme kapasitesine ($\max\phi_p$) erişince kesitte güç tükenmesi meydana gelir.
- Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal-elastik olarak davranır.
- Düzlem sistemlerde kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment (M_p') değeri kullanılır.

Yük Artımı Yöntemi

Plastik mafsall hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan dış yükler altındaki davranışı aşağıdaki Şekil 2.14 üzerinde şematik olarak gösterilmiştir. Artan yükler altında, her plastik mafsallın oluşumundan sonra, o noktaya bir adi mafsall koymak ve M_p plastik momentini dış yük olarak etkitmek suretiyle elde edilen sistem doğrusal – elastik teoriye göre hesaplanır. Sistemin doğrusal – elastik teoriye göre hesabı için Kuvvet veya Yerdeğiştirme yöntemlerinden herhangi biri uygulanabilir. Belirli sayıda plastik mafsallın oluşumundan sonra, sistem kısmen veya tamamen mekanizma durumuna ulaşır. Başka bir deyişle, sistem stabilitesini yitirerek yük taşıyamaz hale gelir. Bu duruma karşı gelen P_L yük parametresi limit yük (birinci mertebe limit yük) olarak tanımlanır. Bu tanıma göre, limit yük sistemin tümünü veya bir bölümünü mekanizma durumuna getiren yüküdür. Bazı hallerde limit yükten önce, plastik mafsallardaki dönmelerin dönme kapasitesini aşması, büyük yerdeğiştirmelerin oluşması veya betonarme sistemlerde büyük çatlaklar meydana gelmesi nedeniyle sistem göçebilir. Bu duruma karşı gelen P_G yük parametresi *göçme yükü* olarak tanımlanır.



Şekil 2.14 : Bir Yapının Artan Yükler Altında Davranışı (Celep ve Gençoğlu, 2008).

Limit yük (veya göçme yükü) bulunduktan sonra, yapının yeter güvenlikle taşıyabileceği yük,

$$P_i = \frac{P_G \text{ veya } P_L}{e} \quad (2.15)$$

şeklinde hesaplanır. Ayrıca işletme yükleri altında doğrusal-elastik sınırın pek aşılmaması, zararlı yerdeğiştirme ve çatlakların oluşmaması istenir.

Bir yapı sisteminin artan yükler altındaki hesabı iki şekilde yapılabilir.

- Sistem, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan düşey ve yatay yükler altında hesaplanarak bu yükler için ortak bir göçme güvenliği belirlenir.
- 2- Düşey yükler, bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etitildikten sonra, artan yatay yükler için hesap yapılır ve yatay yüklere ait limit yük (veya göçme yükü) parametresi bulunur. Böylece, düşey yükler için öngörülen bir güvenlik altında, sistemin yatay yükler altındaki davranışı izlenir ve yatay yük taşıma kapasitesi belirlenir.

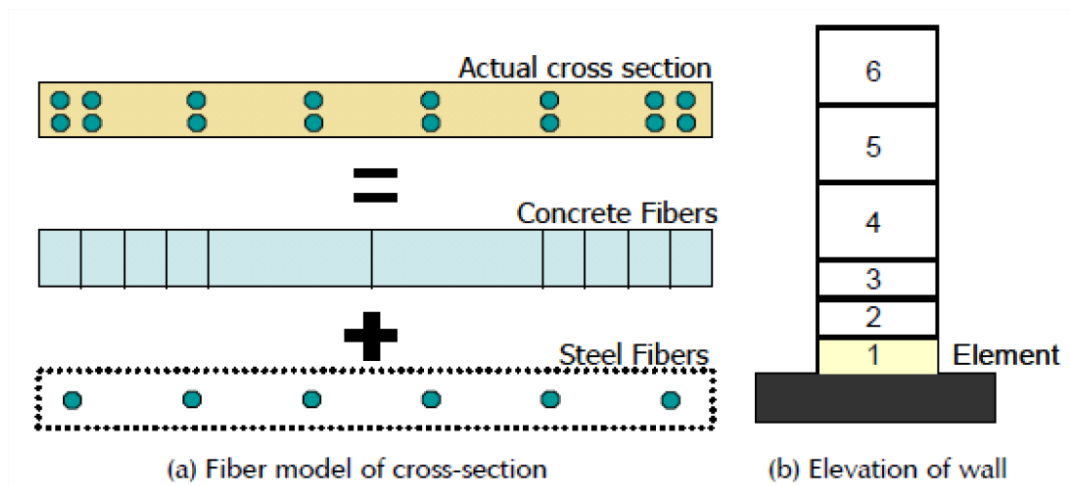
Büyük oranda yapı ağırlığından oluşan düşey yüklerin daha belirgin olduğu, buna karşılık rüzgâr ve deprem etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olduğu gözönünde tutulduğunda, yapı sisteminin gerçek göçme güvenliğinin belirlenmesi açısından, ikinci yolun daha gerçekçi sonuç vereceği

görülmektedir. Diğer taraftan, doğrusal olmayan yöntemlerle deprem performansının belirlenmesinde esas alınan statik itme analizi artan yatay yükler altında gerçekleştirilmektedir.

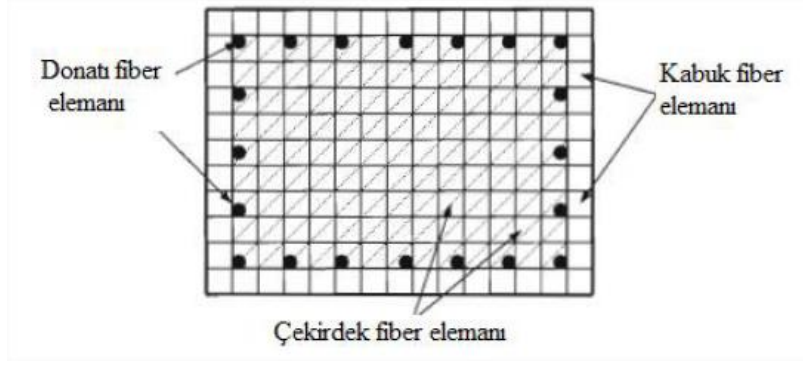
Plastik mafsallarda eğilme momentinin yanında normal kuvvetin de bulunması halinde, akma koşulunu sağlayacak şekilde belirlenen indirgenmiş eğilme momenti (MP') esas alınarak hesap yapılması gerekmektedir. Plastik mafsallardaki normal kuvvetler başlangıçta bilinmediğinden, bir ardışık yaklaşım yolu uygulanması gerekebilir. Bileşik iç kuvvetler etkisindeki sistemlerin, ardışık yaklaşıma gerek kalmaksızın, yük artımı yöntemi ile doğrudan doğruya hesabı için geliştirilen bir yöntem kaynak [10, 11, 12] te verilmiştir.

Fiber Elemanlar

Fiber eleman modeli yaygın plastik mafsal modelleri içinde ki en yaygın kullanılan doğrusal olmayan davranış modelidir. Bu modelde yapısal eleman kesitleri beton ve çelik fiberlerine bölünür. Betonarme davranışı beton ve çelik elemanların tek eksenli deformasyonu üzerinden tanımlandığı için fiber eleman modeli beton ve donatının stres-birim deformasyonu ilişkisi kullanılarak tarif edilir. Fiber modeli yığılı plastik mafsal modeline göre çok daha gelişmiş olsa da kiriş ve kolonlarda kullanımı analiz için gerekli zaman düşünüldüğünde çok pratik değildir. Ancak düzgün ve düzgün olmayan (U veya L) perde duvarların modellenmesinde çok etkili olduğundan tercih edilmektedir. Ayrıca bu elemanlarda TDY 2007'e uygun olarak eleman bazında değerlendirme için beton ve çelik malzemelerin birim deformasyonları ifade edilebilir. Şekil 2.15'te Perde Duvar Fiberleri, Şekil 2.16' da Kolon Fiberleri gösterilmiştir.



Şekil 2.15 : Betonarme Perde Duvarların Fiber Modelleri (ATC72, 2010, S. 4-2).



Şekil 2.16 : Betonarme Kolonların Fiber Modelleri (Özer, 2009).

3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM

3.1 Giriş

Mevcut yapıların deprem güvenliğinin ve performansının belirlenmesi için geliştirilen yerdeğiştirmeye bağlı performansa dayalı tasarım günümüzde yeni yapılacak yapıların tasarımlarında da kullanılmaya başlanmıştır [3]. Elastik sınırlar içinde yapılan hesaplarda gerçekte oluşması beklenen deprem yüklerinden oluşacak etkileride gözönüne alınması ve bu elastik bölgede karşılaşmasının kontrolünün yapılması gerekmektedir. Mevcut yapılar için kullanılan bu yöntem yeni yapılacak yapılar için de kullanılmaktadır. Performans analizleri sonucu yapının depremden sonra meydana gelecek hasar seviyesi ve deprem yönetmeliğinde verilen sınır durumlara göre performansı belirlenir. Performansa dayalı tasarım genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Yapısal elemanların dayanımları esas alınarak yapılan ilk yöntem de elastik deprem yüklerinden oluşan etkiler altında lineer hesap kullanılmaktadır. Bu yöntemde deprem yükleri deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak azaltılır. Analiz sonuçlarında yapısal elemanların yapıdan yönetmeliklere göre beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. İkinci yöntemde malzemenin ve geometri değişimlerinin lineer olmadığı, belirli bir deprem altında yerdeğiştirme ve şekil değiştirmelerin yönetmelik çerçevesinde belirlenen taleplerin sağlanıp sağlanmadığının kontrolüne dayanır [8]. Aşağıdaki bölümlerde, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nin, mevcut betonarme binaların deprem performans ve güvenliklerinin değerlendirmesine ilişkin bölümünün (Bölüm 7) temel ilkelerine ve uygulanmasına yönelik bilgi verilecektir [13].

3.2 Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, taşıyıcı sistem geometrisine, elemanların enkesit özelliklerine, malzeme karakteristiklerine ve zemin özelliklerine ilişkin bilgiler binaların projelerinden, ilgili

raporlardan, binada yapılacak gözlem ve ölçümler ile binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilebilir. Binalardan toplanan bilginin kapsam ve güvenilirliğine bağlı olarak

- a) Sınırlı bilgi düzeyi
- b) Orta bilgi düzeyi
- c) Kapsamlı bilgi düzeyi

olmak üzere, yönetmelikte üç bilgi düzeyi tanımlanmış ve bu bilgi düzeyleri için eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları Çizelge 3.1' de verilmiştir. Bilgi düzeyi kriterleri, çelik, betonarme, prefabrike betonarme ve yığma yapılar için farklılık gösterse de, genel olarak prensipleri aynıdır ve yapı türü farketmeksizin aynı bilgi düzeyindeki binalar için aynı bilgi düzeyi katsayısı uygulanır.

Çizelge 3.1 : Binalar için Düzeyi Katsayıları (DBYBHY, 2007).

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.9
Kapsamlı	1

3.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Deprem etkileri altındaki yapıların performanslarının değerlendirilmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan ve *dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme* adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanının sünekliğini gözönüne alan, eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayıları çerçevesinde, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan, *yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin* esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Her iki yaklaşımda da, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır. Hasar

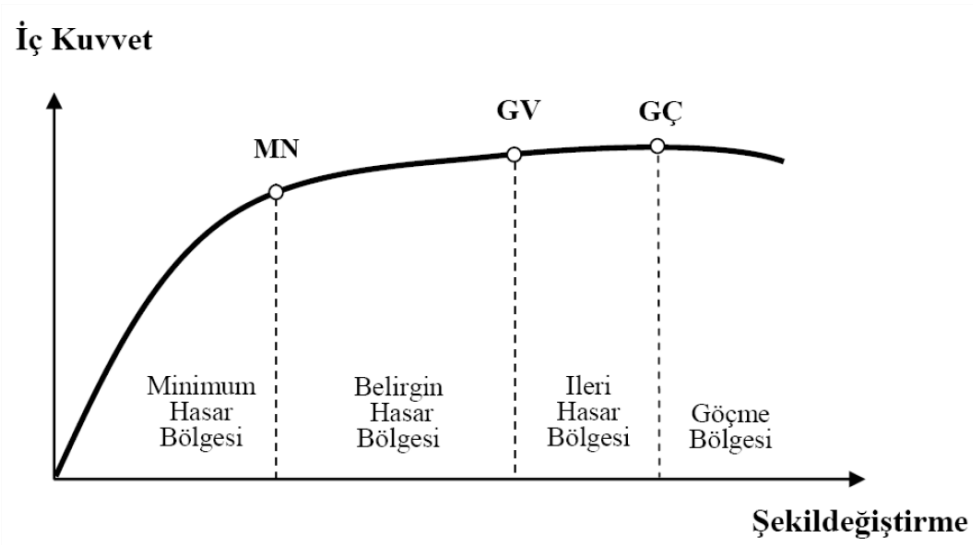
sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları “*sünek*” ve “*gevrek*” olarak iki sınıfa ayrılırlar. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaşıldıkları ile ilgilidir

3.3.1 Kesit hasar sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)’dir. Minimum hasar sınırı 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. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

3.3.2 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı 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 edilirler. Şekil 3.1’ de kesit hasar bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Kesit Hasar Bölgeleri (DBYBHY, 2007).

3.4 Bina Deprem Performans Düzeyleri

Performans düzeyleri verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında, öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir [3].

DBYYHY 2007' ye göre binaların deprem performansını, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen yapısal hasara bağlı olarak tanımlamaktadır. DBYYHY 2007 Bölüm 7.5 ve 7.6' da tanımlanan hesap yöntemlerinden doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir [13].

3.4.1 Hemen kullanım performans düzeyi

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Minimum Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir [13]. Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir ve elemanlar rijitlik ve dayanım özelliklerini korumaktadırlar. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmamıştır. Az sayıda elemanda akma sınırı aşılmış olabilir. Yapısal olmayan elemanlarda çatlamlar görülebilir, ancak bunlar onarılabilir düzeydedir.

3.4.2 Can güvenliği performans düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür, ancak bu elemanlar yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü korumaktadırlar. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınması için yeterlidir. Yapısal olmayan elemanlarda hasar bulunmakla birlikte dolgu duvarları yıkılmamıştır. Yapıda az miktarda kalıcı ötelenmeler oluşabilir; ancak gözle fark edilebilir değerlerde değildir.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine

katkısı %20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesindedir. Bu durumda, eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile, bina *Can Güvenliği Performans Düzeyi*'nde kabul edilir. Can güvenliği performans düzeyinin kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir [13].

3.4.3 Göçme öncesi performans düzeyi

Yapı, uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşır. Düşey taşıyıcı elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyenler düşey yükleri taşıyabilmektedir; ancak rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Yapıda belirgin kalıcı ötelenmeler oluşmuştur. Yapı tamamen göçmüştür veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddette bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir.

Bina göçme öncesi performans düzeyini sağlamıyorsa *Göçme Durumu*'ndadır. Binanın güçlendirme uygulanmadan, mevcut durumu ile kullanılması can güvenliği bakımından sakıncalıdır. Bununla beraber, güçlendirme de çok kere ekonomik olmayabilir.

3.5 Deprem Hareketi

Performansa dayalı değerlendirme ve tasarımda gözönüne alınmak üzere, farklı düzeyde üç deprem hareketi tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ile ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilirler.

- Servis (kullanım) depremi : 50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 72 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır.

- Tasarım depremi : 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 475 yıldır. Bu deprem 1998 ve 2007 Türk Deprem Yönetmelikleri'nde esas alınmaktadır.
- En büyük deprem : 50 yılda aşılma olasılığı % 2, dönüş periyodu yaklaşık 2475 yıl olan bir depremdir. Bu depremin etkisi tasarım depreminin yaklaşık olarak 1.50 katıdır.

3.6 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans düzeyi *performans hedefi* olarak tanımlanır. Bir bina için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna *çok seviyeli performans hedefi* denir. Mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için DBYYHY 2007' de öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : Binalar için Öngörülen Minimum Performans Hedefleri(İYYDY,2008).

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

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans düzeyi performans hedefi olarak tanımlanır. Bir bina için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna çok seviyeli performans hedefi denir.

Mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

3.7 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

DBYYHY 2007' ye göre mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla uygulanmak üzere doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerini kullanılabilir. Teorik olarak farklı yaklaşımları esas alan bu yöntemlerle yapılacak performans değerlendirmelerinin tamamen aynı sonucu vermesi beklenmemektedir. Genel ilke ve kurallar aşağıda belirtilmiştir [13].

1-Deprem etkisinin tanımında, yönetmelikte aynı zamanda tasarım için verilmiş olan 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremin elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılır. Çok seviyeli performans değerlendirmesi gerekli olan binalarda ve 50 yılda aşılma olasılıkları %50 ve %2 olan depremler için bu spektrum ordinatları sırası ile 0.5 ve 1.5 katsayıları ile çarpılır, buna karşılık bina önem katsayısı uygulanmaz ($I=1.0$).

2- Binaların deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem kuvvetlerinin birleşik etkileri altında değerlendirilir. Kat kütleleri kat ağırlıkları ile, hareketli düşey yükler de gözönüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır.

3-Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilir.

4-Deprem hesabında kullanılacak zemin parametreleri yönetmeliğin ilgili bölümüne göre belirlenir.

5-Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem kuvvetleri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeleri hesaplamak için yeterli doğrulukta hazırlanır.

6-Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri gözönüne alınır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanır ve ek dışmerkezlik uygulanmaz.

7-Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, bilgi düzeyi katsayıları aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılır.

8-Kısa kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanır.

9-Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanması aşağıda verilen ilkelere göre yapılır.

(a) Analizde beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınır.

(b) Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 olarak alınabilir.

(c) Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemli diyagramlar olarak modellenebilir.

10-Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak gözönüne alınabilir.

11-Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için

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

(b) kolon ve perdelerde, $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$ durumunda: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$ $N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$ durumunda: $(EI)_e = 0.80 (EI)_o$ değerleri kullanılır. Eksenel basınç kuvveti N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. N_D , deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin gözönüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait $(EI)_o$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı, çatlamış kesit için tanımlanan etkin eğilme rijitliği $(EI)_e$ kullanılarak deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılır.

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

13-Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatının akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılabilir.

14-Zemindeki şekildeğişikliklerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılır.

3.8 Depremde Bina Performansının Belirlenme Yöntemleri

DBYYHY 2007' de belirtildiği şekilde depremde bina performansının belirlenmesi için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler belirlenmiştir. Doğrusal elastik yöntemler eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemidir. Doğrusal olmayan elastik olmayan yöntemler ise Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir.

3.8.1 Doğrusal elastik hesap yöntemleri

Doğrusal elastik yöntemler eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemidir.

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) hesabında $R_a=1$ alınır ve deprem etkileri bir λ katsayısı ile çarpılır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 değerini almaktadır.

Mod Birleştirme Yöntemi

Mod Birleştirme Yöntemi ile hesapta $R_a=1$ alınır, diğer bir deyişle, elastik deprem spektrumları azaltılmadan, aynen kullanılır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesabında, bu doğrultuda hâkim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınır.

Betonarme Binaların Yapı Elemanlarında Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile betonarme sünek elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesinde, gözönüne alınan elemanın etki/kapasite oranı (r) olarak ifade edilen sayısal değerler kullanılır. Kırılma türü eğilme olan elemanlar **sünek**, kesme olan elemanlar ise **gevrek** eleman olarak sınıflanır. Kolon, kiriş ve perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmeleri için bu elemanların kritik kesitlerinde eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanan kesme kuvveti V_e 'nin, bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak TS-500'e göre hesaplanan kesme kapasitesi V_r 'yi aşmaması gereklidir. V_e 'nin hesabı kolonlar, kirişler ve perdeler için yönetmelikte belirtilen ilgili bölümlere göre yapılır, ancak perdelerde kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı $\beta_v=1$ alınır. Kolon, kiriş ve perdelerde V_e 'nin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılır. Düşey yükler ile birlikte, elastik deprem yükü azaltma katsayısı $R_a = 1$ alınarak depremden hesaplanan toplam kesme kuvvetinin V_e 'den küçük olması durumunda ise, V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılır. Ek koşul olarak perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmesi için ayrıca $H_w / \ell_w > 2.0$ koşulunu sağlaması gerekir. Bu koşulları sağlamayan betonarme elemanlar gevrek olarak hasar gören elemanlar olarak nitelendirilir. Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranı, deprem etkisi altında elastik deprem yükü azaltma katsayısı $R_a = 1$ alınarak hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır. Etki/kapasite oranının hesabında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınır. Kiriş mesnetlerinde düşey yükler altında hesaplanan moment etkisi, yeniden dağılım ilkesine göre en fazla %15 oranında azaltılabilir. Sarılma bölgesindeki enine donatının düzeni ve miktarı bakımından yönetmeliğin ilgili bölümlerindeki koşulları sağlayan betonarme kolonlar, betonarme kirişler ve betonarme perdeler “sargılanmış”, sağlamayanlar ise “sargılanmamış” eleman sayılır. “Sargılanmış” sayılan elemanlarda sargı donatılarının “özel deprem etriyeleri ve çirozları” olarak düzenlenmiş olması ve donatı aralıklarının yönetmelikte belirtilen koşulları sağlaması gereklidir. Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite (r) oranları, yönetmelikte verilen ilgili sınır değerler (r_s) ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir.

Kiriş, kolon ve perdelerde etki/kapasite oranlarının sınır değerleri izelge 3.3 izelge 3.4 ve izelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Betonarme Kirişler için Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (rs) (DBYBHY, 2007).

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_o}$	Sargılama	$\frac{V_e^{(1)}}{b_w d f_{ctm}}$	MN	GV	G
≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4

Çizelge 3.4 : Betonarme Kolonlar için Hasar Sınır Sınırları Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları(rs) (DBYBHY, 2007).

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N_K^{(1)}}{A_c f_{cm}}$	Sargılama	$\frac{V_e^{(1)}}{b_w d f_{ctm}}$	MN	GV	G
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
≥ 0.7	-	-	1	1	1

Çizelge 3.5 : Betonarme Perdeler için Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (rs) (DBYBHY, 2007).

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

3.8.2 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

Doğrusal olmayan elastik olmayan yöntemler ise Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir.

Artımsal İtme Analizi

Yerdeğiştirme ve şekil değiştirme değerlerine bağılı değerlendirilmenin irdelendiğı bu yöntemde, belirli bir yatay deprem yüğü dağılımı için yapıdaki tepe yerdeğiştirme talebine ulaşıldığında, olası deprem koşulları altında beklenen performans hedeflerinin belirtilen koşullar çerçevesinde sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde amaç, X ve Y doğrultusunda birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem talep sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizi'nin yapılmasıdır.

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Artımsal eşdeğer deprem yüğü yönteminin uygulanabilirlik koşullarında belirtildiğı üzere sınırlı bir kullanım alanı vardır, yapının kat sayısı, simetrik olması ve deprem hesabında etkin modların ilk modlar olması.vb. fiziksel özellikler artımsal mod birleştirme yöntemi için uygulanabilirlik koşullarını oluşturmaz. Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizinde birbiri ardına oluşan iki plastik kesitin arasındaki her bir itme adımındaki adım adım doğrusal elastik davranış ele alınır. Mod şekli genlik değerlerine göre monotonik olarak arttırılan modal yerdeğiştirmeler incelenerek, her adımda mod birleştirme kuralları'nın uygulandığı bir doğrusal davranış spektrumu analizi gerçekleştirilir. Bu analizin sonuçlarından yararlanılarak, adım sonunda sistemde oluşan plastik kesit belirlenir; yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme, iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli değerler ve sonuçta deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır [2,14].

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Yapı sisteminin spektrum eğrisi ile uyuşan bir deprem kaydı altında doğrusal olmayan davranış gözönünde tutularak hareket denkleminin sayısal olarak çözümlenerek, doğrusal olmayan çözümlemeye olduğu gibi plastik şekildeğiştirme, yer değiştirme ve iç kuvvet istemleri zamana bağılı olarak bulunur. Plastik kesitlerin plastik dönmeleri

bulunur. Bu plastik dönmelerin karşılık geldiği beton ve donatı çeliği şekil değiştirmeleri ile hasar tespiti yapılır.Yapısal elemanların statik itme analizi adımlarında güç tükenmesi durumlarının kontrolleri gerekmektedir. Kesit etkileri karşı gelen mevcut kapasitelerle karşılaştırılır.

4. İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR DEPREM YÖNETMELİĞİ TASARIM KURALLARI

4.1 Giriş

İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği taslak halinde bir yönetmelik olmasına rağmen günümüzde yüksek bina tasarımlarında DBYYHY 2007 ile birlikte esas alınmaktadır. İYYDY' ne göre yüksek bir bina, tamamı yer altında olan bodrum katları hariç olmak üzere, en düşük yer seviyesinden itibaren yukarıya doğru kat sayısı en az 20 kat veya yüksekliği en az 60 m olan binalardır [15].

İstanbul Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliği, deprem etkileri altında temel ilke olarak performansa göre tasarımı esas almaktadır. Performansa göre tasarım yaklaşımında, belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında yüksek binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar sayısal olarak tahmin edilir ve bu hasarın her bir elemanda kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Kabul edilebilir hasar limitleri, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremler altında, genel olarak doğrusal elastik sınırlar ötesindeki şekildeğişimlere karşı geldiğinden, performansa göre tasarım yaklaşımı doğrusal olmayan (nonlinear) analiz yöntemleri ve şekildeğiştirmeye (deformasyona) göre tasarım kavramı ile doğrudan ilişkilidir. Yönetmelikte, hasarın sınırlı olmasının öngörüldüğü performans hedefleri için, dayanıma göre tasarım ilkesine dayanan doğrusal (linear) analiz yöntemlerinin kullanılmasına da izin verilmektedir. Yüksek binaların bu yönetmelik kapsamında gerçekleştirilen depreme dayanıklı tasarımlarının, Bölüm 7' de belirtilen Bağımsız Kontrol Kurulu tarafından kontrol edilmesi ve onaylanması gerekmektedir [15].

4.2 Deprem Etkisinin Tanımlanması

4.2.1 Deprem etkisinin tanımlanması

Bu Yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların performansa göre tasarımında esas alınacak deprem düzeyleri aşağıda tanımlanmıştır.

1) (D1) Deprem Düzeyi

Bu deprem düzeyi, Yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı fazla olan, göreceli olarak sık olarak oluşan ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (D1) düzeyindeki depremin yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 72 yıldır.

2) (D2) Deprem Düzeyi

Bu deprem düzeyi, Yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (D2) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 475 yıldır.

3) (D3) Deprem Düzeyi

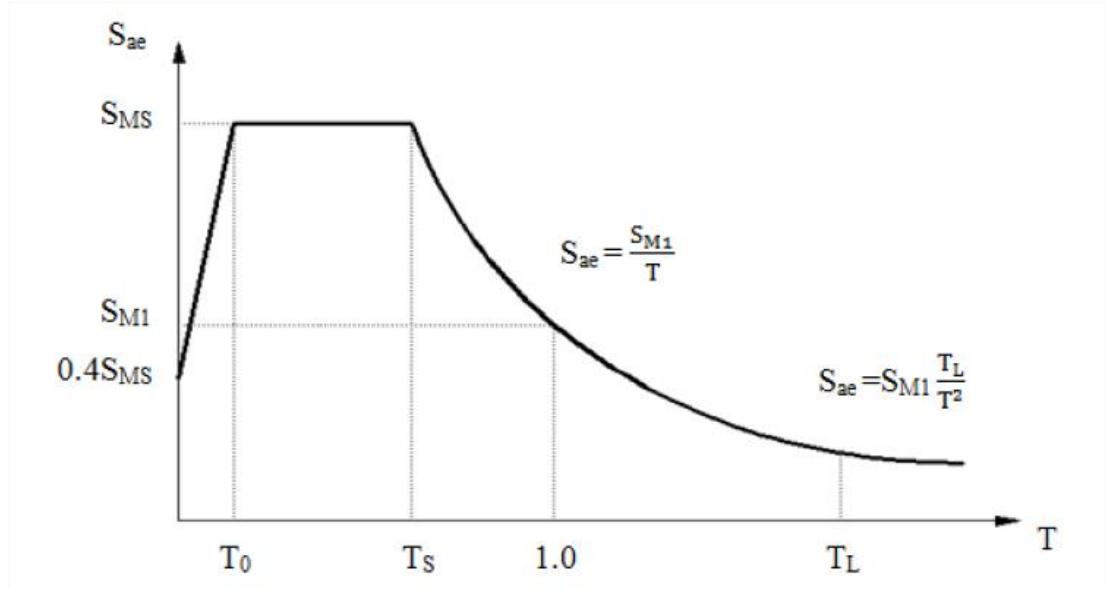
Bu deprem düzeyi, Yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların maruz kalabileceği en şiddetli deprem yer hareketini ifade etmektedir. (D3) düzeyindeki bu çok seyrek depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

4.2.2 Deprem tasarım spektrumları

D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri için kısa doğal titreşim periyodu (0.2 saniye) ve 1.0 saniyelik doğal titreşim periyoduna karşı gelen yatay deprem spektral ivme değerleri (sırası ile S_s ve S_1), B ve C Zemin Sınıfları ara sınırı için eklerde verilmiştir. Diğer zemin sınıfları için, aynı doğal titreşim periyotlarına karşı gelen spektral ivme değerleri S_{MS} ve S_{M1} aşağıda verilen denklem (4.1) kullanılarak hesaplanacaktır.

$$S_{MS} = F_a S_s, S_{M1} = F_v S_1 \quad (4.1)$$

İYYDY' ne göre belirlenmiş tasarım spektrumu Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : İYBDY Tasarım Spektrumu (İYYDY, 2008).

Fa ve Fv zemin etkisi parametreleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 : Kısa Periyot Zemin Katsayısı Fa (İYYDY, 2008).

Zemin Sınıfı	Kısa Periyot Spektral İvmesi (g)(a)				
	SS≤0.25	SS=0.50	SS=0.75	SS=1.0	SS≥1.25
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	-(b)	-(b)	-(b)	-(b)	-(b)
(a) Sa'in ara değerleri için interpolasyon yapılacaktır					
(b) Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Çizelge 4.2 : 1.0 sn Periyodu Zemin Katsayısı Fv (İYYDY, 2008).

Zemin Sınıfı	1.0 sn Periyotunda Spektral İvme (g)(a)				
	SS≤0.1	SS=0.2	SS=0.3	SS=0.4	SS≥0.5
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	-(b)	-(b)	-(b)	-(b)	-(b)
(a) S1'in ara değerleri için interpolasyon yapılacaktır					
(b) Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yatay deprem için tasarım spektrumları, aşağıdaki şekilde tanımlanacaktır.

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= 0.4S_{ms} + 0.6 \frac{S_{ms}}{T_0} T & (T_0) \\
 S_{ae}(T) &= S_{ms} & (T_0) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{M1}}{T} & (T_s \leq T \leq T_L) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{M1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Spektrum köşe periyotları T_0 ve T_s aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$T_0 = \frac{S_{M1} T_L}{S_{MS}} ; T_0 = 0.2 T_s \tag{4.3}$$

Uzun periyot bölgesine geçiş periyodu, İstanbul için $T_L=12$ sn olarak alınacaktır.

4.2.3 Zaman tanım alanında deprem etkisi

Zaman tanım alanında yapılacak analizler için aşağıdaki ilkeler esas alınmalıdır.

-Zaman tanım alanında yapılacak analizler için, aşağıda verilen özelliklere sahip en az yedi deprem yer hareketi takımı (yatay doğrultuda birbirine dik iki yatay bileşen için ivme kayıtları) seçilecektir. Her bir deprem yer hareketi takımı için senaryo depremi parametreleri ile uyumlu gerçek deprem ivme kayıtları kullanılacaktır. İstanbul ili için bu ivme kayıtlarının seçiminde, yanal atımlı deprem kaynak mekanizması, $7.0 < M_w < 7.5$ deprem moment büyüklüğü ve B veya C zemin sınıfı esas alınacaktır. Deprem mesafesi olarak ise, bina ile Ana Marmara Fay Hattı arasındaki en kısa uzaklık alınacaktır.

-Yeterli sayıda gerçek deprem ivme kaydı bulunamadığı durumlarda, deprem yer hareketi simülasyonları ve tasarım spektrumu ile uyumlu olarak üretilmiş yapay deprem yer hareketleri kullanılabilir.

-Yapılacak deprem yer hareketi simülasyonları faylanma mekanizması, yırtılma özellikleri, deprem kaynağı ve kayıt istasyonu arasındaki ortamın jeolojik yapısını göz önüne alan fiziksel bir modele dayalı olmalıdır. Direktivite etkilerinin göz önüne alınması amacı ile, bina konumu ile Ana Marmara Fay Hattı arasındaki en kısa mesafenin 15 km'den daha az olduğu durumlarda en az üç deprem yer hareketi takımı simülasyona dayalı olarak belirlenecektir. Aynı ivme kaydı her iki yatay doğrultu için de kullanılamaz.

-Spektrum uyumlu olarak üretilmiş yapay deprem yer hareketlerinin faz spektrumunun senaryo depremi parametreleri ile uyumlu gerçek deprem ivme kayıtlarının faz spektrumuna benzemesi gereklidir.

-Her bir deprem yer hareketi takımından hesaplanan 0 saniye periyodundaki %5 sönüm oranlı spektral genliklerin ortalaması tasarım spektrumunun 0 saniye periyodundaki spektral genliğinden (0.4SMS) daha düşük olmamalıdır.

-Her bir deprem yer hareketi kaydı ivme genliğinin 0.05g'yi ilk ve son olarak aştığı iki nokta arasında kalan süre, binanın doğal titreşim periyodunun 5 katından veya 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır. Her bir deprem yer hareketi takımının iki bileşenine ait %5 sönüm oranlı spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke spektrum elde edilecektir. Bütün kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının 0.2T ve 1.2T (T = Binanın hakim doğal titreşim periyodu) periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyod aralığındaki genliklerinin 1.3 katından daha az olmaması kuralına göre, deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir. Her iki bileşenin ölçeklendirilmesi aynı oranlarda yapılacaktır.

-Gerekli görülen durumlarda, deprem yer hareketinin düşey bileşenine ilişkin parametreler, Bağımsız Kontrol Kurulu tarafından onaylanmak üzere tanımlanabilir.

4.3 Yüksek Binalar İçin Tanımlanan Performans Düzeyleri, Performans Bölgeleri ve Performans Hedefleri

İYBDY' de yüksek binaların performans seviyeleri, deprem etkisi altında meydana gelmesi beklenen hasarlara bağlı olarak aşağıda tanımlanmıştır. Bu performans düzeyleri için kabul edilebilir hasar limitleri, her bir yapı tipi veya elemanı için ayrı ayrı ve sayısal olarak tanımlanacaktır.

4.3.1 Minimum hasar / kesintisiz kullanım performans düzeyi (MH/KK)

Minimum Hasar (Kesintisiz Kullanım) Performans Düzeyi, yüksek binalarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi ile hiç yapısal ve yapısal olmayan hasar meydana gelmemesi veya meydana gelecek hasarın çok sınırlı düzeyde olması durumunu tanımlayan performans düzeyidir. Bu durumda yüksek bina kesintisiz

olarak kullanılmaya devam eder veya meydana gelebilecek aksamalar birkaç gün içinde kolayca giderilebilecek düzeyde kalır.

4.3.2 Kontrollü hasar / can güvenliği performans düzeyi (KH/CG)

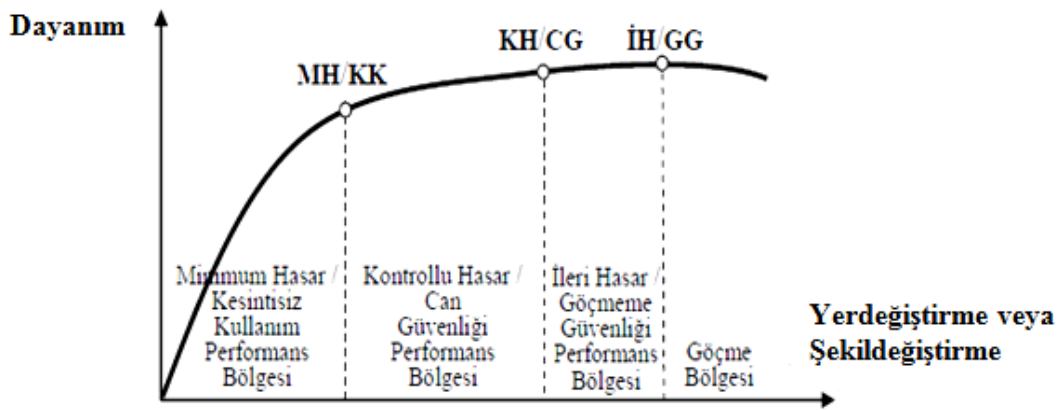
Kontrollü Hasar (Can Güvenliği) Performans Düzeyi, yüksek binalarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında sınırlı ve onarılabilir düzeyde yapısal ve yapısal olmayan hasarın meydana gelmesine izin verilen performans düzeyi olarak tanımlanır. Bu durumda, yüksek binanın kullanımında kısa süreli (birkaç hafta veya ay) aksamaların meydana gelmesi normaldir.

4.3.3 İleri hasar / göçmeme güvenliği performans düzeyi (İH/GG)

İleri Hasar (Göçmeme Güvenliği) Performans Düzeyi, yüksek binalarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında göçme öncesinde meydana gelen ileri derecedeki yaygın hasarı temsil etmektedir. Bu durumda, yüksek binanın kullanımında uzun süreli aksamaların meydana gelmesi, hatta binanın kullanımına son verilmesi mümkündür.

4.3.4 Performans bölgeleri

Yönetmelik çerçevesinde tanımlanan performans bölgeleri Şekil 4.2' de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : İYBDY Performans Bölgeleri (İYYDY, 2008).

(MH/KK) Performans Düzeyi'nin altında kalan bölge Minimum Hasar / Kesintisiz Kullanım Performans Bölgesi, (MH/KK) Performans Düzeyi ile (KH/CG) Performans Düzeyi arasında kalan bölge Kontrollü Hasar / Can Güvenliği Performans Bölgesi, (KH/CG) Performans Düzeyi ile (İH/GG) Performans Düzeyi arasında kalan bölge

İleri Hasar / Göçmeme Güvenliği Performans Bölgesi, ve (İH/GG) Performans Düzeyi'nin üstündeki bölge “Göçme Bölgesi” olarak tanımlanır.

4.3.5 Yüksek binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

Yüksek binalar için öngörülen minimum performans hedefleri, deprem düzeylerine bağlı olarak Çizelge 4.3’de belirtildiği şekilde tanımlanmıştır.

Çizelge 4.3 : Çeşitli Deprem Düzeylerinde Yüksek Binalar için Hedeflenen Performans Bölgeleri (İYYDY, 2008).

Kullanım Bakımından Bina Sınıfı	(D1)Deprem Düzeyi	(D2)Deprem Düzeyi	(D3)Deprem Düzeyi
Normal Sınıf Binalar Konut, Otel, Ofis Binaları vb.	MH/KK	KH/CG	İH/CG
Özel Sınıf Binalar Sağlık, Eğitim, Kamu Yönetim Binalar vb.	-	MH/KK	KH/CG

Kullanım bakımından “Normal Sınıf”a giren yüksek binaların (konut, otel, ofis binaları, vb) performanslarının D1 depremi altında “Minimum Hasar / Kesintisiz Kullanım Performans Bölgesi”nde, D2 depremi altında “Kontrollü Hasar / Can Güvenliği Performans Bölgesi”nde ve D3 depremi altında “İleri Hasar / Göçmeme Güvenliği Performans Bölgesi”nde olması öngörülmektedir.

Kullanım bakımından “Özel Sınıf”a giren yüksek binaların (sağlık, eğitim, kamu yönetim binaları, vb) performanslarının ise, (D2) depremi altında “Minimum Hasar / Kesintisiz Kullanım Performans Bölgesi”nde ve (D3) depremi altında “Kontrollü Hasar / Can Güvenliği Performans Bölgesi”nde olması öngörülmektedir.

4.4 Yüksek Binalar için Analiz ve Tasarım Yöntemleri

4.4.1 Yüksek binalar için analiz yöntemleri

Yüksek binalar için belirlenen tasarım aşamalarında kullanılacak doğrusal elastik analizlerde **Mod Birleştirme-Spektral Analiz** yöntemi kullanılacaktır. Hesaplarda mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme Kuralı kullanılacaktır.

Doğrusal elastik hesaplarda kullanılan Mod Birleştirme yönteminde hesaba katılacak mod sayısı modal kat kesme kuvvetine göre belirlenecek ve her bir kat için her bir doğrultuda aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır. Bu bağıntılar bina kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit gibi davranmaları varsayılmıştır.

$$V_{xin} = M_{xin} S_{aen} \quad ; M_{xin} = \Gamma_{xn} \sum_{j=1}^N m_j \Phi_{xjn} \quad (4.4)$$

Burada;

- S_{aen} ; n'inci mod a ait spektral ivme
- M_{xin} ; Gözönüne alınan X doğrultusundaki depremde n'inci mod dai'inci katta aynı doğrultuda meydana gelen kat kesme kuvvetine ait etkin kütle
- m_j ; J'inci katın kütlesi
- Φ_{xjn} ; n'inci mod da j'inci katın kütle merkezinin x doğrultusundaki mod şekli genliği
- N; toplam kat sayısı
- Γ_{xn} ; x doğrultusundaki deprem için n'inci mod a ait modal katkı çarpanı

$$\Gamma_{xn} = \frac{\sum_{j=1}^N m_j \Phi_{xjn}}{\sum_{j=1}^N m_j \Phi_{xjn}^2 + m_j \Phi_{yjn}^2 + m_{\theta j} \Phi_{\theta jn}^2} \quad (4.5)$$

Yüksek binalar için belirlenen tasarım aşamalarında kullanılacak doğrusal olmayan- nonlinear- analizlerde **Zaman Tanım Alanında Doğrudan Entegrasyon Yöntemi** kullanılacaktır. Zaman tanım alanında doğrudan entegrasyon yönteminde en az yedi deprem yer hareketinin iki doğrultudaki ivme kayıtları yapının asal eksenine aynı anda uygulanacaktır. Tasarıma esas deprem talepleri bu deprem kuvvetlerinden oluşan analiz sonuçlarının ortalaması olarak hesaplanacaktır. Yapılacak bu doğrusal olmayan hesaplarda ikinci mertebe (P-Δ) etkilerinin hesaplara dahil edilmesi zorunludur. Hesaplarda sönüm oranı en fazla $\xi=0.05$ alınacaktır. Düşey deprem etkisi taşıyıcı sistemin özelliklerine bağlı olarak gerekli görüldüğü durumlarda hesaplara dahil edilebilir. Yönetmelik kapsamında bulunan yüksek binaların doğrusal ya da doğrusal olmayan hesaplarında kullanılacak kütle için DBYYHY 2007 Denklem(2.6) 'da bulunan hareketli yük katılım katsayısı n , DBYYHY 2007 Tablo 2.7 deki 3.satıra karşı gelen durum için aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanacaktır. Bu katsayı hesaplarda 0.30 'dan daha büyük alınmayacaktır.

$$\begin{aligned} n &= 0.01(50 - N) & N \leq 40 \\ n &= 0.01 & N > 40 \end{aligned} \quad (4.6)$$

4.4.2 Analiz modellerine ilişkin kural ve koşullar

Çerçeve elemanlarının modellenmesi, doğrusal analizde çubuk sonlu elemanlar ile yapılacaktır. Doğrusal olmayan analizde ise yığılı plastisite yaklaşımı çerçevesinde plastik kesitlerin (plastik mafsallar) tanımlandığı çubuk sonlu elemanlar ile veya yayılı plastisite yaklaşımı çerçevesinde lif (fiber) elemanları ile yapılabilir. Plastik mafsallık boyu için ampirik bağıntılardan yararlanılabilir. Doğrusal olmayan (nonlinear) analizde, bağımsız kontrol kurulunun onayı ile bu yöntemler dışında alternatif yaklaşımlar da kullanılabilir. DBYYHY 2007 Bölüm 7.6.4.2 de de bu konu açıklanmıştır. Burada malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, literatürde geçerliliği kanıtlanmış hesap modelleri esas alınabilir. Fakat, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılması ve kullanım kolaylığı nedeniyle doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda plastik mafsallık hipotezine karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Plastik mafsallık boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0.5h$). $H_w / \ell_w \leq 2.0$ olan perdelerde, eğilme etkisi altında plastik şekil değiştirmeler hesaplara dahil edilmeyecektir. Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu, elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır. Perde elemanların modellenmesi doğrusal analiz aşamasında kabuk elemanlar kullanılarak yapılacaktır. Çubuk elemanda kullanılan çatlamış kesit rijitlikleri ile uyumlu olması bakımından perde elemanlar için de DBYYHY 2007 Bölüm 7.4.13'de verilen bağıntı kullanılabilir. İlgili bağıntı aşağıda gösterilmiştir [15].

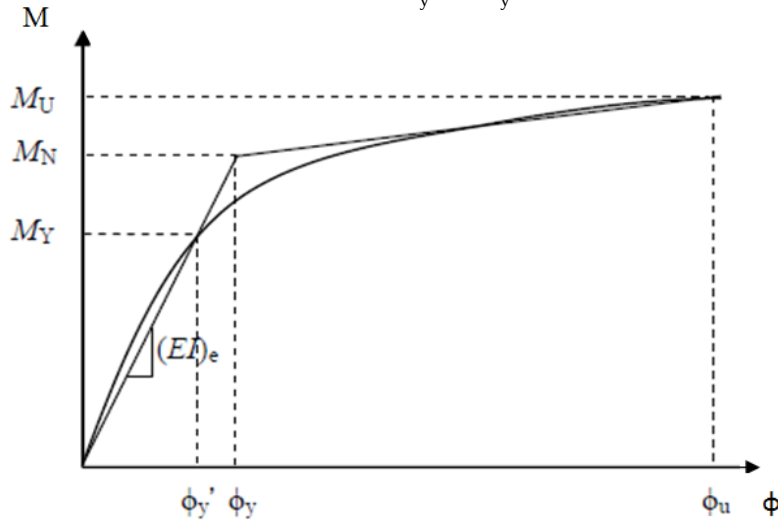
Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

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: $(EI)_e = 0.80 (EI)_o$

Perde ve perde elemanların doğrusal olmayan analizlerde modellenmesi için yayılı plastisite yaklaşımı ışığında fiber-lif elemanlar kullanılabilir. Betonarme perde ve perde elemanların kayma rijitlikleri hesaplara uygun şekilde dahil edilmelidir. Betonarme çubuk elemanlar olarak modellenen çerçeve elemanlarda da çatlamış etkin eğilme rijitliği kullanılmalıdır. Tasarım I-A aşamasında DBYYHY 2007 Bölüm 7.4.13'de verilen bağıntı kullanılabilir. Tasarım Aşaması II ve Tasarım Aşaması III'de kesitlere ait etkin eğilme rijitlikleri Şekil 4.3'te de gösterilen moment-eğrilik ilişkisi kullanılarak elde edilecektir.

$$(EI)_e = \frac{M_y}{\Phi'_y} = \frac{M_N}{\Phi_y} \quad (4.7)$$



Şekil 4.3 : Moment-Eğrilik Bağıntısı (İYYDY, 2008).

Burada M_Y , kesitteki ilk akma durumunu ifade etmektedir. Bu durumdaki eğrilik ϕ_y betonun birim şekil değiştirmesinin 0.002 değerine veya donatı birim şekil değiştirmesinin akma birim şekil değiştirmesine (hangisi daha önce olursa) erişmesine karşılık gelir. Etkin eğrilik ϕ_y 'ye karşılık gelen etkin plastik moment M_N , beton basınç birim şekil değiştirmesi 0.004 veya donatı birim şekil değiştirmesi 0.015 alınarak (hangisine daha önce erişilirse) hesaplanır. Kolonların moment dayanımlarının hesabında, sadece düşey yüklerden meydana gelen eksenel kuvvetler kullanılır.

Analizlerde DBYBHY (2007)'de tanımlanan sargılı beton ve donatı çeliği için davranış modelleri kullanılır. Yüksek binalarda C50'den daha yüksek dayanımı olan betonların kullanılması için bağımsız kontrol kurulunun onayı gereklidir. Ön boyutlama aşamasında beton, donatı çeliği ve yapı çeliği için tasarım dayanımları f_d , ilgili karakteristik dayanımların f_k malzeme güvenlik katsayılarına bölünmesi ile

tanımlanır. Diğer gerçelleme aşamalarında ise, tasarım dayanımı olarak “ortalama dayanım – f_e ” değerleri kullanılacak, malzeme güvenlik katsayıları göz önüne alınmayacaktır. Ortalama dayanım değerleri ile karakteristik dayanım değerleri arasında aşağıdaki bağıntı kullanılabilir.

$$\text{Beton için ;} \quad f_{ce} = 1.3f_{ck} \quad (4.8)$$

$$\text{Donatı Çeliği için ;} \quad f_{ye} = 1.3f_{yk} \quad (4.9)$$

Çubuk elemanlarda plastik kesitlerin (plastik mafsalların) doğrusal olmayan histeretik bağıntılarında iskelet eğrileri iki doğrulu (bi-lineer) alınabilir. Histeretik davranışta rijitlik azalması ve dayanım azalması etkileri, yeni yapılan yüksek binalarda ihmal edilebilir. Düşey taşıyıcı sistem elemanlarının yatay rijitliklerinde ani değişimlerin bulunduğu kat yatay düzlemlerinde, yeterli düzlem içi rijitliğe ve dayanıma sahip aktarma katlarının oluşturulmasına özen gösterilecektir. Temel ve bodrum çevresindeki zemin ortamının rijitliği, Bağımsız Kontrol Kurulu’na uygun görülen idealleştirme yöntemleri ile göz önüne alınacaktır.

4.4.3 Yüksek binalarda performansa göre deprem tasarım aşamaları

Tasarım Aşaması (I-A) Kontrollü Hasar /Can Güvenliği Hedef Performansı için Doğrusal Analiz ile Ön Tasarım (Boyutlama)

Kontrollü Hasar / Can Güvenliği hedef performansı için ön boyutlama amaçlı bu tasarım aşamasında, Normal Sınıf Binalar’da (D2) düzeyindeki depremin, Özel Sınıf Binalar’da ise (D3) düzeyindeki depremin etkisi altında Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımı ile DBYBHY (2007)’de belirtilen azaltılmış deprem yükleri altında doğrusal elastik analiz ve ön tasarım yapılacaktır. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı’na ve doğal titreşim periyoduna (T) bağlı olarak, elastik deprem yüklerinin azaltılmasında kullanılacak “Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı” aşağıda tanımlanmıştır. Burada T_s , spektrum köşe periyodunu göstermektedir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_s} \quad (0 \leq T \leq T_s) \quad (4.10)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_s \leq T)$$

Yönetmeliğin konusu olan yüksek yapıların tasarımında kullanılacak Taşıyıcı Davranış Katsayısı Bağımsız Kontrol Kurulu tarafından onaylanmak koşulu ile en yüksek 7 alınabilir. Konusu geçen yüksek yapılar aşağıda tanımlanmıştır.

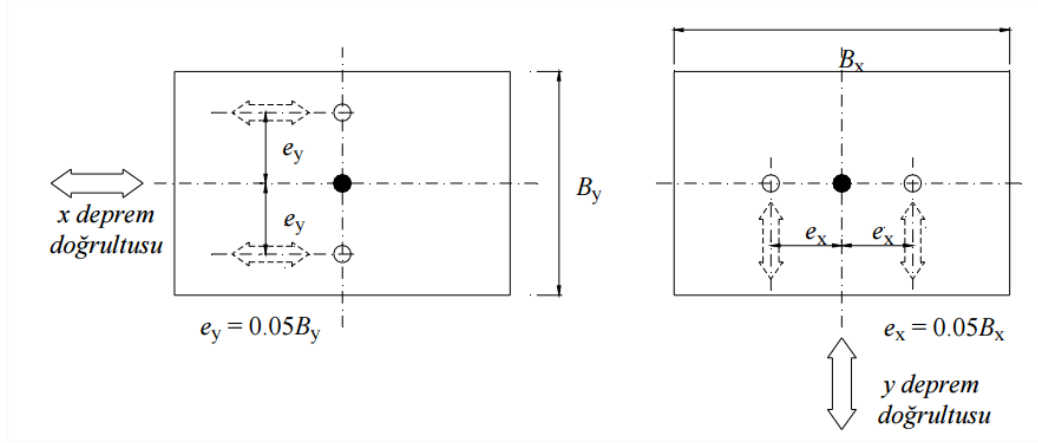
- Deprem yüklerinin bağ kirişli betonarme perdelerle taşındığı bina taşıyıcı sistemleri
- Deprem yüklerinin dışmerkez çaprazlı veya burkulması önlenmiş merkezi çelik perdelerle taşındığı bina taşıyıcı sistemleri
- Deprem yüklerinin tüp veya iç içe tüp şeklinde düzenlenen rijit düğüm noktalı betonarme veya çelik çerçeveler tarafından taşındığı bina taşıyıcı sistemleri;
- Deprem yüklerinin boşluksuz veya bağ kirişli betonarme perdelerle ve/veya çelik perdeli sistemlerle birlikte rijit düğüm noktalı betonarme veya çelik çerçeveler tarafından birlikte taşındığı bina taşıyıcı sistemleri;
- Deprem davranışının yukarıdakilere eşdeğer olduğu Bağımsız Kontrol Kurulu tarafından onaylanan diğer bina taşıyıcı sistemleri (Bu sistemlere uygulanacak R katsayıları, tasarım mühendisinin önerisi ile Bağımsız Kontrol Kurulu tarafından onaylanacaktır).

Kullanılan R katsayısından bağımsız olarak, ön tasarımda göz önüne alınacak taban kesme kuvveti, aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanan değerden küçük olamaz:

$$V_{t,min} = 0.04S_{MS(D2)}W \quad (4.11)$$

SMS(D2), (D2) düzeyindeki deprem için tanımlanan kısa periyod spektral ivmesini, W ise binanın kütlelerine karşı gelen ağırlığını göstermektedir. Mod Birleştirme Yöntemi ile bulunan tüm iç kuvvet büyüklükleri, aynı yöntemle hesaplanan taban kesme kuvveti denklem V_{tmin} 'a eşit olacak şekilde ölçeklendirilecektir.

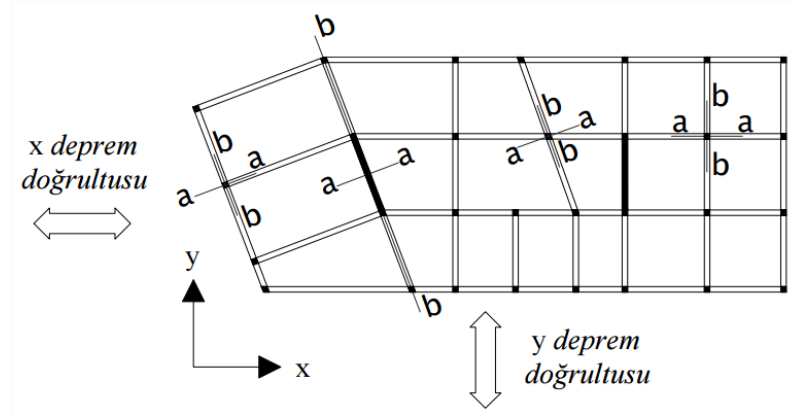
DBYYHY 2007 Bölüm 2.8.2.1 'de belirtildiği gibi hesaplarda ek dışmerkezlik etkileri hesaplara dahil edilecektir. Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi gözönüne alınacaktır. Her katta modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesaplanacak, ancak ek dışmerkezlik etkisi'nin hesaba katılabilmesi amacı ile, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine uygulanacaktır. Dış merkezlik etkisi Şekil 4.4 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Ek Dışmerkezi Etkisi (İYYDY, 2008).

Elemanlara ait asal eksenleri doğrultusundaki iç kuvvet büyüklükleri DBYYHY 2007 Bölüm 2.7.5' de belirtildiği şekilde yapılacaktır. Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen X ve Y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler, en elverişsiz sonucu verecek şekilde aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanacaktır. Şekil 4.5' de asal eksen yönleri gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} B_a &= \pm B_{ax} \pm 0.30B_{ay} & \text{veya} & & B_a &= \pm 0.30B_{ax} \pm B_{ay} \\ B_b &= \pm B_{bx} \pm 0.30B_{by} & \text{veya} & & B_b &= \pm 0.30B_{bx} \pm B_{by} \end{aligned} \quad (4.12)$$



Şekil 4.5 : Asal Eksen Doğrultuları (İYYDY, 2008).

DBYYHY 2007 Bölüm 2.10.1'de belirtildiği gibi her bir doğrultuda düşey taşıyıcı elemanların göreceli kat ötelemeleri hesaplanacaktır ve bu şekilde sınırlandırılacaktır. Belirlenen minimum taban kesme kuvveti koşulu bu kontrolde dikkate alınmayabilir.

Yapıda bulunan herhangi bir kolon ya da perde için ardışık 2 kat arasındaki yerdeğiştirme farkı olan Δ_i Azaltılmış görelî kat ötelemesi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (4.13)$$

Azaltılmış görelî kat ötelemesi hesabında kullanılan d_i i'inci, d_{i-1} ise (i-1)'inci katlardaki azaltılmış deprem yüklerine göre bulunan yatay yerdeğiştirmelerdir. Görelî kat ötelemesi herhangi bir kolon veya perde eleman için o kata ait kat yüksekliği h ve yapı davranış katsayısına bağı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\delta_i = R\Delta_i \quad \frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (4.14)$$

Tüm betonarme elemanlarda süneklik düzeyi yüksek sistemler için sargı donatıları kullanılacaktır. DBYYHY 2007 Bölüm 3' de bu minimum değerler tariflenmiştir.

DBYYHY 2007 Bölüm 3 ve Bölüm 4'de verilen kapasite tasarım ilkeleri kolon ve kiriş kesme güvenliği için aynen uygulanacaktır. Düşeyde konsol veya konsola yakın çalışan betonarme perdelerin kesme güvenliği için DBYYHY 2007 Bölüm 3.6.6.3 uygulanacaktır. Dinamik büyütme katsayısı $\beta_v=2$ alınacaktır.

Tasarım Aşaması (I-B) Kontrollü Hasar /Can Güvenliği Hedef Performansı için Doğrusal Olmayan Analiz ile Tasarım (Gerçelleme)

Yüksekliği 75 m'den fazla olan ve Tasarım Aşaması (I – A)'da normal Sınıf Binalar'da (D2) düzeyindeki depremin etkisi altında “Dayanıma Göre Tasarım” yaklaşımı ile ön tasarımı yapılarak ön boyutları saptanan yüksek bina taşıyıcı sisteminin tasarımı, yine aynı depremin etkisi altında “Kontrollü Hasar / Can Güvenliği” hedef performansı için doğrusal olmayan (nonlinear) analiz ile yapılacaktır. Bu analizde ek dışmerkezlilik etkileri göz önüne alınmayabilir. En az $2*7=14$ analizden hesaplanan sonuçların ortalaması olarak elde edilen deprem istemleri, İYYDY'de belirtilen kapasiteler ile karşılaştırılacaktır. Her katta, her bir düşey taşıyıcı elemanın görelî kat ötelemesi oranı (görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı) 0.025 değerini aşmayacaktır. Betonarme kesitler için, sargı donatısı içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesinin üst sınırları aşağıda verilmiştir.

$$\varepsilon_{cg} = 0.0135 \quad ; \quad \varepsilon_s = 0.04 \quad (4.15)$$

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesme kuvveti kapasiteleri, İYYDY Bölüm 4.2.6'da tanımlanan ortalama dayanımlar esas alınarak DBYBHY 2007 'e göre hesaplanacaktır. Verilen koşulların herhangi birinin sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemde gerekli değişiklikler yapılarak tüm tasarım aşamaları tekrarlanacaktır.

Tasarım Aşaması (II) Minimum Hasar/Kesintisiz Kullanım Hedef Performansı için Doğrusal Analiz ile Gerçekleme

Normal Sınıf Binalar'da Tasarım Aşaması I-A'da (D2) düzeyindeki depremin etkisi altında Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımı ile ön tasarımı yapılarak ön boyutları saptanan ve yine aynı depremin etkisi altında tasarımı yapılan yüksek bina taşıyıcı sistemi, Normal Sınıf Binalar'da (D1) düzeyindeki depremin etkisi altında Minimum Hasar / Kesintisiz Kullanım hedef performansı için doğrusal analiz ile gerçekleştirilecektir. Çizelge 4.4'de tasarım ve gerçekleştirme aşamalarına ait koşullar özetlenmiştir. Bu analizde ek dışmerkezlilik etkileri göz önüne alınmayabilir. Yüksekliği 75m'den fazla olmayan binalarda bu aşama ile bina tasarımı tamamlanacaktır.

Eleman asal eksen doğrultularındaki iç kuvvet büyüklükleri DBYBHY (2007)'ye Göre hesaplanacaktır. Gerçeklemeye esas iç kuvvetler, taşıyıcı sistemin türüne bakılmaksızın lineer elastik analizden elde edilen iç kuvvetlerin $R_a = 1.5$ katsayısına bölünmesi ile elde edilecektir. Bu kuvvetlerin ortalama dayanımlar esas alınarak hesaplanan kesit taşıma güçlerini aşmadığı gösterilecektir.

Her katta, her bir doğrultuda her bir düşey taşıyıcı elemanın DBYBHY (2007)'ye göre hesaplanan görelî kat ötelemesi oranı (görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı) 0.01 değerini aşamayacaktır. Yukarıdaki koşulların sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemde gerekli değişiklikler yapılarak tüm tasarım aşamaları tekrarlanacaktır.

Tasarım Aşaması (III) İleri Hasar / Göçmeme Güvenliği Hedef Performansı için Doğrusal Olmayan Analiz ile Gerçekleme

Yüksekliği 75 m'den fazla olan ve Normal Sınıf Binalar'da (D2) düzeyindeki depremin etkisi altında Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımı ile ön tasarımı yapılarak ön boyutları saptanan ve yine aynı depremin etkisi altında tasarımı yapılan yüksek bina taşıyıcı sistemi, (D3) düzeyindeki depremin etkisi altında İleri Hasar /Göçmeme Güvenliği hedef performansı için yapılacak doğrusal olmayan (nonlinear) analiz ile gerçekleştirilecektir. Bu analizde ek dışmerkezlilik etkileri göz önüne alınmayabilir.

En az 2*7=14 analizden hesaplanan sonuçların ortalaması olarak elde edilen deprem istemleri, İYYDY'de belirtilen kapasitelerle karşılaştırılacaktır. Her katta, her bir düşey taşıyıcı elemanın her bir doğrultudaki görelî kat ötelemesi oranı 0.035 değerini aşamayacaktır. DBYBHY 2007’de verilen sargı donatı koşullarını sağlayan betonarme kesitler için, sargı donatısı içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değıştirmesi ile donatı çeliğı birim şekil değıştirmesinin üst sınırları aşağıda verilmiştir.

$$\varepsilon_{cg} = 0.018 \quad ; \quad \varepsilon_s = 0.06 \quad (4.16)$$

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesme kuvveti kapasiteleri, ortalama dayanımlar esas alınarak DBYBHY 2007’e göre hesaplanacaktır. Yukarıdaki verilen koşulların herhangi birinin sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemde gerekli değışiklikler yapılarak tüm tasarım aşamaları tekrarlanacaktır.

Çizelge 4.4 : Yüksek Binalar için Performansa göre Tasarım Yaklaşımı (İYYDY, 2008).

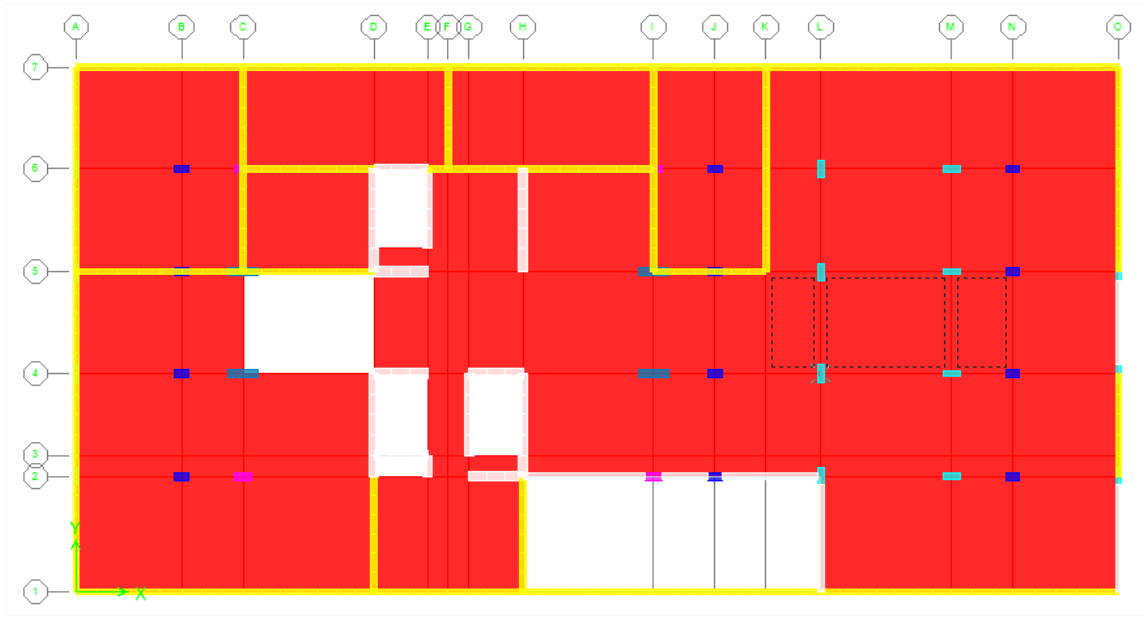
Tasarım Aşaması	Tasarım Aşaması I-A	Tasarım Aşaması I-B	Tasarım Aşaması II	Tasarım Aşaması III
Tasarım Türü	Ön Tasarım (Boyutlandırma)	Tasarım	Gerçekleme	Gerçekleme
Deprem Düzeyi	Normal Sınıf Binalarda D2 Depremi	Normal Sınıf Binalarda D2 Depremi	Normal Sınıf Binalarda D1 Depremi	Normal Sınıf Binalarda D3 Depremi
	Özel Sınıf Binalarda D3 Depremi	Özel Sınıf Binalarda D3 Depremi	Özel Sınıf Binalarda D2 Depremi	
Hedef Performans	Can Güvenliği	Can Güvenliği	Kesintisiz Kullanım	Göçmeme Güvenliği
Analiz Türü	Mod Birleştirme Yöntemi ile Lineer 3 Boyutlu Analiz	Zaman Tanım Alanında Nonlineer 3 Boyutlu Analiz(2*7 Çöz.Ort.)	Mod Birleştirme Yöntemi ile Lineer 3 Boyutlu Analiz	Zaman Tanım Alanında Nonlineer 3 Boyutlu Analiz(2*7 Çöz.Ort.)
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	$R \leq 7$	-	$R=1.5$	-
Görelî Kat Ötelemesi Limiti	2%	3%	1%	3.50%
Çubuk Elemanlarda Kesit Rijitliği	Etkin Rijitlik (DBYYHY 2007)	Etkin Rijitlik (Moment-Eğrilik Eğrisinden)	Etkin Rijitlik (Moment-Eğrilik Eğrisinden)	Etkin Rijitlik (Moment-Eğrilik Eğrisinden)
Dayanım Parametresi	Karakteristik Dayanım	Ortalama Dayanım	Ortalama Dayanım	Ortalama Dayanım
Kabul Kriteri	Dayanım-Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Birim Şekil Değiştirme-Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Dayanım-Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Birim Şekil Değiştirme-Görelî Kat Ötelemesi Oranı

5. BETONARME YÜKSEK BİR BİNANIN İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE TASARLANMASI

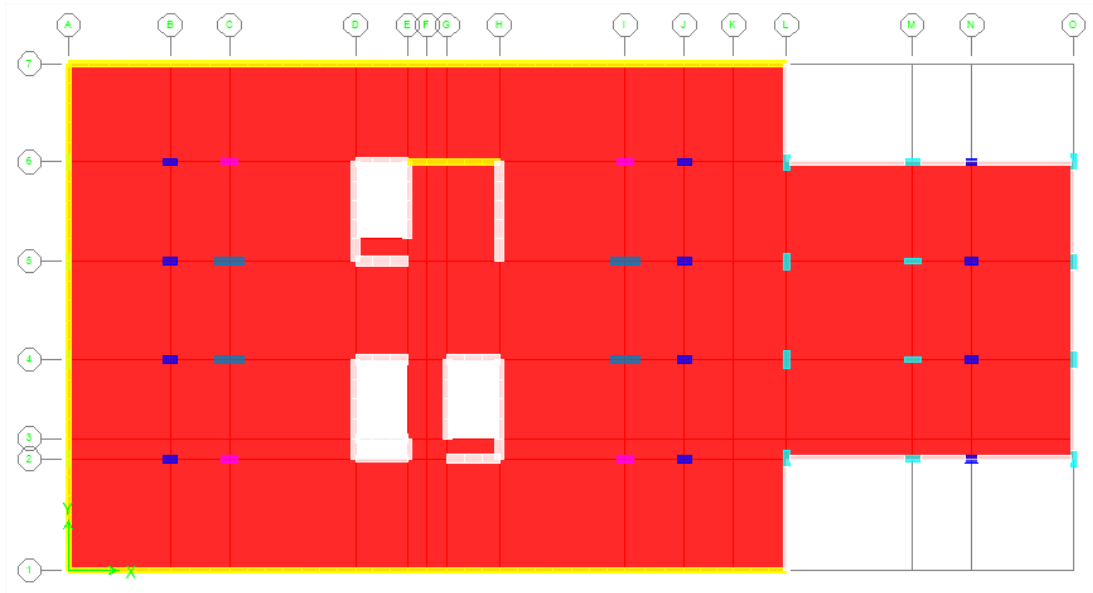
Çalışmanın bu bölümünde, önceki bölümlerde açıklanan yaklaşımlar ve yöntemler ışığında, İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğine göre yüksek bir bina sayısal olarak incelenmiştir. Tasarım Aşaması I-A ve Tasarım Aşaması II-A için İYBDY'nde belirtilen kriterler, hazırlanan 3 boyutlu hesap modeli üzerinde incelenmiş gerekli şekilde betonarme tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım aşamalarında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2007 ve TS500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları esas alınmıştır. Tasarım Aşaması I-A da ön tasarım-boyutlama D2 depremi altında can güvenliği sağlanarak belirlenmiştir. Tasarım Aşaması II-A da ise ön tasarım ile ortaya çıkan betonarme boyutlar için gerçelleme yapılmıştır. Kesintisiz kullanımın hedef performansı olduğu bu aşamada D2 depremi esas alınmıştır. Tasarım Aşaması III D3 depremi altında göçmeme güvenliği hedef belirlenmiştir. Bu aşamada yönetmelikte belirtildiği şekilde tasarım spektrumuna uygun olarak ölçeklenmiş deprem kayıtları mevcut kayıtlar arasından belirlenmiş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan üç boyutlu analiz yapılmıştır. Bu aşama sonucunda yapıda ortaya çıkan sınır değerler yönetmelik dahilindeki sınır değerler ile karşılaştırılmış ve uygunluğu ortaya koyularak tasarım tamamlanmıştır [13,15].

5.1 Yapı Genel Bilgileri

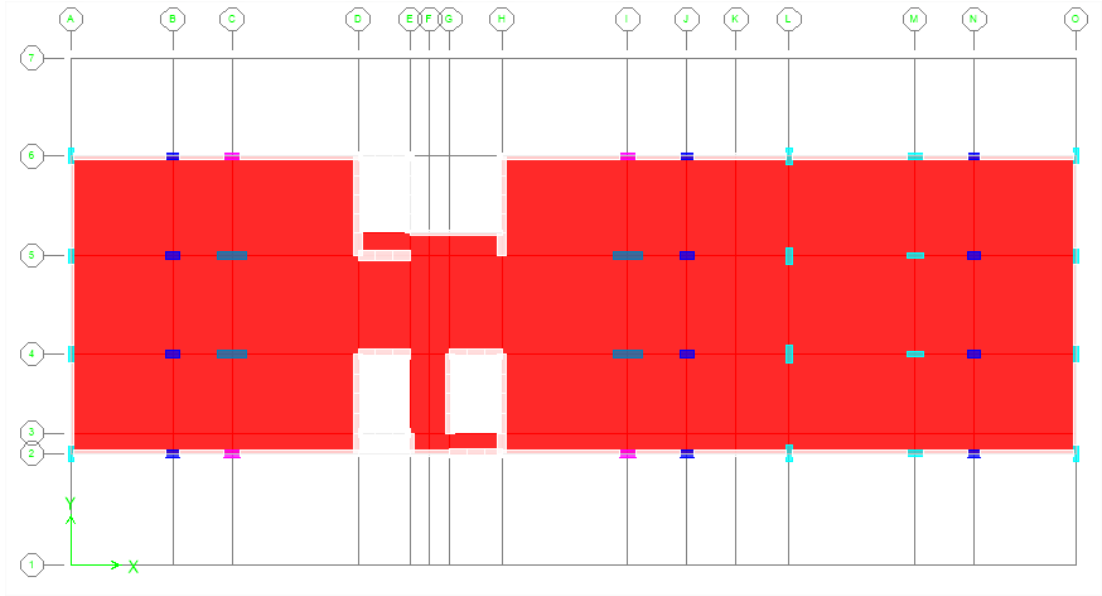
İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğine göre sayısal olarak incelenecek yapı 2 katı bodrum olmak üzere 22 katlı betonarme bir binadır. Katlar 3.15 metre yüksekliğindedir. Toplam yapı yüksekliği bodrum katlar dahil 70m' dir. Yapının kullanım amacı ofis + konuttur. Yapı iki bodrum kattan sonra geriye çekilerek alan olarak küçülmektedir. 10.kattan sonra tip kat olarak devam etmektedir. Kat planları Şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7' de gösterilmiştir. Genel yapı bilgileri aşağıda özetlenmiştir.



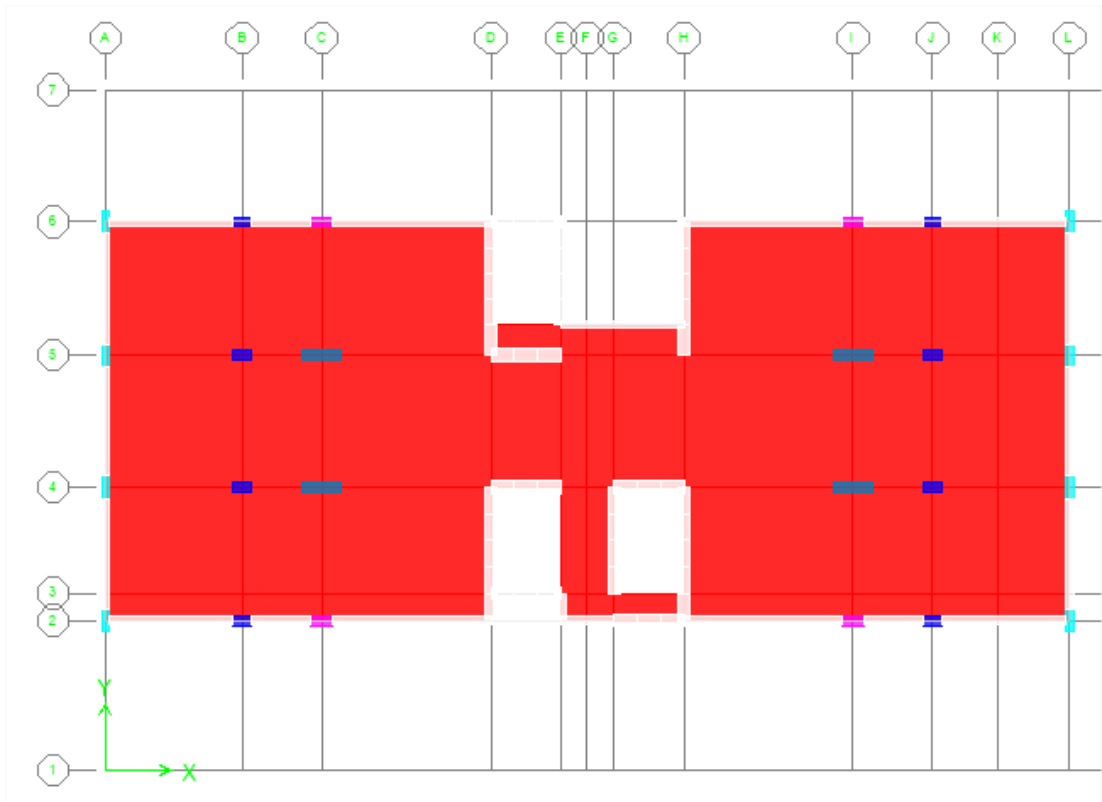
Şekil 5.1 : Bodrum Kat Planı.



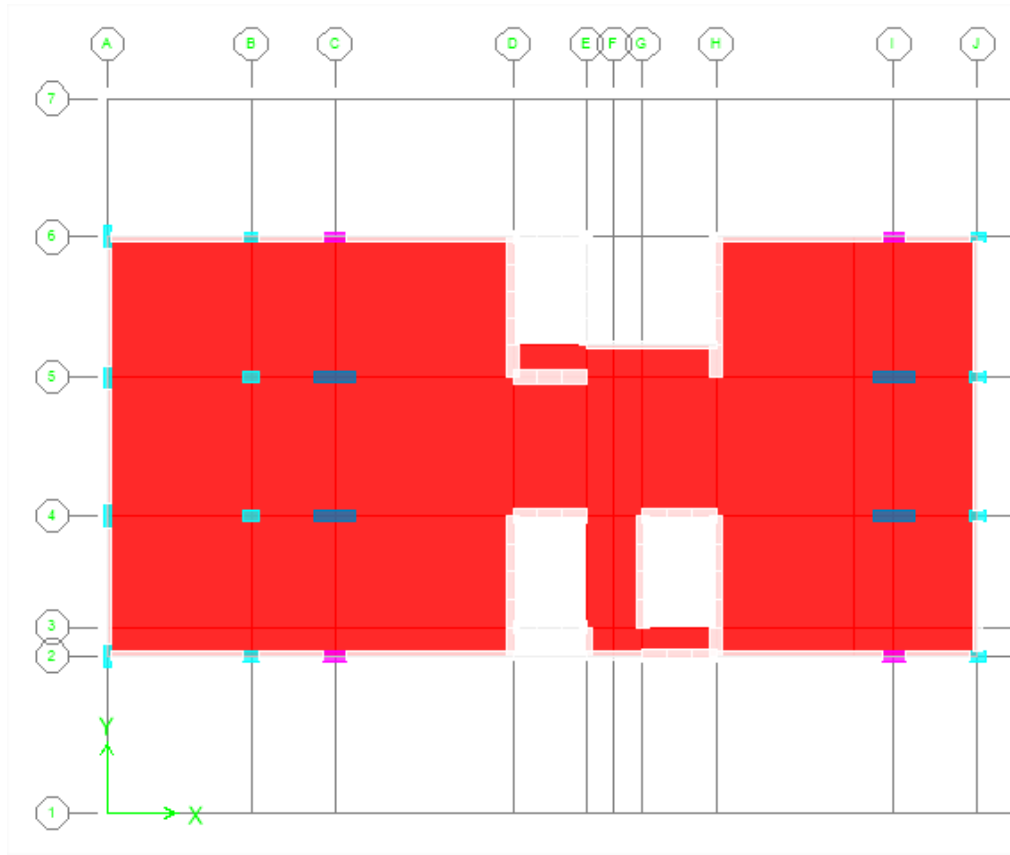
Şekil 5.2 : Zemin Kat Planı.



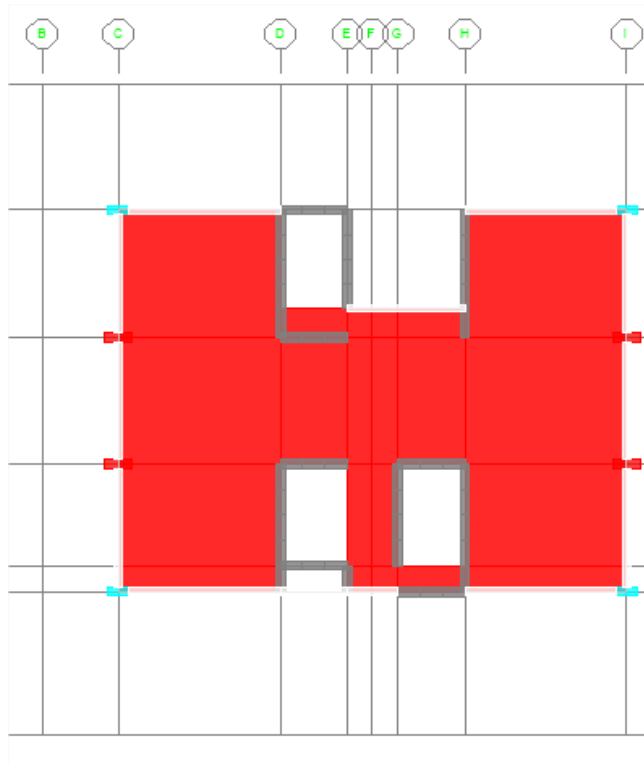
Şekil 5.3 : 1.Kat Kat Planı.



Şekil 5.4 : 4 Kat Planı.

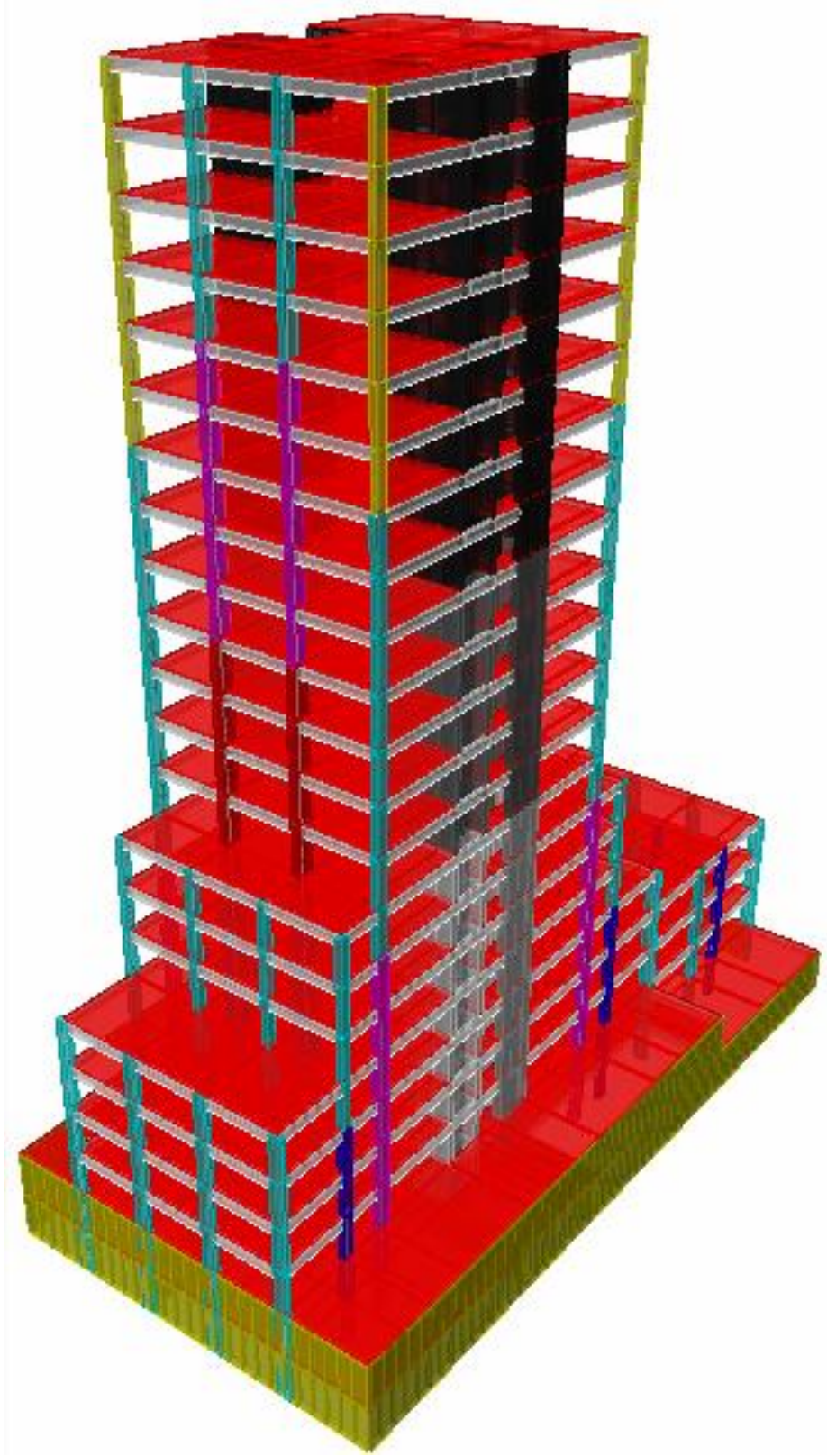


Şekil 5.5 : 6.Kat Planı.



Şekil 5.6 : Tip Kat Planı.

Yapıya ait 3 boyutlu görünüm Şekil 5.7 'de verilmiştir.



Şekil 5.7 : 3 Boyutlu Görünüş.

- Kat Adedi 24
- Kat 3.15m
- Yapı Toplam Yüksekliği 70m
- Kullanım Amacı Ofis+Konut

5.1.1 Malzeme bilgileri

Malzeme bilgileri, doğrusal ve doğrusal olmayan tasarım aşamaları aşağıda belirtilmiştir.

- Beton (Tüm Betonarme Elemanlar için) C35

C35 Beton için $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$; $E_c = 33000 \text{ MPa}$

Betonarme malzeme güvenlik katsayısı $\gamma_{mc} = 1.5$ 'dur.

C35 beton için hesap dayanımı $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{mc}} = \frac{35}{1.5} = 23.33 \text{ MPa}$

Betonun karakteristik eksenel çekme dayanımı

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} = 0.35\sqrt{35} = 2.07 \text{ MPa}$$

Betonun tasarım eksenel çekme dayanımı

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_{mc}} = \frac{2.07}{1.5} = 1.38 \text{ MPa}$$

- Donatı Çeliği S420

S420 Kalitesinde Donatı Çeliği için $f_{yk} = 420 \text{ MPa}$; $E_c = 210000 \text{ MPa}$

Donatı çeliği malzeme güvenlik katsayısı $\gamma_{mc} = 1.15$ 'dir.

S420 Donatı çeliği için hesap dayanımı $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{mc}} = \frac{420}{1.15} = 365.22 \text{ MPa}$

- Tasarım Aşaması II ve III 'de gerçelleme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem ile gerçelleme durumunda beton ve donatı malzemeler için ortalama dayanım değerleri kullanılacaktır. İYBDY Bölüm 4.2.6 da belirtildiği şekilde beton malzemenin ortalama dayanım değeri $1.3f_{ck}$, donatı çeliği için ortalama dayanım değeri $1.17f_{yk}$ alınarak hesaplarda kullanılmıştır[15].

C35 Beton için ; $f_{ck}=35\text{MPa}$ $f_{ce}=1.3 \times 35 =45.5 \text{ MPa}$

S420 Donatı çeliği için ; $f_{yk}=420\text{MPa}$ $f_{ye}=1.17 \times 420=491.4\text{MPa}$

5.1.2 Deprem parametreleri

DBYYHY2007 'e göre belirlenen parametreler;

- Deprem Bölgesi 1.Derece Deprem Bölgesi
- Yapı Önem Katsayısı 1
- Zemin Sınıfı Z2
- Yapı Davranış Katsayısı Tasarım Aşaması I-A 7
Tasarım Aşaması II 1.5
Tasarım Aşaması III -

IYBDY ' ne göre belirlenen parametreler;

IYBDY' ne göre B sınıfı zemin sınıfı için D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri için S_s ve S_1 spektral ivme değerleri belirlenmiş ve Çizelge 5.1 'de gösterilmiştir. B sınıfı zemin için belirlenen spektral ivme değerleri IYBDY'nde verilmiştir. Belirlenen S_s ve S_1 spektral ivme değerleri kullanılarak zemin itkisi parametreleri F_a ve F_v ile çarpılarak S_{MS} ve S_{M1} doğal titreşim periodları elde edilmiştir.İlgili hesaplar Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 'de gösterilmiştir [13,15].

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

Çizelge 5.1 : D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri B grubu zemin için S_s ve S_1 değerleri.

Zemin Sınıfı	B	
D1 Depremi	$S_s=$	0.62
	$S_1=$	0.23
D2 Depremi	$S_s=$	1.19
	$S_1=$	0.58
D3 Depremi	$S_s=$	1.6
	$S_1=$	0.72

Çizelge 5.2 : D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri B grubu zemin için Fa değerleri (İYYDY, 2008).

Kısa Period (0.2s) Zemin Katsayısı Fa					
Zemin Sınıfı	Kısa Period Spektral İvmesi (g) ^a				
	S _s ≤0.25	S _s =0.5	S _s =0.75	S _s =1.0	S _s ≥1.25
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1	1	1	1	1
C	1.2	1.2	1.1	1	1
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	-b	-b	-b	-b	-b

Çizelge 5.3 : D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri B grubu zemin için Fv değerleri (İYYDY, 2008).

1.0s Periotu Zemin Katsayısı Fv					
Zemin Sınıfı	Kısa Period Spektral İvmesi (g) ^a				
	S ₁ ≤0.1	S ₁ =0.2	S ₁ =0.3	S ₁ =0.4	S ₁ ≥0.5
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1	1	1	1	1
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	-b	-b	-b	-b	-b

Çizelge 5.4 : D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri B grubu zemin için Fv ve Fa değerleri için özet tablo.

Deprem Düzeyleri	D1	D2	D3
Zemin Sınıfı =	b	b	b
Yatay Deprem Spektral İvme Değerleri			
S _s =	0.62	1.19	1.6
S ₁ =	0.23	0.58	0.72
Zemin İtkisi Parametreleri			
Fa=	1	1	1
Fv=	1	1	1

Spektrum köşe periodları T_s ve T₀ ile ilgili hesaplar Çizelge 5.5 'de gösterilmiştir.

Uzun period bölgesine geçiş periodu İstanbul için 12 sn kabul edilmiştir.

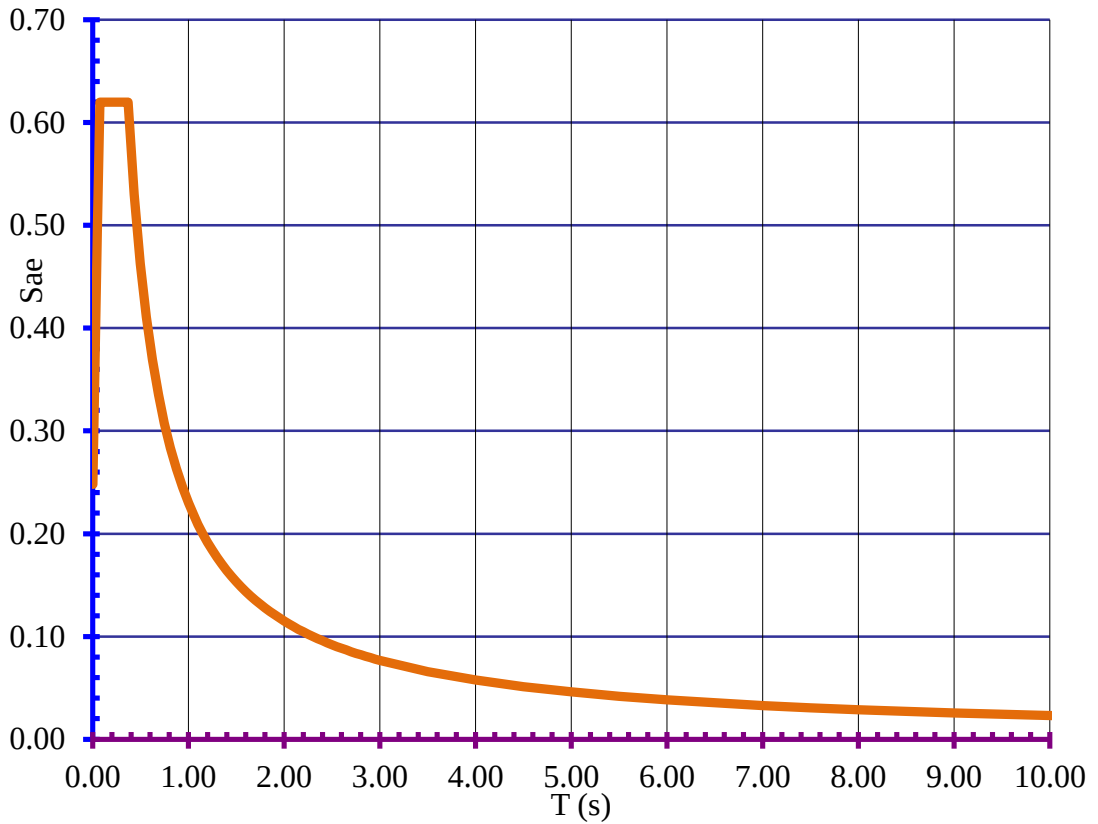
$$T_s = \frac{S_{M1}}{S_{MS}}$$

$$T_0 = 0.2T_s$$

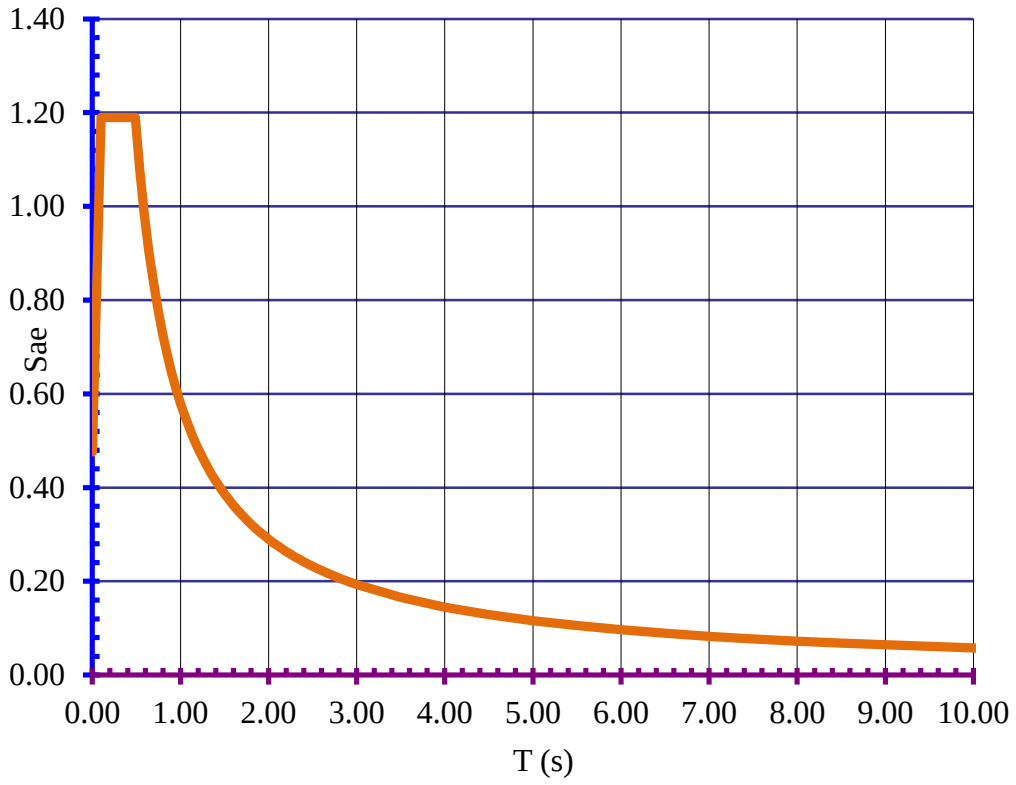
Çizelge 5.5 : D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri B grubu zemin için TS ve T0 Köşe periodları.

	D1	D2	D3
Spektrum Köşe Periodları			
$T_s = S_{m1}/S_{ms}$	0.37	0.49	0.45
$T_0 = 0.2 * T_s$	0.07	0.1	0.09

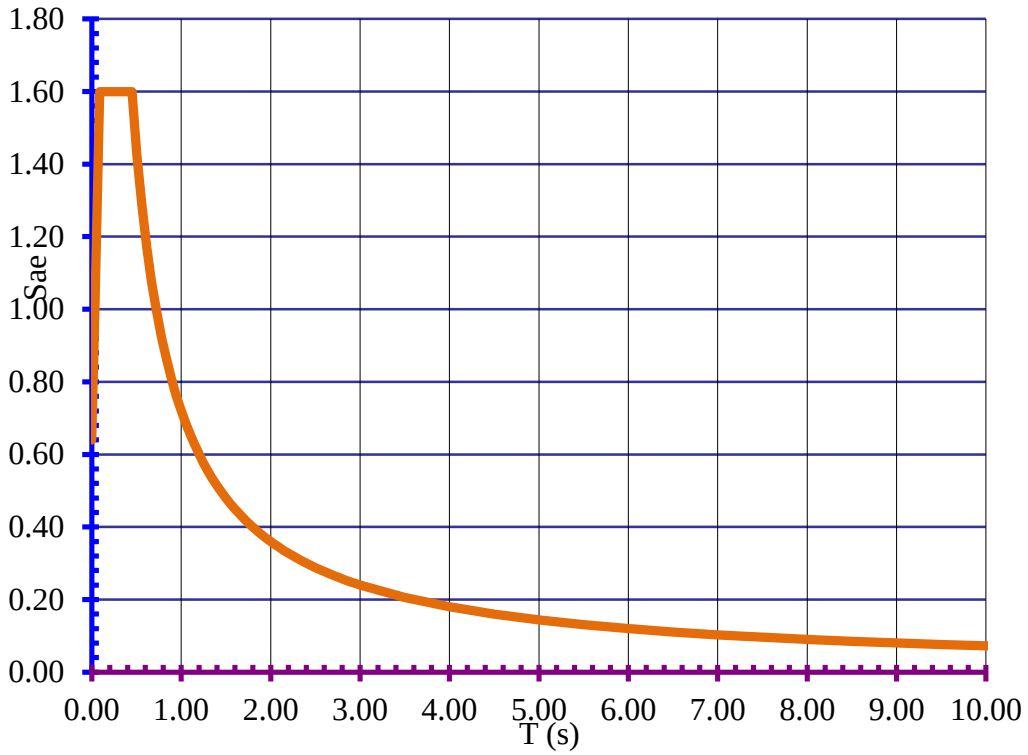
D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri için elde edilen tasarım spektrumları ve bu üç tasarım spektrumlarının üst üste çakıştırılmış hali Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11 da gösterilmiştir.



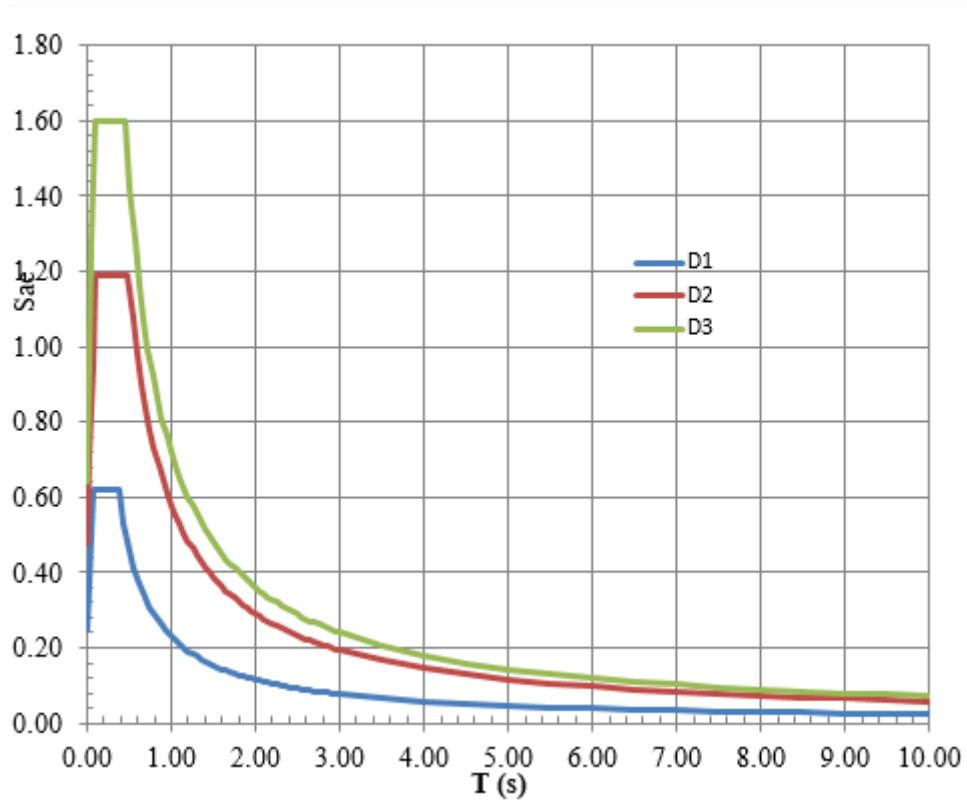
Şekil 5.8 : D1 Deprem Düzeyi Tasarım Spektrumu.



Şekil 5.9 : D2 Deprem Düzeyi Tasarım Spektrumu.



Şekil 5.10 : D3 Deprem Düzeyi Tasarım Spektrumu.



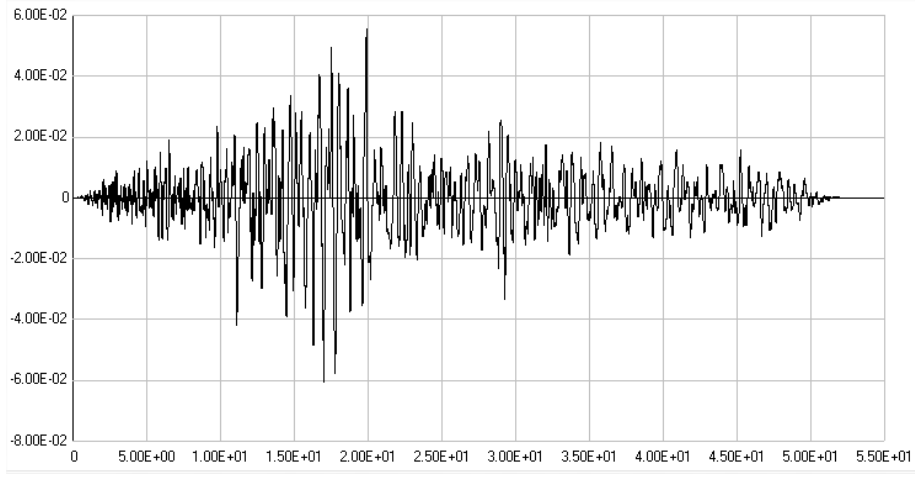
Şekil 5.11 : D1, D2 ve D3 Deprem Düzeyleri Tasarım Spektrumları.

İYBDY'de Tasarım Aşaması III için zaman tanım alanında kullanılmak üzere D3 depremi ile aynı karakterde 7 farklı deprem yer hareketi elde edilmiştir. Bu deprem kayıtlarından her biri için 2 farklı yön alınmış ve toplamda 14 deprem kaydı oluşturulmuştur. Bu deprem kayıtları belirlenirken Berkeley Üniversitesi'ne ait Peer deprem veri bankası kullanılmıştır. Bu deprem kayıtlarına ait parametreler Şekil 5.12'de gösterilmiştir [15].

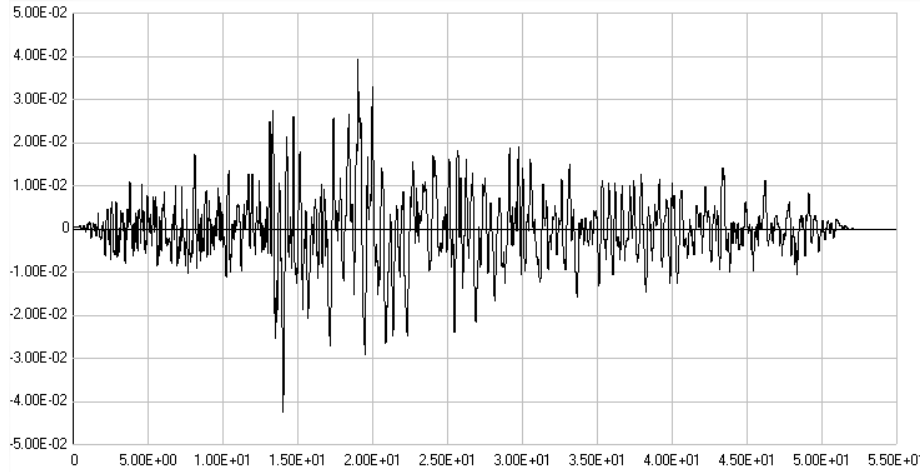
	Deprem	Yön	Zaman Aralığı(sn)	Veri Sayısı	Toplam Süre(sn)	Geç.Kayıt	Kayıt Sütun Sayısı	Büyütme Faktörü
	EQ	Direction	Time Interval(sec)	Number of Value	Total Duration(sec)	Skip First Line	No.of.Acc.per.line	Scale Factor
1	Irpina-İtaly-01	H1	0.0029	18217	52.83	4	5	7.9065
	Irpina-İtaly-01	H2	0.0029	18217	52.83	4	5	7.9065
2	Morgan Hill-L	H1	0.005	5673	28.37	4	5	6.6728
	Morgan Hill-L	H2	0.005	5673	28.37	4	5	6.6728
3	Morgan Hill-R	H1	0.005	5673	28.37	4	5	7.1985
	Morgan Hill-R	H2	0.005	5673	28.37	4	5	7.1985
4	Loma Prieta-B	H1	0.005	7997	39.99	4	5	4.0255
	Loma Prieta-B	H2	0.005	7999	40.00	4	5	4.0255
5	Loma Prieta-C	H1	0.005	7827	39.14	4	5	4.9337
	Loma Prieta-C	H2	0.005	7817	39.09	4	5	4.9337
6	Loma Prieta-Ha	H1	0.005	7887	39.44	4	5	9.5006
	Loma Prieta-Ha	H2	0.005	7885	39.43	4	5	9.5006
7	Loma Prieta-Ho	H1	0.005	5983	29.92	4	5	8.0809
	Loma Prieta-Ho	H2	0.005	5932	29.66	4	5	8.0809

Şekil 5.12 : Deprem Kayıt Parametreleri.

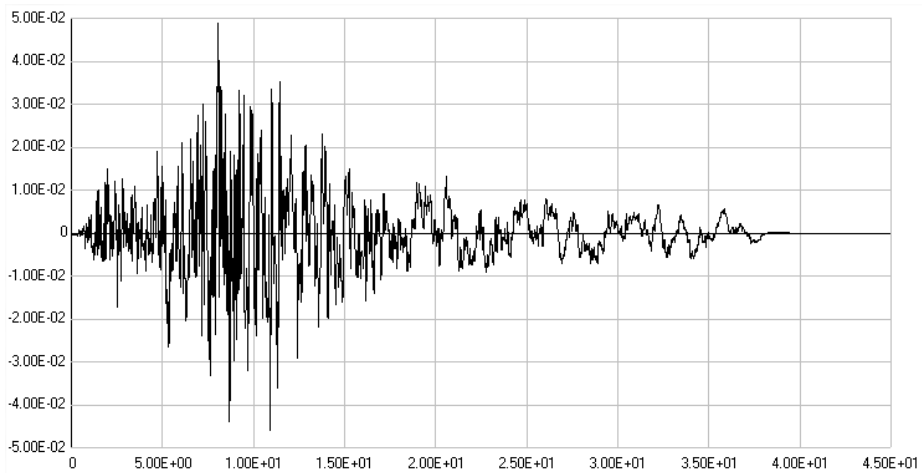
Doğrusal olmayan analizde kullanılan deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafikleri aşağıda gösterilmiştir.



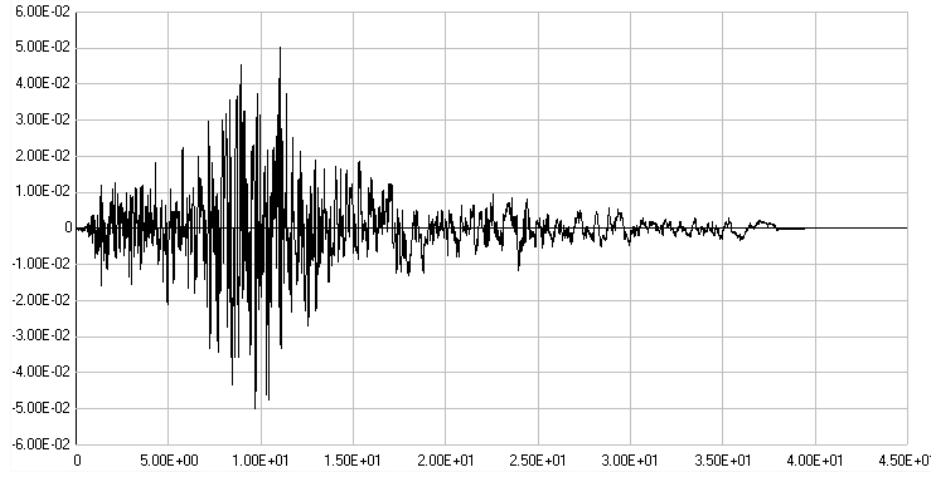
Şekil 5.13 : Irpinia,Italy-01_Torro Del Greco_Parallel - İvme(g)/ Zaman-H1.



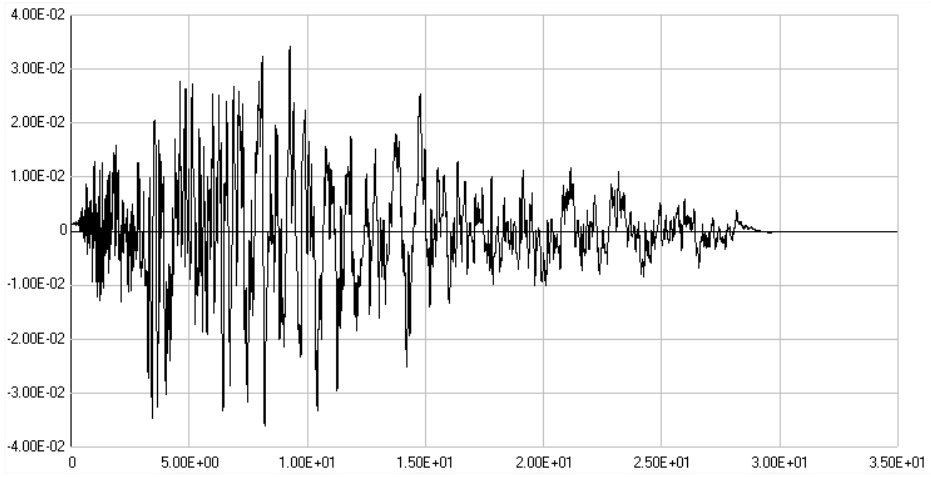
Şekil 5.14 : Irpinia,Italy-01_Torro Del Greco_Normal - İvme(g)/ Zaman-H2.



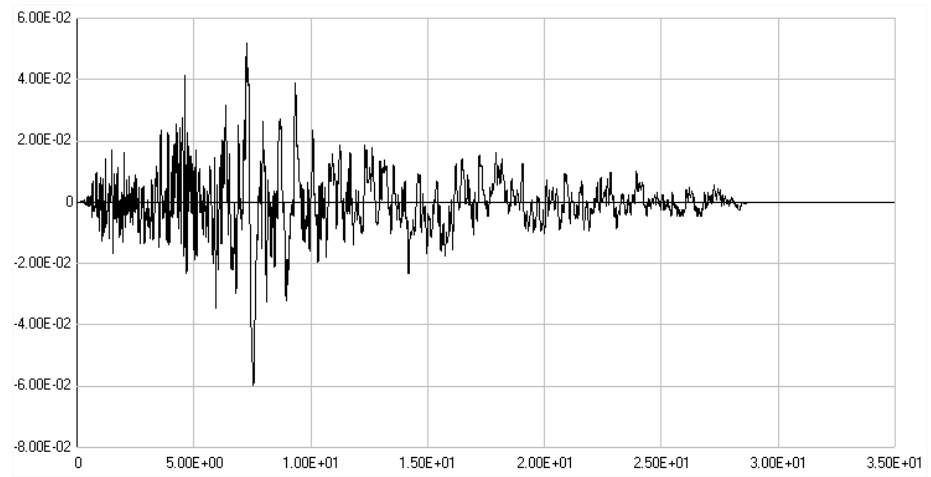
Şekil 5.15 : Loma Prieta_Hayward City Hall-North_Parallel - İvme(g)/ Zaman-H1.



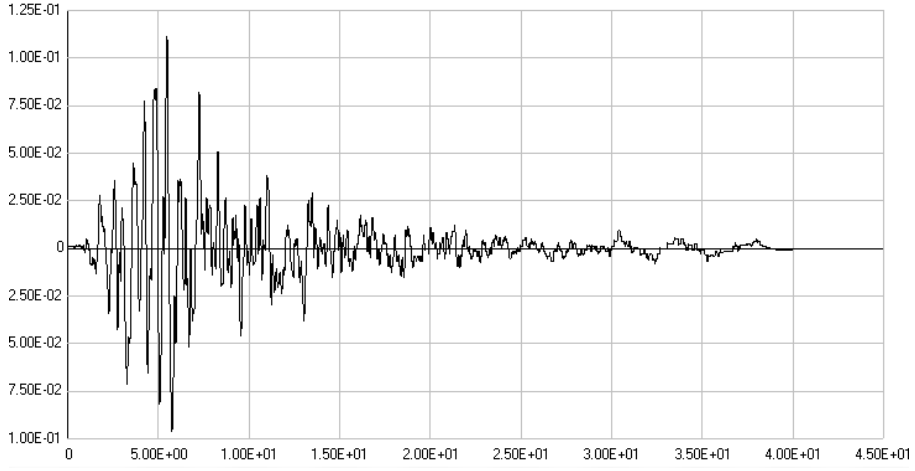
Şekil 5.16 : Loma Prieta_Hayward City Hall-North_Normal- İvme(g)/ Zaman-H2.



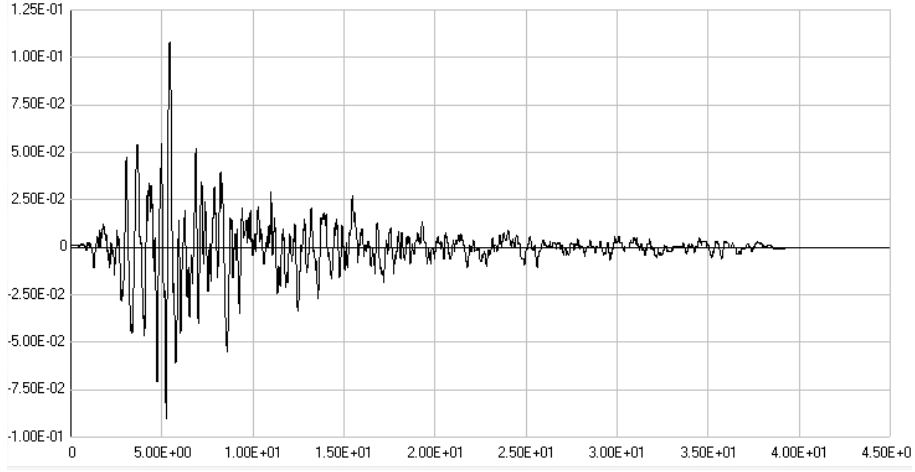
Şekil 5.17 : Loma Prieta_Hollister SAGO Vault_Parallel- İvme(g)/ Zaman-H1.



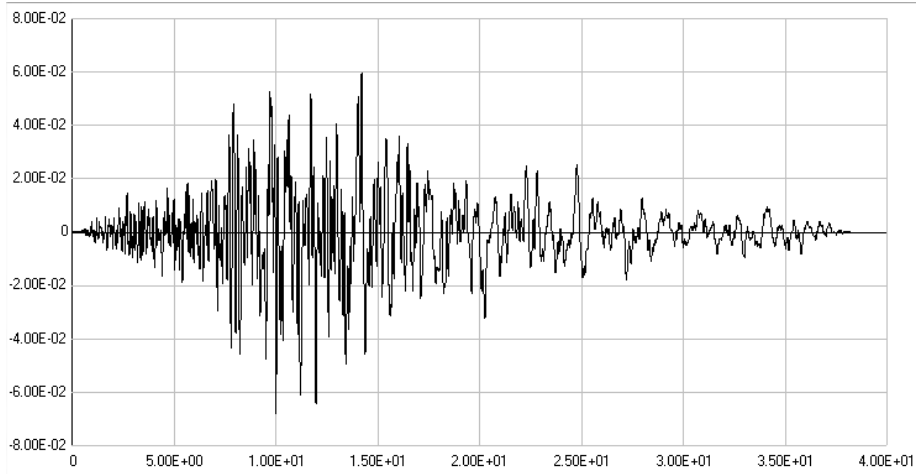
Şekil 5.18 : Loma Prieta_Hollister SAGO Vault_Normal- İvme(g)/ Zaman-H2.



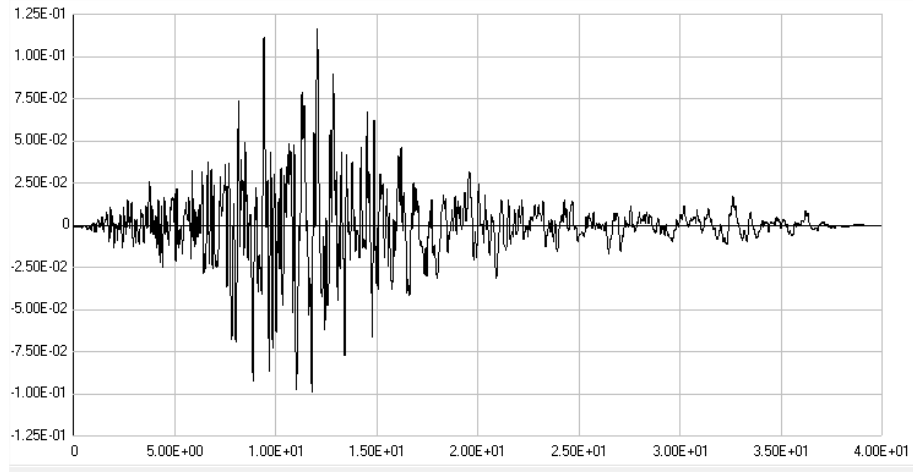
Şekil 5.19 : Loma Prieta_Belmont Envirotech_Parallel- İvme(g)/ Zaman-H1.



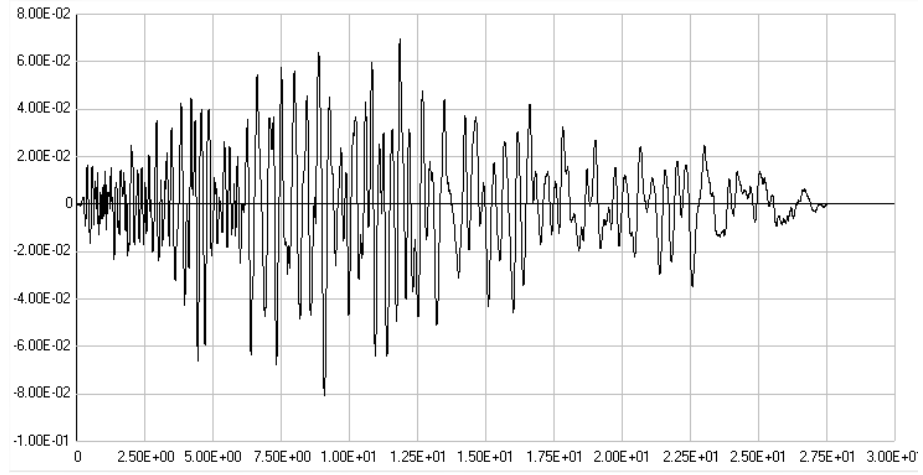
Şekil 5.20 : Loma Prieta_Belmont Envirotech_Normal- İvme(g)/ Zaman-H2.



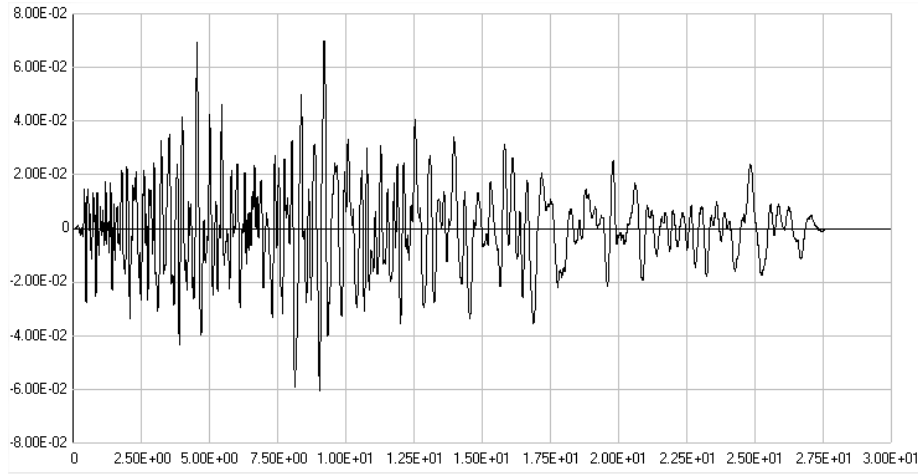
Şekil 5.21 : Loma Prieta_Calaveras Reservoirs_Parallel- İvme(g)/ Zaman-H1.



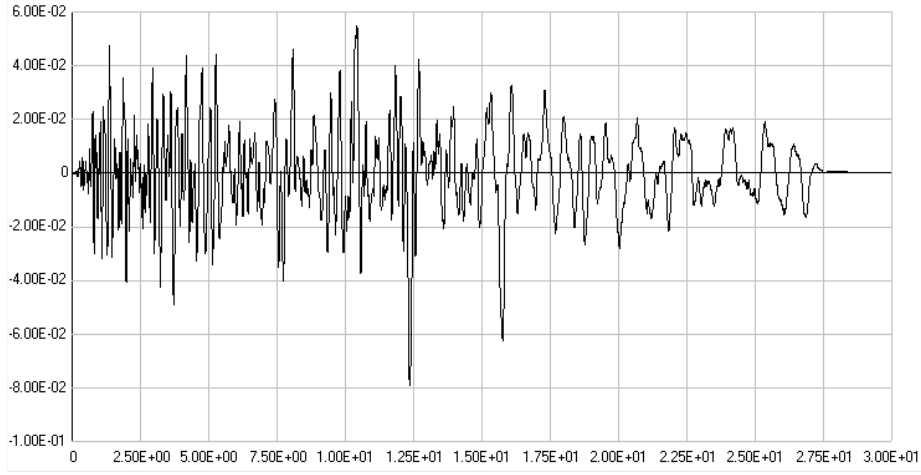
Şekil 5.22 : Loma Prieta_Calaveras Reservoirs_Normal- İvme(g)/ Zaman-H2.



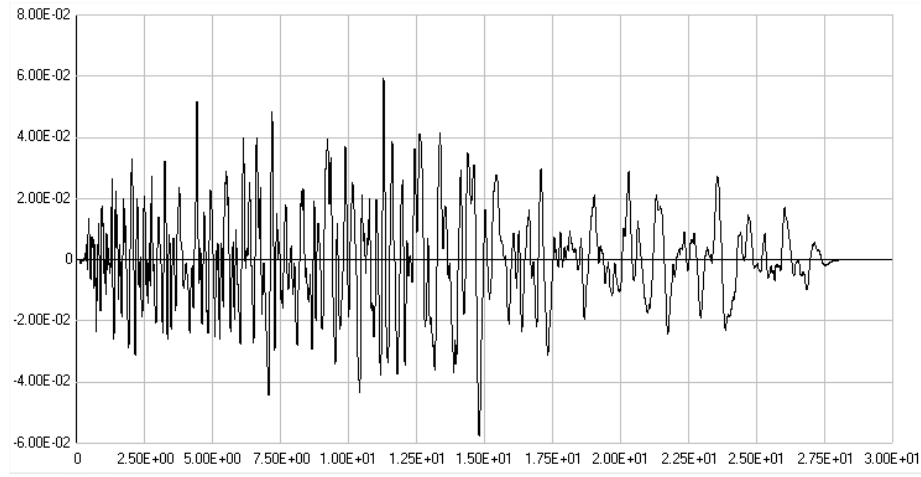
Şekil 5.23 : Morgan Hill San Justo Dam-L Abut_Parallel- İvme(g)/ Zaman-H1.



Şekil 5.24 : Morgan Hill San Justo Dam-L Abut_Normal- İvme(g)/ Zaman-H2.



Şekil 5.25 : Morgan Hill San Justo Dam-R Abut_Parallel- İvme(g)/ Zaman-H1.



Şekil 5.26 : Morgan Hill San Justo Dam-R Abut_Normal- İvme(g)/ Zaman-H2.

5.1.3 Yükleme durumları

Yapı genelinde yükleme durumu katlar arasında değişiklik göstermektedir. Yükleme durumları aşağıda açıklanmış ayrıca Çizelge 5.6' da özet şeklinde gösterilmiştir [16].

- Bodrum ve Otopark katlarında ;

Hareketli Yük ; 5.00 kN/m^2

Kaplama Yüğü 10cm ; $25 \text{ kN/m}^3 \times 0.10 \text{ m} = 2.5 \text{ kN/m}^2$

- Ofis Katlarında ;

Hareketli Yük ; 3.00 kN/m^2

Kaplama Yüğü 10cm ; $25 \text{ kN/m}^3 \times 0.10 \text{ m} = 2.5 \text{ kN/m}^2$

Duvar Yüğü ; 2.50 kN/m²

- Konut katlarında;

Hareketli Yüğü ; 2.00 kN/m²

Kaplama Yüğü 10cm ; 25kN/m³ x0.10m = 2.5kN/m²

Duvar Yüğü ; 2.50 kN/m²

- Teraslarda ;

Hareketli Yüğü ; 5.00 kN/m²

Kaplama Yüğü 10cm kaplama +30cm dolgu ; 25kN/m³ x0.10m
+18kN/m³x0.30m= 8.0 kN/m²

- Çatıda ;

Hareketli Yüğü ; 5.00 kN/m²

Kaplama Yüğü 10cm kaplama +1.50 kN/m² Yalıtım ; 25kN/m³ x0.10m
+1.50 kN/m²=4.00 kN/m²

Çizelge 5.6 : Yükleme Durumları.

Yükleme Durumu	Kaplama (kN/m²)	Duvar (kN/m²)	Hareketli (kN/m²)
Bodrum,Otopark	2.5	-	5
Ofis Katları	2.5	2.5	3
Konut Katları	2.5	2.5	2
Teraslar	8	-	5
Çatı Katı	4	-	5

5.1.4 Yüğü kombinasyonları

Yüğü kombinasyonları TS500 ve DBYYHY 2007 yönetmelikleri kullanılarak oluşturulmuştur.Yüğü tanımlamaları ve yükleme kombinasyonları Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8' de gösterilmiştir.TS498 göre depremli kombinasyonlarda hareketli yüğü %40 oranında azaltılmıştır.0.6 ile çarpılarak etkilmiştir [4,13].

Çizelge 5.7 : Yükleme Notasyonu .

Notasyon	Açıklama
G	Zati Yükler (SWM=1)
Q	Hareketli Yükler
W	Duvar Yükleri
C	Kaplama Yükleri
Ex	X Yönü Eşdeğer Deprem Yükleme
Ey	Y Yönü Eşdeğer Deprem Yükleme
Specx	X Yönü Deprem Yükleme
Specy	Y Yönü Deprem Yükleme

Çizelge 5.8 : Yükleme Kombinasyonları.

No	Kombinasyon
1	G
2	G+W+C
3	G+W+C+Q
4	1.4G
5	1.4G+1.4W+1.4C
6	1.4G+1.4W+1.4C+1.6Q
7	G+W+C+0.6Q±Ex±0.3Ey
8	G+W+C+0.6Q±0.3Ex±Ey
9	0.9G+0.9W+0.9C±Ex±0.3Ey
10	0.9G+0.9W+0.9C±0.3Ex±Ey
11	G+W+C+0.6Q+Specx+0.3Specy
12	G+W+C+0.6Q+Specy+0.3Specx

5.1.5 Deprem hesabında kullanılacak kütlelerin tanımı

Deprem hesabında kullanılacak kütle DBYYHY 2007' de belirtilfiği şekilde $g+0.3q$ olarak alınmıştır.İYBDY Bölüm 4.1.6 ' da belirtilen kat adedine bağlı hareketli yük katılım katsayısı tekrar hesaplanmıştır [13,15].

$$n=0.01(50-N) \quad N<40$$

$$n=0.10 \quad N>40$$

N =Zemin üstündeki kat sayısı=20

$n=0.01(50-20)=0.3$, mevcut durum korunacaktır.

5.1.6 Çatlamış kesit rijitliklerinin belirlenmesi

İYBDY bölüm 4.2.2' de belirtildiği şekilde eğilme etkisindeki elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği EI_c kullanılmıştır. Tasarım Aşaması II ve III için İYYDY bölüm 4.2.4'de belirtildiği gibi etkin eğilme rijitlikleri hesaplanarak çatlamış kesit rijitlikleri için bu değerler kullanılmıştır. Tasarım Aşaması I-A için aşağıda belirtilen çatlamış kesit değerleri kullanılmıştır [15].

- Tasarım Aşaması I-A için çatlamış kesit rijitlikleri;

Kirişlerde : $(EI)_c = 0.40 (EI)_o$

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

$N_D / (A_c f_{cm}) > 0.40$ olması durumunda $(EI)_c = 0.80(EI)_o$

Aşağıda genel olarak kullanılan çatlamış kesit rijitlikleri özetlenmiştir.

- Kirişler için $(EI)_c = 0.40 (EI)_o$ kullanılmıştır.
- Perdeler için çatlamış kesit rijitliği bir perde için gösterilmiş perdelerin alt kesitleri için çatlamış kesit rijitliği hesapları Çizelge 5.9' da verilmiştir.

P1 Perdesi ;

$N_D = 28244.3$ kN

$B = 50$ cm, $H = 1500$ cm (Perde grubu toplam boy olarak alınmıştır)

$f_{cm} = 35$ MPa

$N_D / (A_c f_{cm}) = 28244.3 / (50 \times 1500 \times 35 / 10) = 0.108$

$(EI)_c = 0.410$ (İnterpolasyon yapılmıştır)

Çizelge 5.9 : Perdeler için Çatlamış Kesit Rijitlikleri.

Perde	N_D (kN)	B(cm)	H(cm)	f_{cm} (Mpa)	$N_D / (A_c f_{cm})$	E_{icr}	I_o (m4)	E(Mpa)	E_{io} (kNm2)	E_{icr} (kNm2)
P1	-28244	50	1500	35	0.107597371	0.41013	140.625	302500	4253906250	1744653841
P2	-14895	50	535	35	0.159095113	0.47879	6.38043	302500	193008076.8	92411009.67
P3	-28565	50	1205	35	0.135457641	0.44728	72.9038	302500	2205338595	986396909.6
P4	-32943	50	1520	35	0.123846466	0.4318	146.325	302501	4426355966	1911279650

- Kolonlar için çatlamış kesit rijitliği bir kolon için gösterilmiş kolonların alt kesitleri için çatlamış kesit rijitliği hesapları Çizelge 5.10' da verilmiştir.

C2 Kolonu ;

$N_d=3917.07$ kN

$B=40\text{cm}, H=90\text{cm}$

$f_{cm}=35\text{MPa}$

$$N_D / (A_c f_{cm}) = 3917.07 / (40 \times 90 \times 35 / 10) = 0.311$$

$$(EI)_c = 0.681 \text{ (İnterpolasyon yapılmıştır)}$$

Çizelge 5.10 : Kolonlar için Çatlamış Kesit Rijitlikleri.

Kolon	Nd(kN)	B(cm)	H(cm)	fcm(Mpa)	Nd/(Ac*fcm)	**Eıcr
C2	-3917.1	40	90	35	0.311	0.681
C6	-2389.8	40	70	35	0.244	0.592
C7	-2683.2	40	70	35	0.274	0.632
C8	-2224.4	40	70	35	0.227	0.569
C9	-2712.2	40	70	35	0.277	0.636
C18	-2086.7	40	70	35	0.213	0.551
C19	-2477.6	40	70	35	0.253	0.604
C20	-1757.7	40	70	35	0.179	0.506
C21	-1757.7	40	70	35	0.179	0.506
C30	-734.22	40	70	35	0.075	0.400
C31	-1558.6	40	70	35	0.159	0.479
C32	-1126.4	40	70	35	0.115	0.420
C33	-1126.4	40	70	35	0.115	0.420
C5	-3846.3	40	90	35	0.305	0.674
C10	-1126.6	30	90	35	0.119	0.426
C11	-1015.7	30	90	35	0.107	0.410
C12	-993.35	30	90	35	0.105	0.407
C13	-771.49	30	90	35	0.082	0.400
C14	-3696.8	40	90	35	0.293	0.658
C17	-4135.2	40	90	35	0.328	0.704
C22	-1170.1	30	90	35	0.124	0.432
C23	-2651.9	30	90	35	0.281	0.641
C24	-1967.7	30	90	35	0.208	0.544
C25	-1649.1	30	90	35	0.175	0.499
C26	-836.17	30	90	35	0.088	0.400
C27	-1991.8	30	90	35	0.211	0.548
C28	-1562.6	30	90	35	0.165	0.487
C29	-1269.9	30	90	35	0.134	0.446
C34	-791.81	30	90	35	0.084	0.400

- Tasarım Aşaması II ve III için çatlamış kesit rijitlikleri;

İYYDY Bölüm 4.2.4' de belirtildiği gibi etkin eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Kolon ve perde elemanlarda eksenel yük düzeyinde sürekli bir değişim olması nedeniyle yönetmelikte belirtilen etkin rijitlik değerleri kullanılmıştır. Kirişler için etkin rijitlikler SAP2000 programı kullanılarak moment-eğrilik eğrisinden alınmıştır [15].

B30x60 kirişi için bu hesap aşağıda gösterilmiştir.

$$(EI)_e = \frac{M_Y}{\Phi_Y} = \frac{M_N}{\Phi_Y}$$

$$M_Y = 449.03 \text{ kNm}$$

$$M_N = 533.508 \text{ kNm}$$

$$\Phi_Y = 0.0056764 \quad 1/m$$

$$\Phi_N = 0.00674433 \quad 1/m$$

30x60 kesit için

$$E = 33000 \text{ MPa} = 3.3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$(EI)_e = \frac{449.03}{0.0056764} = \frac{533.508}{0.00674433} = 79104.71 \text{ kNm}^2$$

$$(EI) = 33000000 \times \frac{0.3 \times 0.6^3}{12} = 178200 \text{ kNm}^2$$

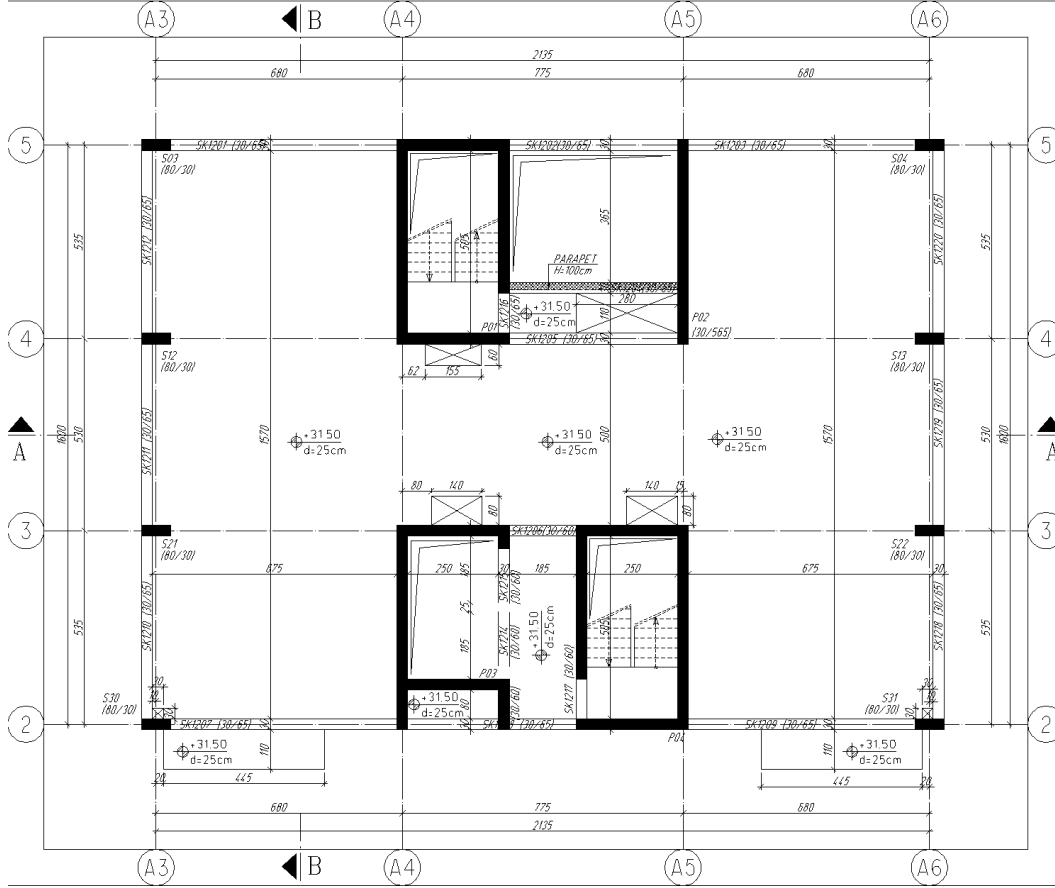
Kirişler için hesaplarda kullanılacak etkin rijitlik katsayısı ;

$$\frac{(EI)_e}{(EI)} = \frac{79104.71}{178200} = 0.443$$

5.1.7 Taşıyıcı sistem bilgileri

Yapı; çevre kirişler, kirişsiz plak döşeme, kolon ve perdelerden oluşmaktadır. Genel olarak yatay yükler perdeler tarafından karşılanırken kolonlar eksenel yük almaktadır. 2 kat bodrum olması nedeniyle bu katlarda çevre perdeleri bulunmakta ve bodrum rijitliği sağlanmaktadır. Döşeme sisteminin kirişsiz plak olması nedeniyle dış hatlarda oluşabilecek zımbalama sorununu çevre kirişler koyularak önlenmiştir. Genel olarak büyük döşeme sisteminde büyük boşluklara yer verilmemiş bu şekilde diyafram olarak çalışması sağlanmıştır. Döşeme sistemi bina geneli için d=25cm olarak

seçilmiştir.Çevre kirişi boyutları sabit ve K30x60 olarak seçilmiştir.Bodrum perdeleri 30cm olarak seçilmiştir.Deprem perdeleri için 3 farklı kesit kullanılmıştır.ilk 9 kat boyunca 50 cm , sonraki 5 kat 40cm ve geriye kalan 8 kat için de 30cm seçilmiştir.Kolon boyutları yükselen kısımlarda 120x40, 160x40, 90x40 ve 90x30 olarak seçilmiştir.Yükselmeyen kısımlarda kolon boyutları 80x30, 70x40 ve 60x40'dır.Kolon boyutları düzenli bir şekilde üst katlarda boyutları azalmaktadır. Şekil 5.27' de tip kat taşıyıcı sistem boyutları görülmektedir



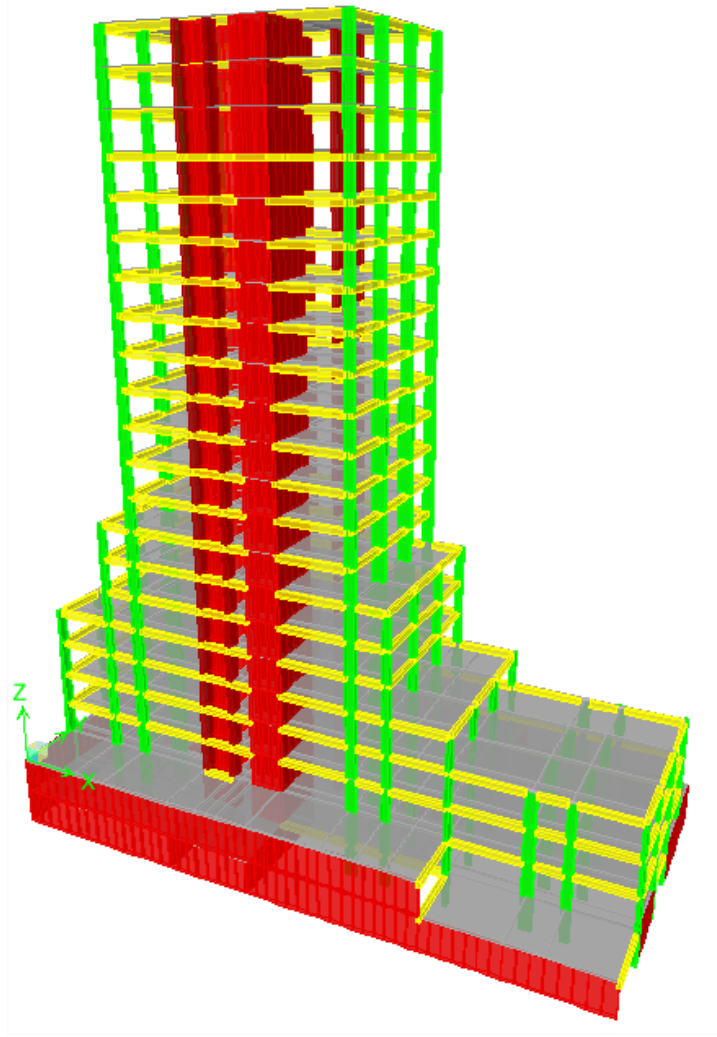
Şekil 5.27 : Tip Kat Yapı Taşıyıcı Sistem Boyutları.

5.1.8 Analiz modellerinin oluşturulması

- Doğrusal Analiz Modeli;

Doğrusal analiz modeli ETABS V9.7.4 programı ile oluşturulmuştur.ETABS programına kolonlar ve kirişler çubuk eleman olarak oluşturulmuştur.Perde elemanlar shell-kabuk elemanlar ile oluşturulmuştur.Bu elemanlar daha kesin sonuçlar vermesi

adına birim alanlara bölünmüştür. Döşeme elemanları çözüm süresini azaltmak için membran olarak girilmiştir. Bu elemanların eğilme rijitliği yoktur. Bu nedenle döşeme analiz sonuçları SAFE programı kullanılarak yapılmıştır. Perde, kolon ve kirişler için gerekli donatı alanları analiz sonuçlandıktan sonra ETABS programı tarafından hesaplanmıştır. Döşeme elemanlar için gerekli moment büyüklükleri programdan alınarak donatı hesabı yapılmıştır. Etabs modeline ait 3 boyutlu yapı görünüşü Şekil 5.28' de verilmiştir [17].

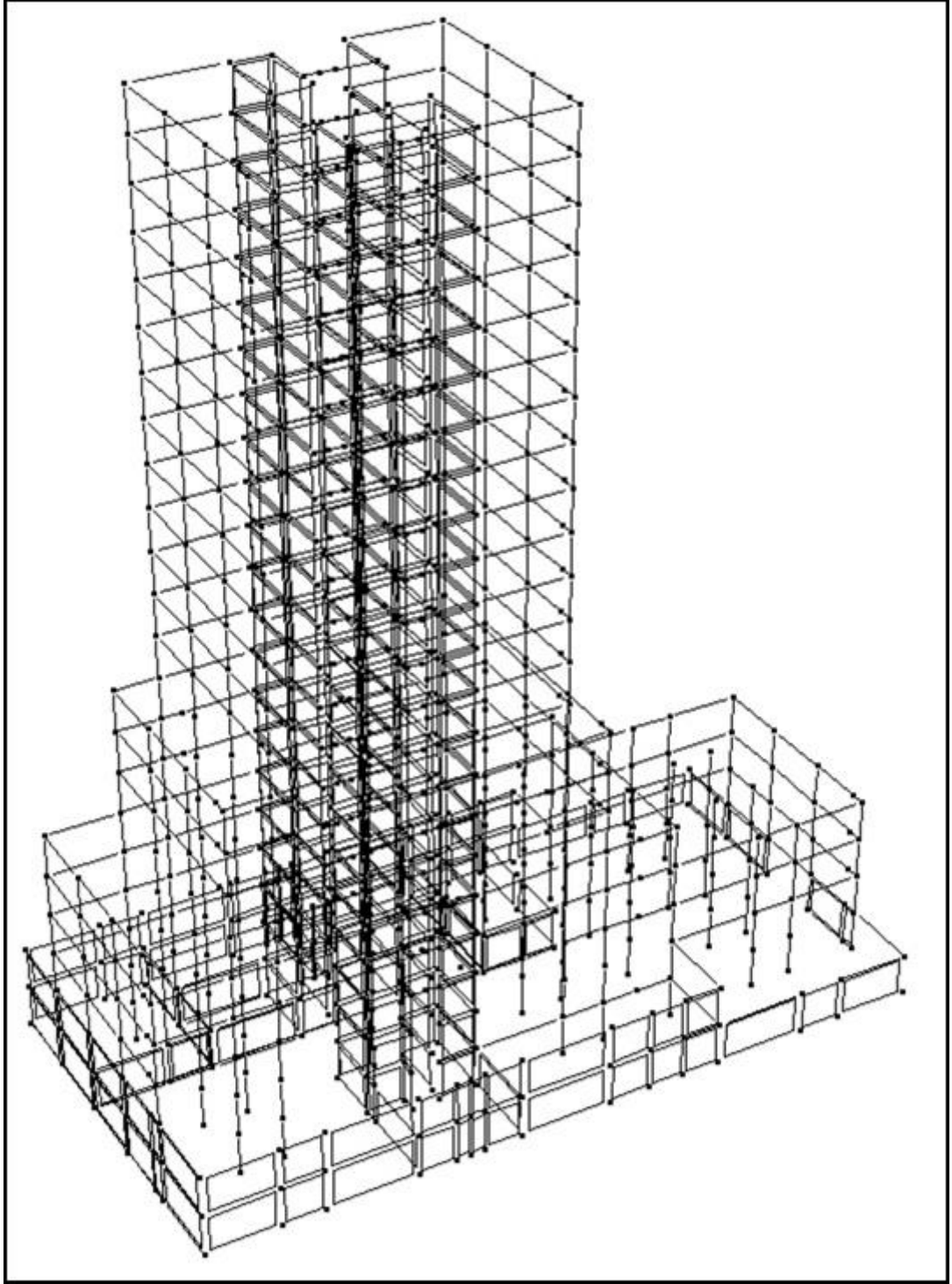


Şekil 5.28 : Doğrusal Analiz Modeli.

- Doğrusal olmayan analiz modeli ;

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz hesabı Perform 3D programı kullanılarak yapılmıştır [19]. Kolon ve perde elemanlar fiber eleman modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Tasarım IA ve Tasarım II de belirlenen donatı değerleri için her kolon ve perde elemanın fiber malzeme modeli oluşturulmuştur. Kirişler için

pozitif ve negatif plastik moment kapasitesi ve eğrilik değerleri SAP2000 programı vasıtasıyla hesaplanmış ve Perform 3D programına tanımlanmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz modeli görüntüsü Şekil 5.29' da görülmektedir. Döşemeler hesap modelinde bulunmamaktadır. Döşemelerde oluşacak hasarlar göz ardı edilmiştir. Döşemelerin ağırlıkları Perform 3D programında kirişleri üzerine uniform yük olarak ve düğüm noktalarına noktasal yük olarak girilmiştir. Döşemelerin rijitliğinden kaynaklanan diyafram etkisi Perform 3D programının özelliklerini kullanarak modele tanımlanmıştır. Hesap modelinde temel yerine ankastre mesnet girilmiştir. Donatı çeliği ve beton malzeme için inelastik malzeme özellikleri ve sınır değerleri DBYYHY Bölüm 7 'de belirtildiği şekilde Perform 3D hesap modelinde kullanılmıştır. Betonun sargılı ve sargısız olması durumuna göre farklı malzeme modelleri oluşturulmuştur. Donatı ve beton malzemeler için İYYDP Bölüm 4.2.6 da belirtildiği şekilde tasarım dayanımı olarak ortalama dayanım "expected strength " alınmıştır. Zaman tanım alanında yapılacak hesap için elde edilen deprem kayıtları hesap modeline girilmiştir. Bu deprem kayıtları için Perform 3D programı içinde ortalaması alınarak hasar sınırları bu şekilde belirlenmiştir. Her kolon ve perde elemanda negatif ve pozitif yükleme durumu için donatı ve beton da oluşacak gerilmeleri görebilmek için kontrol fiberleri oluşturulmuştur. DBYYHY 2007 Bölüm 7' de belirtilen beton ve donatı birim şekil değiştirme kapasiteleri hesap modeline girilerek renk kodları ile talep edilen hedef performans durumu kontrol edilmiştir. Perde elemanlarda oluşabilecek kesmeden dolayı gevrek kırılma kontrollerinin yapılabilmesi için kesitler oluşturulmuştur. Yapıda görelî kat ötelemesi kontrolü için bina nın çeşitli noktalarına yerdeğiştirmeye kontrol noktaları oluşturulmuştur [13,15].

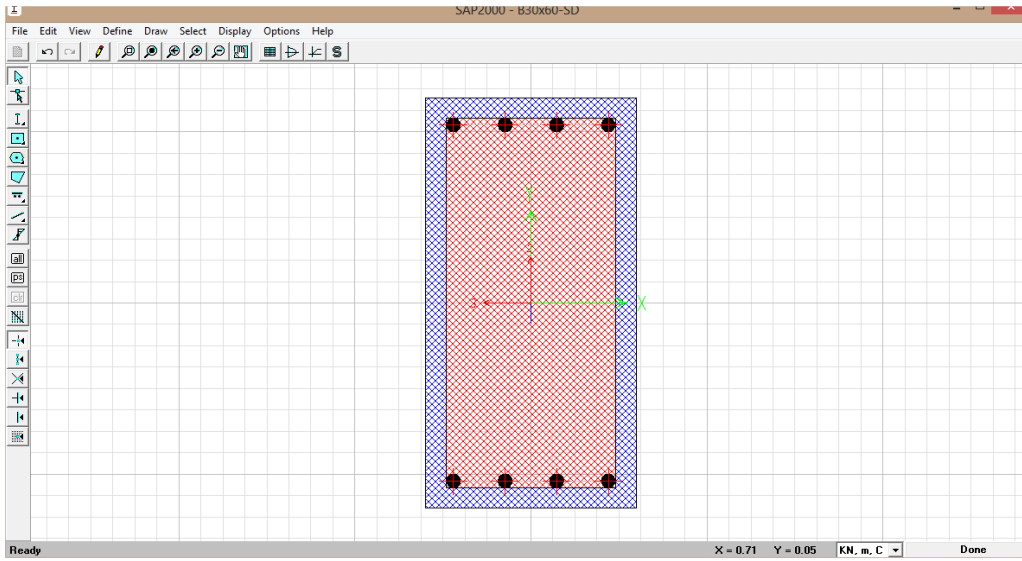


Şekil 5.29 : Doğrusal Olmayan Analiz Modeli-Perform3D.

Perform 3D hesap modelinde kolon, kiriş ve perde elemanlar için doğrusal olmayan özelliklerini oluşturma adımları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Kirişler için plastik dönme değerlerinin belirlenmesi;

Kirişler için eğrilik değerleri SAP2000 programı ile belirlenmiştir [18]. Program içinde bulunan Section Designer modülü kullanılarak belirlenen donatı değerleri için plastik dönme değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.30' da SAP2000 programında oluşturulan 30x60' lık çevre kirişleri modeli gösterilmiştir. Hesap adımları bir kiriş tipi için örneklenmiştir.



Şekil 5.30 : B30x60 Kirişi Section Designer Modeli.

Kirişler için plastik dönme değerleri belirlenmesinde DBYYHY 2007 Bölüm 7.6.9.2' de belirtilen betonarme elemanlarda birim kesit değiştirme değerleri kullanılmıştır.

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.04 + 0.014(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018$$

$$(\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{MN} = 0.010$$

Φ10/100

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.04$$

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.04 + 0.014(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GC} = 0.060$$

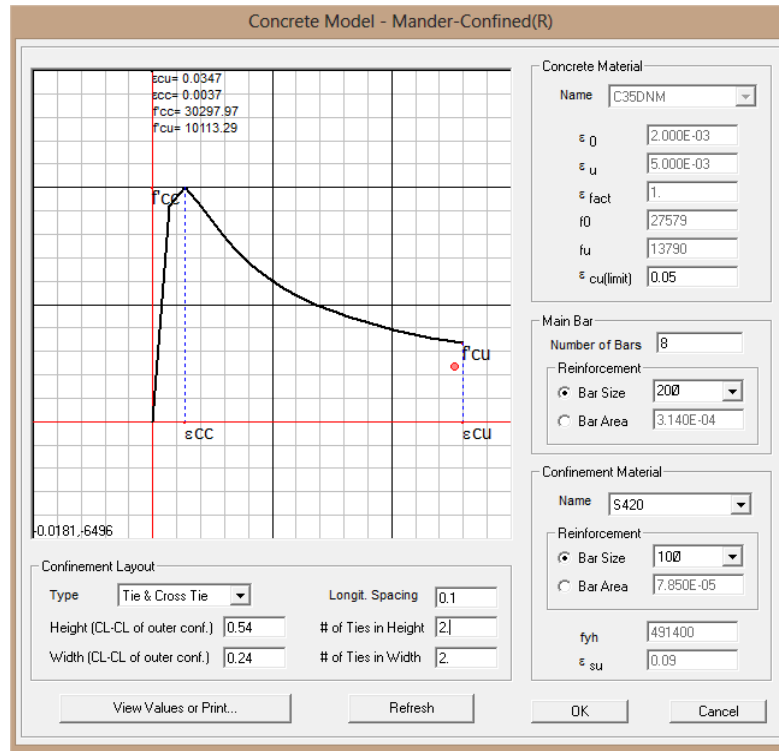
Kesit özellikleri şu şekildedir ;

Kiriş Boyutu 30x60

Paspayı 3cm

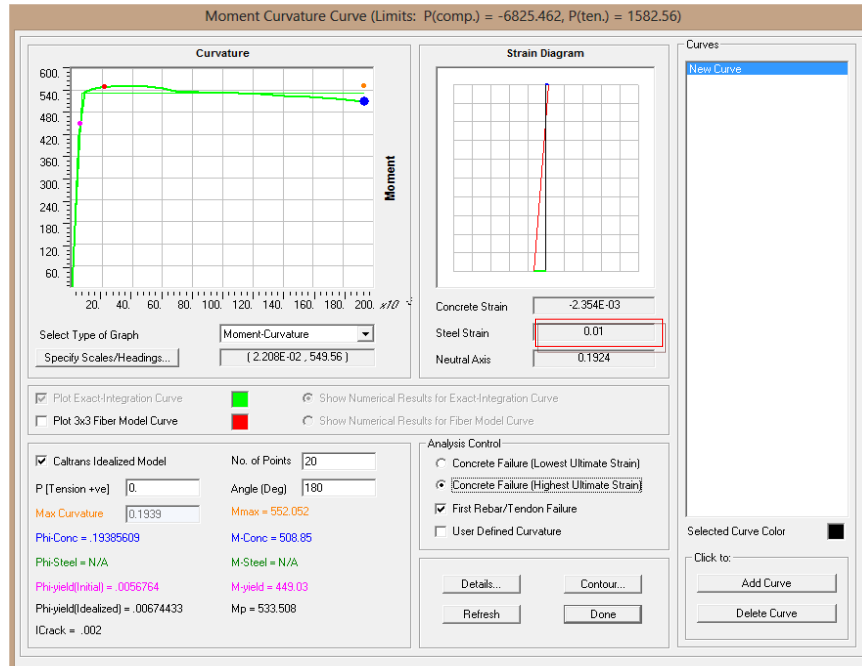
Donatı (4Φ20 Alt, 4Φ20 Üst) , Φ10/100 Etriye

SAP2000' de oluşturulan kiriş beton modeli Şekil 5.31' de gösterilmektedir.

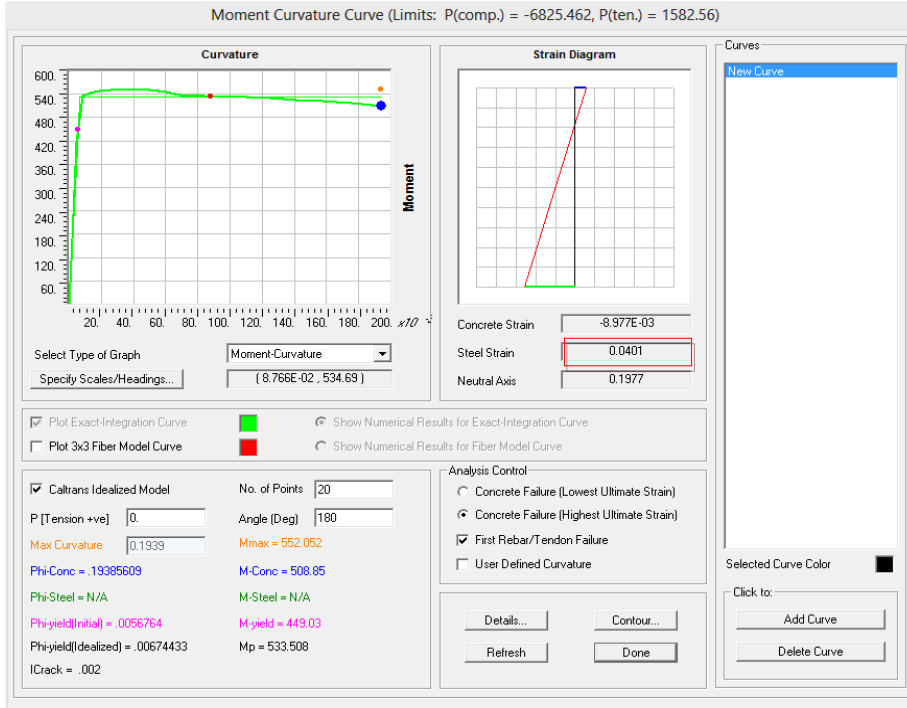


Şekil 5.31 : SAP2000 B30x60 Kirişi için Beton Modeli.

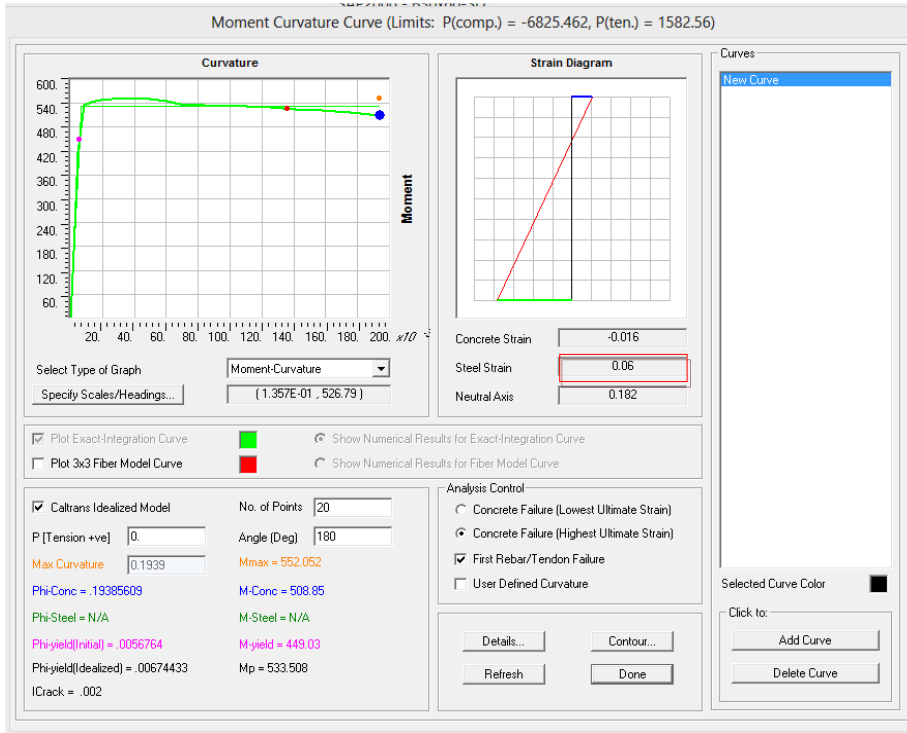
Donatı çeliğinin % 1, %4 ve %6 gerilme değerlerine göre kesit özellikleri Şekil 5.32, Şekil 5.33 ve Şekil 5.34' de gösterilmektedir.



Şekil 5.32 : B30x60 Kiriş için Donatı %1 Gerilme Değeri için Kesit Özellikleri..



Şekil 5.33 : B30x60 Kiriş için Donatı %4 Gerilme Değeri için Kesit Özellikleri.



Şekil 5.34 : B30x60 Kiriş için Donatı %6 Gerilme Değeri için Kesit Özellikleri.

B30x60 kirişı için ilgili hesaplar Çizelge 5.11' de özetlenmiştir. Şekil 5.20 de Perform3D de kiriş tanımı görülebilir. Perform 3D programında kirişler rijit sonlu bölgeleri ile kiriş mafsalları atanarak kirişlerin matematiksel modeli oluşturulmuştur.

Çizelge 5.11 : B30x60 Kirişi için Plastik Dönem Kapasiteleri Hesabı.

B30x60 Kirişi için Plastik Dönem Kapasiteleri Hesabı			
Kesit Özellikleri			
$\chi_y = \phi_{\text{yield}}(\text{idealized}) = \text{akma eğriliği}$	0.00674433	rad/m	
$I_c =$	0.002		
$I_g =$	$0.3 \times 0.6^3 / 12 =$	0.0054	
$E_{\text{Icr}} =$	$0.002 / 0.0054 =$	0.3703EIg	
$M_p =$	533.508 kNm		
Eğrilik Değerleri			
Gerilme(Steel Strain)	Eğrilik(Curvature)		
1%	$\chi_{t1} =$	0.02208	rad/m
4%	$\chi_{t2} =$	0.08766	rad/m
6%	$\chi_{t3} =$	0.1357	rad/m
Plastik Eğrilik (Plastik Curvature)			
$\chi_{p1} = \chi_{t1} - \chi_p =$	$0.02208 - 0.00674433 =$	0.01534	rad/m
$\chi_{p2} = \chi_{t2} - \chi_p =$	$0.08766 - 0.00674433 =$	0.08092	rad/m
$\chi_{p3} = \chi_{t3} - \chi_p =$	$0.1357 - 0.00674433 =$	0.12896	rad/m
I_p (plastik mafsallık boyu)	B30x60	$l_p = 0.60 / 2 = 0.30$	
Plastik Dönem Kapasiteleri			
$\Phi_{p1} = \chi_{p1} * L_p = 0.0153357 \times 0.30 =$	0.004600701 rad		
$\Phi_{p2} = \chi_{p2} * L_p = 0.0809157 \times 0.30 =$	0.024274701 rad		
$\Phi_{p3} = \chi_{p3} * L_p = 0.1289557 \times 0.30 =$	0.038686701 rad		

Section and Dimensions | Basic F-D Relationship | Strength Loss

Deformation Capacities | Cyclic Degradation | Upper/Lower Bounds

Deformations = hinge rotations

Dependent on Shear (V) Force?
☒ No ☐ Yes Upper V Lower V

Capacities at Upper V			Capacities at Lower V		
Level	Pos. Capacity	Neg. Capacity	Level	Pos. Capacity	Neg. Capacity
1	0.0046	0.0046	1		
2	0.02427	0.02427	2		
3	0.03868	0.03868	3		
4			4		
5			5		

Paste Copy Clear

Şekil 5.35 : B30x60 Kiriş için Perform3D Plastik Dönem Kapasiteleri.

- Kolonlar için fiberlerin tanımlanması;

Kolonlar için fiberler SAP2000 programı ile oluşturulmuştur. Tasarım Aşaması I' de belirlenen ve Tasarım Aşaması II' de gerçekleşen donatı miktarları kullanılmıştır. Bu oluşturulan fiberler daha sonra Tasarım Aşaması III için Perform3D programına aktarılmıştır. Kolon tipleri ve tiplere ait belirlenmiş donatı miktarları Çizelge 5.12' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.12 : Kolon Tipleri ve Donatı Adetleri.

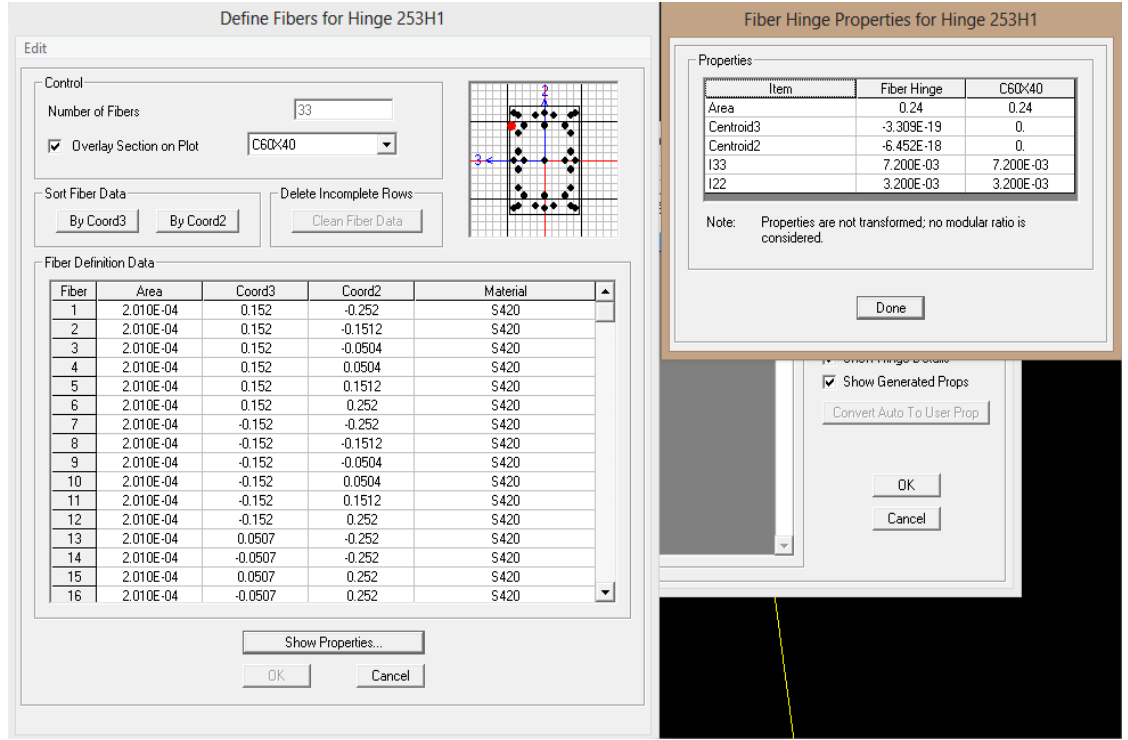
Kolon Tipleri ve Donatı Adetleri	
Tip	Donatı
C40x60	16f16
C40x70	16f20
C30x80	14f16
C30x90	18f25
C40x90	24f25
C120x40	26f25
C160x40	34f25

SAP2000 programında oluşturulan fiberler C40x60 kolonu için örneklenmiştir. Şekil 5.36' da C40x60 kolonu için kesit özellikleri görülebilir.

The image shows the 'Reinforcement Data' dialog box in SAP2000. The left pane, 'Rectangular Section', displays the section name 'C60x40', dimensions (Depth: 0.6, Width: 0.4), and a grid diagram of the reinforcement layout. The right pane, 'Reinforcement Data', contains settings for Rebar Material (S420), Design Type (Column), Reinforcement Configuration (Rectangular), and various bar counts and sizes. The 'Check/Design' section at the bottom is set to 'Reinforcement to be Designed'.

Şekil 5.36 : C40x60 Kolonu için Kesit Özellikleri.

SAP2000' de C40x60 kolon için oluşturulmuş fiber elemanlar Şekil 5.37'de gösterilmiştir.



Şekil 5.37 : C40x60 Kolonu için SAP2000 Oluşturulan Fiber Özellikleri.

Çizelge 5.13'de fiberler C40x60 kolonu için tablo halinde örneklenmiştir.

Çizelge 5.13 : C40x60 Kolonu için Fiber Elemanlar.

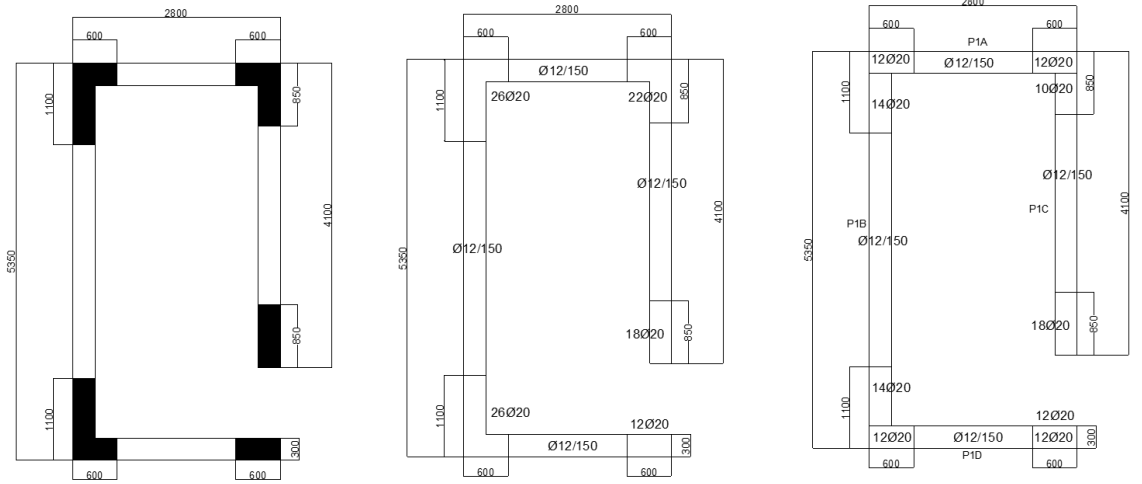
C40x60 Kolon Fiberleri				
Fiber	Alan	Coord3	Coord2	Malzeme
1	2.01E-04	0.152	-0.252	S420
2	2.01E-04	0.152	-0.1512	S420
3	2.01E-04	0.152	-0.0504	S420
4	2.01E-04	0.152	0.0504	S420
5	2.01E-04	0.152	0.1512	S420
6	2.01E-04	0.152	0.252	S420
7	2.01E-04	-0.152	-0.252	S420
8	2.01E-04	-0.152	-0.1512	S420
9	2.01E-04	-0.152	-0.0504	S420
10	2.01E-04	-0.152	0.0504	S420
11	2.01E-04	-0.152	0.1512	S420
12	2.01E-04	-0.152	0.252	S420
13	2.01E-04	0.0507	-0.252	S420
14	2.01E-04	-0.0507	-0.252	S420
15	2.01E-04	0.0507	0.252	S420

Çizelge 5.13 (Devam) : C40x60 Kolonu için Fiber Elemanlar

16	2.01E-04	-0.0507	0.252	S420
17	7.53E-03	-0.1777	0.2654	C35E
18	7.00E-03	0	0.2654	C35E
19	7.53E-03	0.1777	0.2654	C35E
20	0.0105	-0.1777	0	C35E
21	0.0105	0.1777	0	C35E
22	7.53E-03	-0.1777	-0.2654	C35E
23	7.00E-03	0	-0.2654	C35E
24	7.53E-03	0.1777	-0.2654	C35E
25	0.0172	-0.1218	0.1964	C35E
26	0.0172	0	0.1964	C35E
27	0.0172	0.1218	0.1964	C35E
28	0.0172	-0.1218	0	C35E
29	0.0343	0	0	C35E
30	0.0172	0.1218	0	C35E
31	0.0172	-0.1218	-0.1964	C35E
32	0.0172	0	-0.1964	C35E
33	0.0172	0.1218	-0.1964	C35E

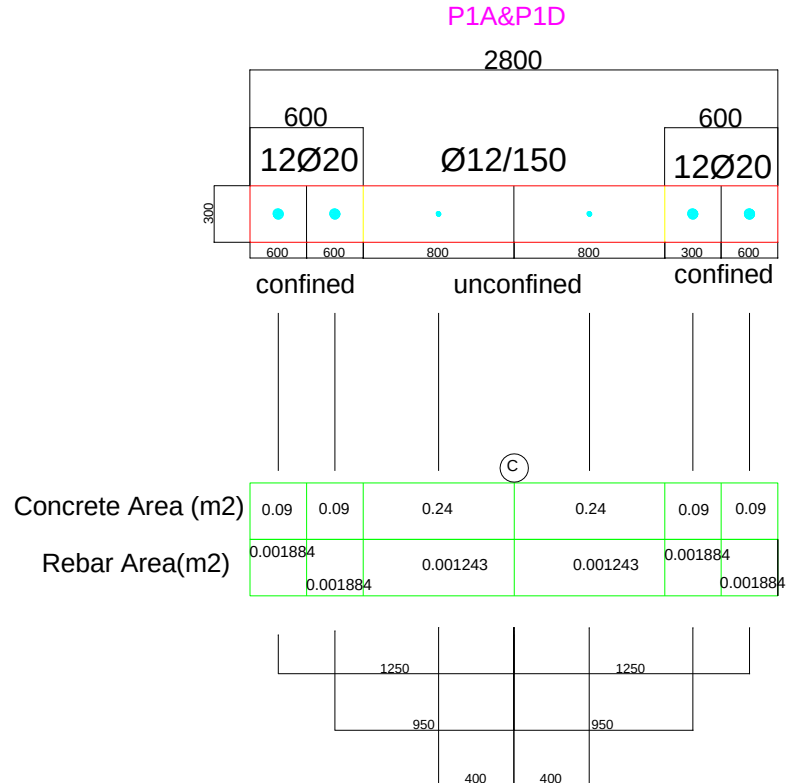
- Perde elemanlar için fiberlerin tanımlanması

Doğrusal olmayan analizde perde elemanların modellenmesi için yayılı plastisite yaklaşımı çerçevesinde fiber elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Perde elemanlar için fiberler manuel olarak ve yazılım kullanılarak oluşturulmuştur. P1A perdesine ait bir kol için bu hesap örneklenmiştir. Tasarım Aşaması I ile belirlenen ve Tasarım Aşaması II ile gerçekleştirilen perde donatıları Şekil 5.38' de örnek olarak P1A perdesi için gösterilmiştir. Şekil 5.38' de görüldüğü gibi perde eleman başlık ve gövde bölgeleri dikkate alınarak ve donatılar merkezlerde toplandığı varsayılarak parçalara bölünmüştür. Fiber elemanlarda kesitteki fiber elemanların herbiri için gerilme-şekil değiştirme bağlantısı tek doğrultuda alınarak $\sigma - \epsilon$ ilişkisi oluşturulmuştur. Tanımlanan perde kesitinde bulunan lif elemanların $\sigma - \epsilon$ bağlantısı her bir elemanda toplanılması ve bu değer kesitin plastik mafsıl boyuyla çarpılması ile moment - dönme ve aksenal kuvvet-aksenal deformasyon ilişkileri elde edilir. Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizlerde fiber elemanlar moment-eğrilik eğrisini takip etmektedir. Bu nedenle hesaplarda çatlamış kesit rijitliği atamaya gerek bulunmamaktadır.



Şekil 5.38 : P1A Perdesi için Başlık Bölgeleri ve Donatı Yerleşimleri.

P1A perdesi için oluşturulan fiber elemanlar Şekil 5.39 ve Şekil 5.40' da perdenin bir kolu için örneklenmiştir.



Şekil 5.39 : P1A Perdesi'nin bir kolu için fiber elemanların manuel olarak belirlenmesi.

Structural Fibers

Monitored Fibers

Notes

STRUCTURAL FIBER TO BE ADDED OR CHANGED

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling

Material Name: STEEL

Fiber Area: 1243.00

Fiber Coordinate: 400.00

Num: 10

Add Insert Replace Delete

See Notes page for more details.

STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 16)

Click to highlight a row for Insert, Replace or Delete.

No	Type	Name	Area	Coordinate
1	CONCRETE	CONCRETE	90000.00	-1250.00
2	CONCRETE	CONCRETE	90000.00	-950.00
3	CONCRETE	CONCRETE	240000.00	-400.00
4	CONCRETE	CONCRETE	240000.00	400.00
5	CONCRETE	CONCRETE	90000.00	950.00
6	CONCRETE	CONCRETE	90000.00	1250.00
7	STEEL	STEEL	1884.00	-1250.00
8	STEEL	STEEL	1884.00	-950.00
9	STEEL	STEEL	1243.00	-400.00
10	STEEL	STEEL	1243.00	400.00
11	STEEL	STEEL	1884.00	950.00
12	STEEL	STEEL	1884.00	1250.00
13				
14				
15				
16				

Şekil 5.40 : P1A Perdesi'nin bir kolu için fiber elemanların yazılım ile belirlenmesi.

Perde fiberleri için Perform 3D programında kontrol fiberleri belirlenmiştir. Bu noktalarda gerilmeler ve şekil değiştirmeler kontrol edilecektir. Oluşturulan fiber eleman kontrol noktaları örnek olarak Şekil 5.41'de gösterilmiştir.

Structural Fibers

Monitored Fibers

Draw Section

Out-Of-Plane

Notes

Monitored Fibers allow you use material strain capacities to define limit states. Place monitored fibers at the locations where you want to check strains, typically at or near the extreme fibers of the cross section.

Alternatively (and usually better), use Strain Gage components and elements.

MONITORED FIBER TO BE ADDED OR CHANGED

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling

Material Name: S420

Fiber Coordinate:

The coordinates have the same origin as the structural fibers.

Add Insert Replace Delete

MONITORED FIBER LIST (MAX 6)

Click to highlight a row for Insert, Replace or Delete.

No.	Type	Name	Coordinate
1	Inelastic 1D Concrete Material	C35-Confined	-2.175
2	Inelastic 1D Concrete Material	C35-Confined	2.175
3	Inelastic Steel Material, Non-Buci	S420	2.175
4	Inelastic Steel Material, Non-Buci	S420	-2.175

Şekil 5.41 : Perform 3D Kontrol Fiberleri Modellenmesi.

5.2 Performansa Göre Tasarım Aşamaları

5.2.1 Tasarım aşaması I-A

Örneklenen normal sınıf bir binanın D2 düzeyindeki deprem etkisinde Can Güvenliği performans hedefini belirlemek için DBYYHY 2007' e göre doğrusal analiz ile ön tasarımı-boyutlaması yapılmıştır. Deprem hesapları mod birleştirme yöntemi ile lineer üç boyutlu analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Beton ve donatı çeliği malzemelerinin dayanım parametresi olarak İYBDY' nde belirtildiği şekilde karakteristik dayanımı alınmıştır. Göreli kat ötelemesi limiti DBYYHY 2007' de belirtildiği gibi %2' dir. Tasarım Aşaması I-A doğrusal bir analiz aşaması olduğu için deprem hesaplarında mod birleştirme yöntemi ile lineer üç boyutlu analiz yöntemi kullanılmıştır. DBYYHY 2007' de belirtildiği şekilde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, her iki deprem doğrultusunda, her mod için belirlenen etkin kütlelerin toplam kütlenin %90' ından az olmayacak şekilde belirlenmiştir ve her iki deprem doğrultusu için de Çizelge A.7 ve Çizelge A.8' de sunulmuştur. Tasarım Aşaması I-A için yapısal kontroller aşağıda sıra ile örneklenmiş ve ek olarak son kısımda sunulmuştur [13,15].

Yapısal Düzensizliklerin İrdelenmesi

Yapısal düzensizlikler, yapının depreme karşı davranışını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle DBYYHY 2007 belirtildiği şekilde aşağıda açıklanan yapısal düzensizliklerden kaçınılmıştır. Örneklenen yapı için yapısal düzensizlikler incelenmiş ve özet şeklinde aşağıda gösterilmiştir [13].

- A1 düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumudur. Örneklenen yapı için gerekli tahkik yapılmış ve bu düzensizliğin bulunmadığı görülmüştür. İlgili çalışma Ek A, Çizelge A.1 ve A.2 de gösterilmiştir.
- A2 düzensizliği, hesaba konu olan yapıda döşeme süreksizliklerinin olması durumudur. Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3' ünden fazla olmadığı belirlenmiştir. Deprem yüklerinin döşemeler ile düşey taşıyıcı elemanlara güvenle aktarabilmesine engel olacak

döşeme boşlukları bulunmamaktadır. Döşeme düzlem içi rijitliği ve dayanımı ani bir azalış göstermemektedir.

- A3 düzensizliği, planda çıkıntıların bulunması durumudur. İncelenen yapı için planda çıkıntı yapan kısım bulunmamaktadır.
- B1 düzensizliği, komşu katlar arası rijitlik düzensizliğidir. İncelenen yapı için birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanı'nın, bir üst kattaki etkili kesme alanı'na oranı dayanım düzensizliği katsayısı η ci'nin 0.80'den büyük olduğu belirlenmiştir. İlgili çalışma Çizelge A.3 ve A.4' de gösterilmiştir.
- B2 düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun biri için, herhangi bir kattaki ortalama görelî kat öteleme oranının bir üst ya da bir alt katın ortalama görelî kat ötelemesine oranı Rijitlik Düzensizliği Katsayısının 2.0' den büyük olmasını tariflemektedir. B2 düzensizliği bu oranın 2' den büyük olması durumudur. İncelenen yapı için B2 Düzensizliği yapıda bulunmamaktadır. İlgili çalışma Çizelge A.5 ve A.6 da gösterilmiştir.
- B3 Düzensizliği, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının bazı katlarda kaldırılarak girişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumudur. İncelenen yapının taşıyıcı sisteminde bu düzensizlik bulunmamaktadır.

Deprem Parametrelerinin Belirlenmesi

DBYYHY 2007 Bölüm 2.5' te belirtildiği şekilde örneklenen yapının doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak için spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, deprem yükleri azaltma katsayısı R'ye bölünmüştür. Bu katsayısı DBYYHY 2007 Tablo 2.5' den seçilmiş ve doğal titreşim perioduna bağlı olarak hesaplara dahil edilmiştir.

- $R_a (T) = 1.5 + (R - 1.5) (T / T_A)$ $(0 < T < T_A)$
- $R_a (T) = R$ $(T_A < T)$

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R, deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirışli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalarda R=7 seçilmiştir. DBYYHY 2007' de belirtildiği şekilde R=7 değerinin kullanılabilmesi için, boşluksuz perdelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen kesme

kuvvetlerinin toplamı, binanın tümü için hesaplanan taban kesme kuvvetinin %75' inden daha fazla olmamalıdır, ($\alpha_s \leq 0.75$). Bu koşulun sağlanmaması halinde, $0.75 \leq \alpha_s \leq 1.0$ aralığında kullanılacak R katsayısı $R = 10 - 4 \times \alpha_s$ bağıntısı ile belirlenecektir. Örneklenen yapı için Çizelge 5.14 ' de perde ve kolonlara gelen taban kesme kuvvetinin dağılışı ve bu dağılıma göre belirlenen α_s katsayısı verilmiştir.

Çizelge 5.14 : " α_s " Katsayısının Belirlenmesi.

Deprem Yönü	Kesit	VX(kN)	VY(kN)
X	Kolon	321	47
X	Perde	6200	492
Y	Kolon	77	209
Y	Perde	355	6701
Toplam Kesme Kuvveti (kN)	Deprem-X	6521	539
	Deprem-Y	432	6910
Etkin Yön için α_s		0.951	0.970

DBYYHY 2007' ye göre $\alpha_s \leq 0.75$ olma koşulu sağlanmamıştır. X yönü için $0.75 \leq \alpha_s = 0.951$, Y yönü için $0.75 \leq \alpha_s = 0.970$ olmaktadır. R katsayısı $R = 10 - 4 \times \alpha_s$ bağıntısı ile tekrar hesaplanmıştır.

- X Deprem Doğrultusu için ;

$$0.75 \leq \alpha_s = 0.951$$

$$R = 10 - 4 \times \alpha_s = 10 - 4 \times 0.951 = 6.169$$

- Y Deprem Doğrultusu için ;

$$0.75 \leq \alpha_s = 0.970$$

$$R = 10 - 4 \times \alpha_s = 10 - 4 \times 0.970 = 6.120$$

İYYDY 'nde Tasarım Aşaması I-A için belirtilen D2 deprem düzeyi için spektrum köşe period değerleri, uzun period bölgesine geçiş periodu ve X ve Y yönleri için etkin modlar aşağıda gösterilmiştir.

$$T_s = S_{m1}/S_{ms} = 0.49 \text{ sn}$$

$$T_o = 0.2 \times T_s = 0.1 \text{ sn}$$

$$T_L = 12 \text{ sn}$$

$$T_x = 2.67 \text{ sn}$$

$$T_y=2.31 \text{ sn}$$

Elastik spektral ivme değeri $S_{ae}(T)$, X ve Y yönleri için aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T} \quad (T_s \leq T \leq T_L)$$

$$\text{X yönü için, } T_x=2.67 \text{ sn} \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T} = \frac{1.19}{2.67} = 0.445$$

$$\text{Y yönü için, } T_y=2.31 \text{ sn} \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T} = \frac{1.19}{2.31} = 0.515$$

İYYDY' ne minimum taban kesme kuvveti aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$V_{t,min} = 0.04S_{ms}(D2)W = 0.04 \times 1.19 \times W = 0.0476W$$

ETABS hesap modelinde kullanılan parametreler aşağıda gösterilmiştir.

$$C_{min}=0.0476$$

$$C_{min}=0.0476$$

X ve Y doğrultusu spektrum büyütme katsayısı, İYYDY' nde belirlenen minimum taban kesme kuvveti ile spektral analiz sonucu hesaplanan taban kesme kuvvetinin karşılaştırılması ile elde edilir. İYYDY ' ne göre mod birleştirme yöntemi ile bulunan taban kesme kuvveti, minimum taban kesme kuvveti arasında altsınır bulunmaktadır. Örneklenen binada A1, B2 ve B3 düzensizliklerinin hiçbirinin bulunmaması nedeniyle bu altsınır $\beta=0.8$ alınmıştır. Spektrum büyütme katsayısı $g_x I/R$ seçilerek spektral analiz ve minimum taban kesme kuvveti için sınır değeri veren C_{min} değeri girilmesi ile Etabs programında elde edilen taban kesme kuvveti değerleri aşağıda gösterilmiştir [15].

$$E_x=8737 \text{ kN}$$

$$E_y=8737 \text{ kN}$$

$$Spec_x=5880 \text{ kN}$$

$$Spec_y=7124 \text{ kN}$$

Minimum taban kesme kuvveti ile bulunan taban kesme kuvveti değeri ile modal analiz sonucu bulunan taban kesme kuvveti değeri kıyaslama hesabı aşağıda gösterilmiştir.

X doğrultusu için,

$$0.80x(E_x)/Specx=0.80x8737kN/5880=1.18$$

$$\text{Spektrum büyütme katsayısı} , 1.18x9.81x1/7=1.65$$

Y doğrultusu için,

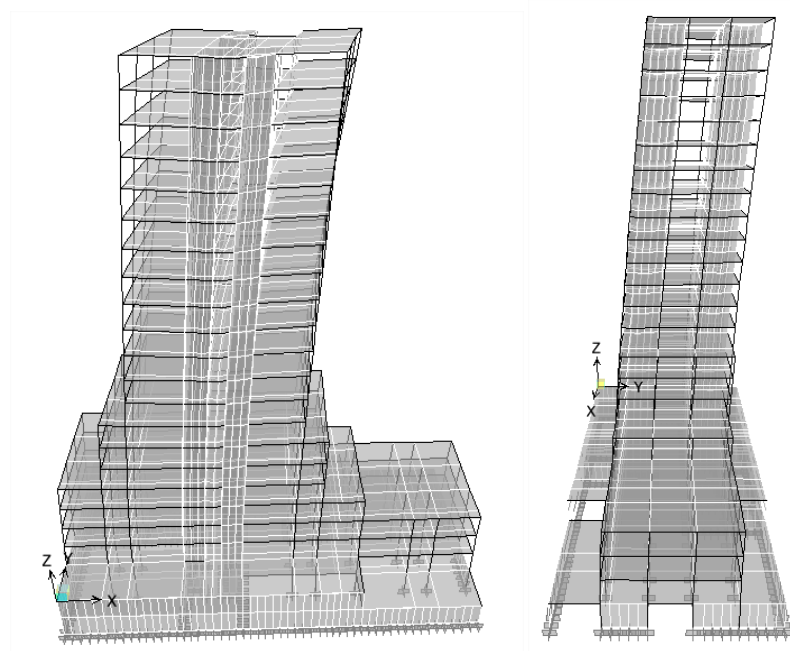
$$0.80x(E_y)/Specy=0.80x8737kN/7124=0.981\sim1.00$$

$$\text{Spektrum büyütme katsayısı} , 1.00x9.81x1/7=1.40$$

Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü

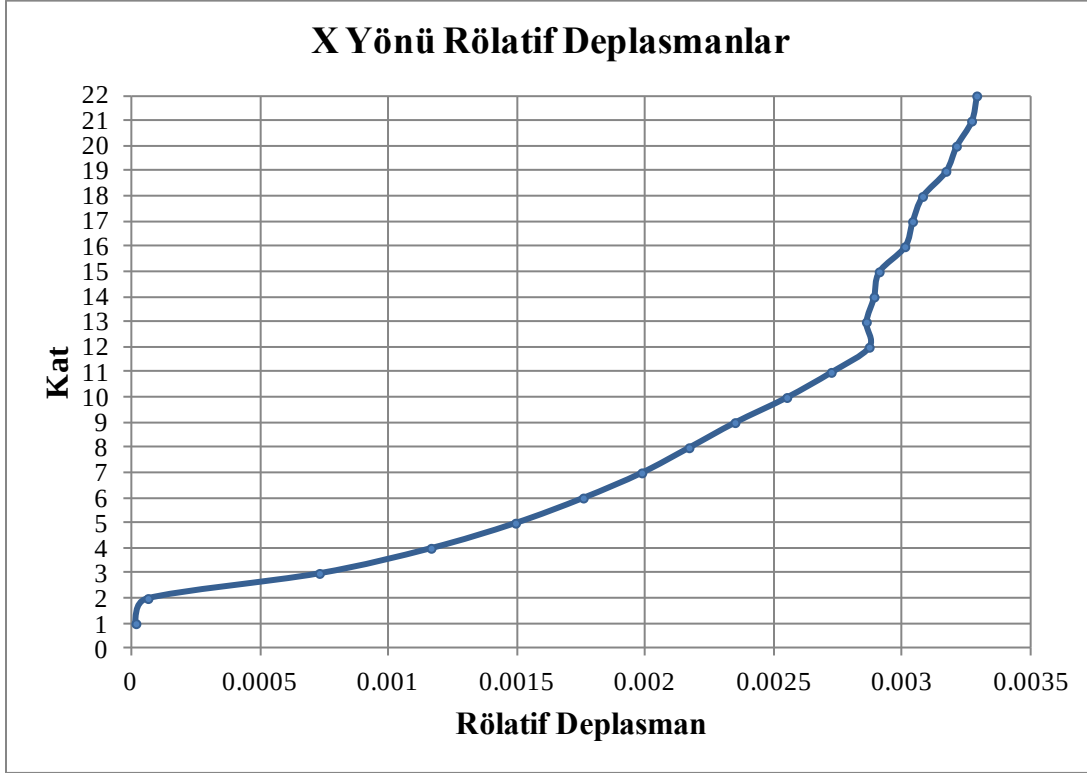
İYYDY ' ne göre herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkı olarak tanımlanan *Görelî Kat Ötelemesinin* kat içindeki en büyük değeri (Δ_{imax}) değeri $\Delta_{imax} / h_i \leq 0.02 / R$ koşulunu sağlamalıdır [15].

Ek A Çizelge A.9 ve Çizelge A.10' de görüldüğü üzere hiçbir katta görelî kat ötelemeleri hesaplanan oranı aşmamıştır. Buna göre sistemde her iki yönde görelî kat ötelemeleri kontrolü sağlanmıştır.Şekil değiştirmiş sistem şekli Şekil 5.42' da görülmektedir.

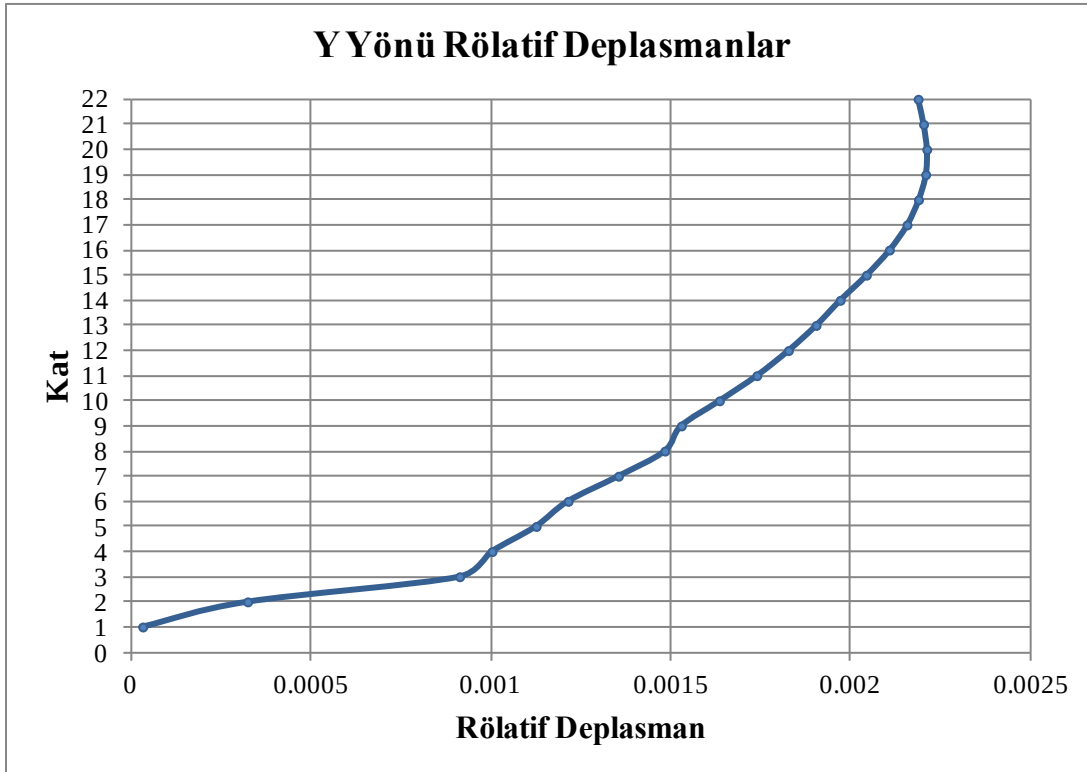


Şekil 5.42 : X ve Y Doğrultusunda Şekil Değiştirmiş Sistem.

X ve Y yönleri için rölatif kat ötelemeleri grafik olarak Şekil 5.43 ve Şekil 5.44' de sunulmuştur.



Şekil 5.43 : X Doğrultusu Rölatif Deplasmanlar.



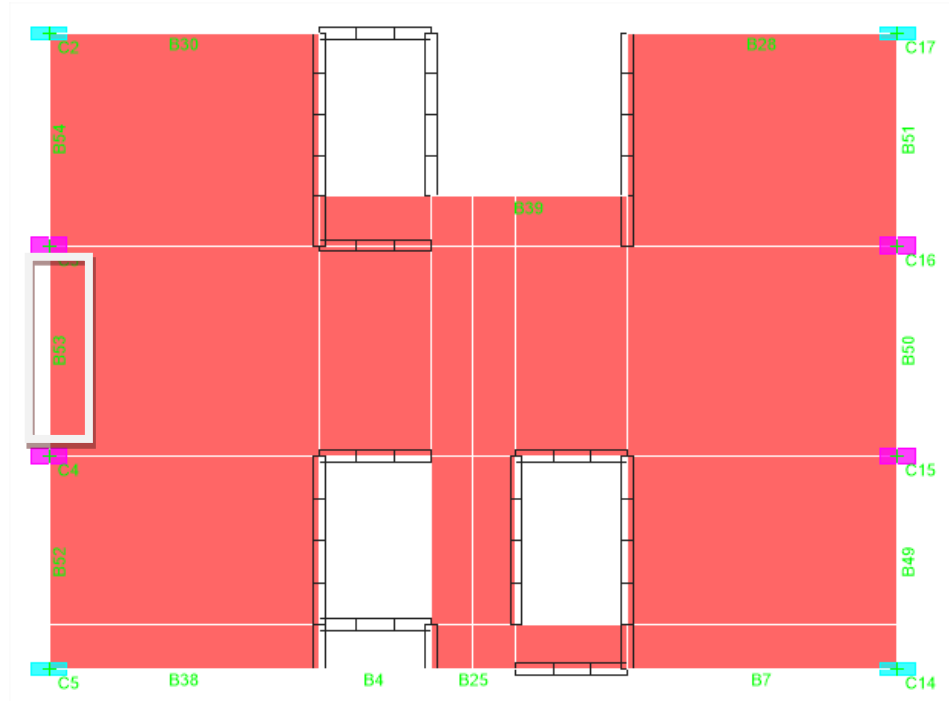
Şekil 5.44 : Y Doğrultusu Rölatif Deplasmanlar.

Betonarme Tasarım

Kolon, kiriş ve perde kesitlerinin betonarme tasarımları Etabs modelinden elde edilen elverişsiz kesit tesirleri kullanılarak yapılmıştır. Taşıyıcı eleman hesaplarında DBYYHY 2007 esasları kullanılmıştır. Her bir taşıyıcı için seçilen bir eleman örneklenmiştir [13].

Kiriş Betonarme Tasarım Hesapları

Süneklik düzeyi yüksek kirişlerin betonarme tasarımı, kesit kontrolü, boyuna donatı oranları, boyuna donatının düzenlenmesi, enine donatı koşulları ve kesme güvenliği hesapları için DBYBHY-2007 de verilen kurallar esas alınmıştır. Ayrıca konstrüktif kurallarda dahil olmak üzere gerekli olduğu durumlarda, TS-500 Betonarme Tasarım Standartı'ndan yararlanılmıştır. Belirtilen bu hesaplar ve kontroller örneklenen yapı için seçilen bir kiriş için yapılmış, diğer elemanlar için hesaplar Etabs programı tarafından hesaplanmış, bulunan bu değerler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Sistemdeki diğer kiriş elemanlara ait boyutlandırma örnek kirişte olduğu gibi kontrol edilmiştir. Hesaplar B53 kirişi için örneklenmiştir. İlgili kiriş Şekil 5.45'de gösterilmiştir [13].



Şekil 5.45 : Kiriş Hesapları Örneklenen B53 Kirişi.

Örneklenen B53 kirişi için kesit özellikleri aşağıda gösterilmiştir. Hesaplarda kullanılacak kesit tesiri Etabs modelinden alınmıştır. Aşağıda gösterilmektedir.

$$b_w = 30\text{cm}$$

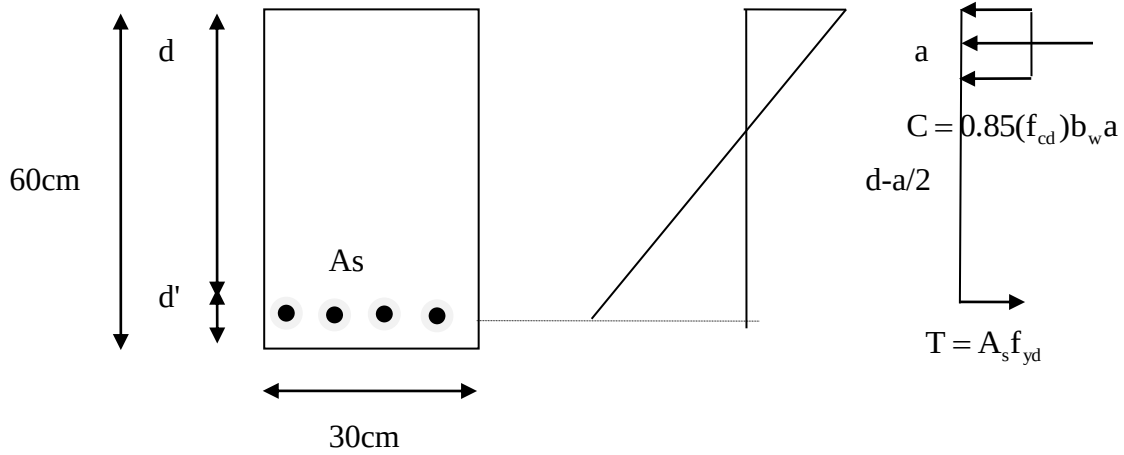
$$d = 60\text{cm}$$

$$l = 5.10\text{m}$$

$$M_d = 112\text{kNm}$$

$$M_{dsol} = 70\text{kNm}$$

$$M_{dsağ} = 65\text{kNm}$$



Şekil 5.46 : B30x60 Kirişi için Açıklık Donatısı Hesabı.

- Kiriş Açıklık Donatısı Hesabı**

Minimum donatı oranı hesabı ;

$$\rho_{min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \frac{1.4}{365} = 0.00306$$

$$A_{s\max} = \rho_{\max} A_c = 0.02 \times 30 \times 60 = 36.0\text{cm}^2$$

$$M_d = 0.85.f_{cd}.b_w.a(d - \frac{a}{2})$$

$$M_d = C.(d - \frac{a}{2})$$

$$A_{s\min} = \rho_{\min} A_c = 0.00306 \times 30 \times 60 = 5.52\text{cm}^2$$

Maksimum donatı oranı hesabı ;

$$A_{s\max} = \rho_{\max} A_c = 0.02 \times 30 \times 60 = 36.0\text{cm}^2$$

$$M_d = 0.85.f_{cd}.b_w.a(d - \frac{a}{2}) \quad , \quad M_d = C.(d - \frac{a}{2})$$

$$M_d = 112 \text{ kNm} = 0,85 \cdot \left(\frac{35}{1,5}\right) (1000) \cdot 0,3 \cdot a \cdot \left(0,57 - \frac{a}{2}\right) \quad a = 0,0341 \text{ m}$$

$$F_c = F_s \Rightarrow A_s f_{yd} = 0,85 f_{cd} b_w a$$

$$F_c = F_s \Rightarrow A_s \times 365 \times 10^3 = 0,85 \times 23,3 \cdot 1000 \cdot 0,3 \cdot 0,0341$$

$$A_s = 5,55 \text{ cm}^2 \text{ Gerekli Donatı Alanı}$$

$$\text{Seçilen Donatı } 4\phi 20 = 12,56 \text{ cm}^2 > A_{s \text{ min}}, A_s$$

- **Kiriş Mesnet Donatısı Hesabı ;**

Hesaplarda basınç donatısının akmış olduğu kabul edilerek yapılmıştır.

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

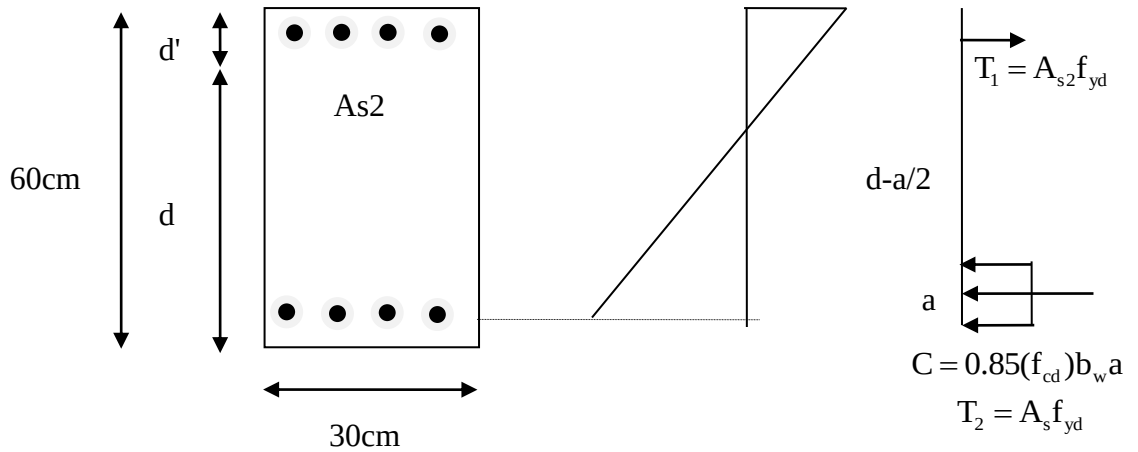
$$d = 60 \text{ cm}$$

$$l = 5,10 \text{ m}$$

$$M_d = 112 \text{ kNm}$$

$$M_{d \text{ sol}} = 70 \text{ kNm}$$

$$M_{d \text{ sağ}} = 65 \text{ kNm}$$



Şekil 5.47 : B30x60 Kirişi için Mesnet Donatısı Hesabı.

$$M_d = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot a \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_{s \text{ alt}} f_{yd} (d - d')$$

$$M_d = C \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{d \text{ sol}} = 70 \text{ kNm}$$

$$M_d = 70 \text{ kNm} = 0,85 \cdot \left(\frac{35}{1,5}\right) (1000) \cdot 0,3 \cdot a \cdot \left(0,57 - \frac{a}{2}\right) + 12,56 \cdot 10^{-4} \cdot 365 \cdot 10^3 \cdot 0,54$$

$$a = 0,0549 \text{ m}$$

$$F_c + F_{s2} = F_{s1} \Rightarrow A_s f_{yd} = 0,85 f_{cd} b_w a + A_{salt} f_{yd}$$

$$F_c + F_{s2} = F_{s1} \Rightarrow A_s \times 365 \times 10^3 = 0,85 \times 23,3 \cdot 1000 \cdot 0,3 \cdot 0,0579 + 12,56 \cdot 10^{-4} \cdot 365 \cdot 10^3$$

$$A_s = 10,85 \text{ cm}^2 \text{ Gerekli Donatı Alanı}$$

$$\text{Seçilen Donatı } 4\phi 20 = 12,56 \text{ cm}^2 > A_{smin}, A_s$$

$$M_{dsağ} = 65 \text{ kNm}$$

$$M_d = 65 \text{ kNm} = 0,85 \cdot \left(\frac{35}{1,5}\right) (1000) \cdot 0,3 \cdot a \cdot \left(0,57 - \frac{a}{2}\right) + 12,56 \cdot 10^{-4} \cdot 365 \cdot 10^3 \cdot 0,54$$

$$a = 0,0583 \text{ m}$$

$$F_c + F_{s2} = F_{s1} \Rightarrow A_s f_{yd} = 0,85 f_{cd} b_w a + A_{salt} f_{yd}$$

$$F_c + F_{s2} = F_{s1} \Rightarrow A_s \times 365 \times 10^3 = 0,85 \times 23,3 \cdot 1000 \cdot 0,3 \cdot 0,0583 + 12,56 \cdot 10^{-4} \cdot 365 \cdot 10^3$$

$$A_s = 11,38 \text{ cm}^2 \text{ Gerekli Donatı Alanı}$$

$$\text{Seçilen Donatı } 4\phi 20 = 12,56 \text{ cm}^2 > A_{smin}, A_s$$

Örneklenen B53 kirişı için açıklık ve sol-sağ mesnet donatıları elde edilmiştir.

• Kiriş Kesme Güvenliği Kontrolü ;

Örneklenen B53 kirişı için DBYYHY 2007 Bölüm 3.4.5' e göre kesme güvenliği kontrolleri yapılmıştır. Gerekli iç kuvvetler Etabs programından elde edilmiştir.

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$d = 60 \text{ cm}$$

$$l = 5,10 \text{ m}$$

$$V_e = V_{dy} \pm \frac{M_{pi} + M_{pj}}{l_n}, \quad \text{DBYYHY 2007 Bölüm 3.4.5'e göre kirişlerin sarılma}$$

bölgelerinde kesme donatısı hesaplarında kullanılacak kesme kuvveti değeri bu şekilde

hesaplanmıştır. Y yönü deprem kuvvetleri altında kirişin sol ve sağ uçları için bu hesaplar yapılmıştır.

- Y Yönü Deprem Doğrultusunda İ ve J ucunda Hesap;

$$M_{ri} = 65\text{kNm}$$

$$M_{rj} = 70\text{kNm}$$

$$V_{di} = -50.7\text{kN}, V_{dj} = 45.3\text{kN}$$

Kirişler için plastik akma momenti, akma momentinin 1.4 katı olacak şekilde hesaplanmıştır.

$$M_{pi} = 1.4 \times M_{ri} = 1.4 \times 65 = 91.0\text{kNm}$$

$$M_{pj} = 1.4 \times M_{rj} = 1.4 \times 70 = 98.0\text{kNm}$$

+Y yönü için hesaba esas kesme kuvvetleri;

$$V_e = -50.7 - \frac{(91+98)}{5.1} = -87.76\text{kN}, V_e = 45.3 - \frac{(91+98)}{5.1} = 8.24\text{kN}$$

-Y yönü için hesaba esas kesme kuvvetleri;

$$V_e = -50.7 + \frac{(91+98)}{5.1} = -13.64\text{kN}, V_e = 45.3 + \frac{(91+98)}{5.1} = 82.36\text{kN}$$

DBYYHY 2007 Bölüm 3.4.5.1' de belirtildiği üzere düşey yükler ile $R_a = 2$ alınarak depremden hesaplanan kesme kuvvetinin, hesaplanan kesme kuvveti değerinden küçük olması değerlendirilmiştir. $R_a = 2$ alınarak hesaplanan kesme kuvveti değerleri sırası ile $V_i = -92.43\text{kN}$ ve $V_j = 88.19\text{kN}$ 'dur. $R_a = 2$ alınarak hesaplanan kesme kuvveti değerleri hesaplanan kesme kuvveti değerlerinden büyüktür. Bu nedenle hesaplanan kesme kuvveti değerleri ile hesaba devam edilmiştir. DBYYHY 2007 Bölüm 3.4.5.3 de belirtildiği şekilde kiriş enine donatısının V_e kesme kuvvetine göre hesabında, betonun kesme dayanımına katkısı V_c TS500'e göre belirlenmiştir. Kiriş sarılma bölgelerindeki enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması durumu değerlendirilmiştir. Deprem kuvvetinden gelen kesme kuvveti örneklenen kiriş için 60.03kN 'dur. Depremli durumda düşey yük ile birlikte oluşan

kesme kuvveti 87.09'dür.Buna göre kesme kuvveti hesabında kesmeye betonun katkısı hesaplara dahil edilmiştir [13].

TS500 8.1.3' e göre örneklenen kiriş için kesme dayanımı kontrolü aşağıda gösterilmiştir.Betonun kesme kapasitesine katkısı hesaplanmıştır.

$$V_{cr} = 0.65f_{ctd}A_c$$

$$V_c = 0.8V_{cr}$$

$$V_{cr} = 0.65 \times 1.38 \times (300 \times 600) = 161.460 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.8 \times 161.460 = 129.168 \text{ kN}$$

Örneklenen kiriş için kullanılan etriye $\phi 10/100'$ dür.Etriyenin kesme kapasitesine katkısı hesaplanmıştır.

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d$$

$$S = 10 \text{ cm}, \quad n = 2, \quad A_s = 78.5 \text{ mm}^2 \times 2 = 157 \text{ mm}^2$$

$$V_w = \frac{157}{100 \times 550} \times (300 \times 600) \times 365 = 187.54 \text{ kN}$$

Örneklenen kirişin kesme kapasitesi ;

$$V_r = V_w + V_c = 129.168 + 187.54 = 316.708 \text{ kN}$$

DBYYHY 2007 Bölüm 3.4.5.2' ye göre kiriş kesme kapasite kontrolü aşağıdaki gösterildiği şekilde yapılmıştır.

$$V_e \leq V_r$$

$$V_e \leq 0.22b_w d f_{cd}$$

İ ucu için ;

$$87.76 \text{ kN} \leq 316.708 \text{ kN}$$

$$87.76 \text{ kN} \leq 0.22 \times 600 \times 250 \times 23.3 = 768.9 \text{ kN}$$

J ucu için ;

$$82.36 \text{ kN} \leq 316.708 \text{ kN}$$

$$82.36\text{kN} \leq 0.22 \times 600 \times 250 \times 23.3 = 768.9\text{kN}$$

Kirişlerin sarılma bölgelerinde yapılan bu kesme hesapları sonucu ilgili kirişte kesme güvenliğinin sağlandığı gösterilmiştir.

- Sarılma bölgesi dışında kesme güvenliği kontrolleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{-Y Yönü için , } V_e = -92.33\text{kN} , V_e = 12.36\text{kN}$$

$$\text{-Y Yönü için , } V_e = -76.09\text{kN} , V_e = -11.20\text{kN}$$

Betonun kesme kapasitesine katkısı hesaplanmıştır.

$$V_{cr} = 0.65f_{ctd}A_c$$

$$V_c = 0.8V_{cr}$$

$$V_{cr} = 0.65 \times 1.38 \times (300 \times 600) = 161.460\text{kN}$$

$$V_c = 0.8 \times 161.460 = 129.168\text{kN}$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d$$

$$S = 20\text{cm}, \quad n = 2, \quad A_s = 78.5\text{mm}^2 \times 2 = 157\text{mm}^2$$

$$V_w = \frac{157}{200 \times 550} \times (300 \times 600) \times 365 = 93.77\text{kN}$$

Örneklenen kirişin kesme kapasitesi ;

$$V_r = V_w + V_c = 129.168 + 93.77 = 222.938\text{kN}$$

DBYYHY 2007 Bölüm 3.4.5.2' ye göre kiriş kesme kapasite kontrolü aşağıdaki gösterildiği şekilde yapılmıştır.

$$V_e \leq V_r$$

$$V_e \leq 0.22b_w d f_{cd}$$

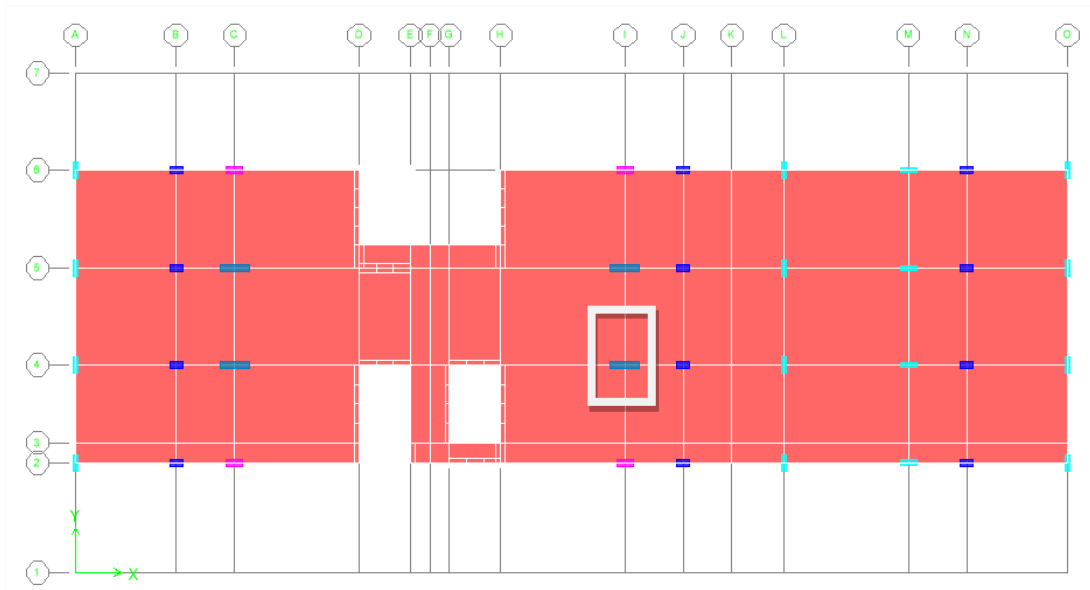
$$92.33 \leq 222.938\text{kN}$$

$$92.33\text{kN} \leq 0.22 \times 600 \times 250 \times 23.3 = 768.9\text{kN}$$

Kirişlerin sarılma bölgesi dışında kesme güvenliğinin sağladığı gösterilmiştir.

Kolonların Betonarme Tasarım Hesapları

Örneklenen yapı için yapı davranışı süneklik düzeyi normal çerçeve ve süneklik düzeyi yüksek perdelerden oluşan karma sistem seçilmiştir. Bu nedenle kolonlar süneklik düzeyi normal olarak tasarlanmıştır. DBYYHY 2007 ve TS500' ün gerektirdiği kontroller bir kolon için aşağıda örneklenmiştir. İlgili kolon için iç kuvvetler ETABS programından alınmıştır. En elverişsiz iç kuvvetler seçilerek hesaplar yapılmıştır. Sistemdeki diğer kolon elemanlara ait boyutlandırma sonuçları örnek kolon da olduğu gibi kontrol edilmiştir. Hesapların örneklediği C16 kolonu Şekil 5.48' de gösterilmiştir [4,13].



Şekil 5.48 : Kolon Hesapları Örneklenen C16 Kolonu.

C16 kolonun boyu 3.15'dir. Temel seviyesinden itibaren kolon kesitleri aşağıda gösterilmiştir.

8 kat	160cm-40cm
5 kat	120cm-40cm
5 kat	90cm-40cm
4kat	90cm-30cm

- **Eksenel Yük Kontrolü;**

DBYYHY 2007 Madde 3.3.1.2' de belirtildiği şekilde kolonlar için eksenel basınç kuvveti kontrol edilmiştir. C16 kolonu için ilgili kombinasyonlar için ETABS

programından en büyük eksenel basınç kuvveti alınmıştır. İç kuvvetler C16 kolonu için Çizelge 5.15 ' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.15 : C16 Kolonu için Nd Eksenel Basınç Kuvvetleri.

Kat	Kolon	Yükleme	Ndm(kN)
Kat22	C16	DESG3	-476.17
Kat21	C16	DESG3	-899.6
Kat20	C16	DESG3	-1324.25
Kat19	C16	DESG3	-1749.41
Kat18	C16	DESG3	-2185.22
Kat17	C16	DESG3	-2621.43
Kat16	C16	DESG3	-3057.77
Kat15	C16	DESG3	-3494.61
Kat14	C16	DESG3	-3932.43
Kat13	C16	DESG3	-4384.5
Kat12	C16	DESG3	-4836.69
Kat11	C16	DESG3	-5289
Kat10	C16	DESG3	-5741.2
Kat9	C16	DESG3	-6194.86
Kat8	C16	DESG3	-6848.39
Kat7	C16	DESG3	-7331.44
Kat6	C16	DESG3	-7814.49
Kat5	C16	DESG3	-8367.27
Kat4	C16	DESG3	-8963.58
Kat3	C16	DESG3	-9559.88
Kat2	C16	DESG3	-10156.18
Kat1	C16	DESG3	-5270.34

$$A_C = N_{dm} / (0.5f_{ck})$$

$$A_C = b_w \times d = 160 \times 40 = 6400 \text{ cm}^2 = 640000 \text{ mm}^2$$

$$N_{dm} = 10156.18 \text{ kN} = 10156180 \text{ N}$$

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$A_C = N_{dm} / (0.5f_{ck}), \frac{N_{dm}}{A_C f_{ck}} \leq 0.5 \rightarrow \frac{10156180}{640000 \times 35} = 0.453 \leq 0.5$$

Kesit boyutunun C16 kolonu için elverişsiz eksenel yük durumunda yeterli olduğu görülmüştür.

- **Eğilme Hesabı**

C16 kolonu için eğilme hesabı aşağıda örneklenmiştir.C16 kolonu katlar boyunca dört farklı kesit ve bu kesitlere ait dört farklı donatı düzeni almıştır.Donatı miktarları aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 5.16 : C16 Kolonu için Donatı Oranları.

Kolon	Donatı	Donatı Oranı
C30x90	18 ϕ 25	0.033
C40x90	24 ϕ 25	0.033
C120x40	26 ϕ 25	0.027
C160x40	34 ϕ 25	0.026

Kolonlar için eğilme hesabında minimum ve maksimum donatı oranı için DBYYHY 2007 Madde 3.3.2.1 esas alınmıştır. Madde 3.3.2.1' e göre kolonlarda boyuna donatı brüt alanı kesitin %1 ' inden az, %4' ünden fazla olamaz. Bindirmeli ek yapılan kesitlerde boyuna donatı oranı %6'yı geçmeyecektir. Örneklenen yapı için bu kurallara uyulmuştur. Üst kat kolonlarında şaşırtmalı bindirme yapılacağı düşünülmüştür [13].

$$\rho_{\min} = 0.01$$

$$\rho_{\max} = 0.04$$

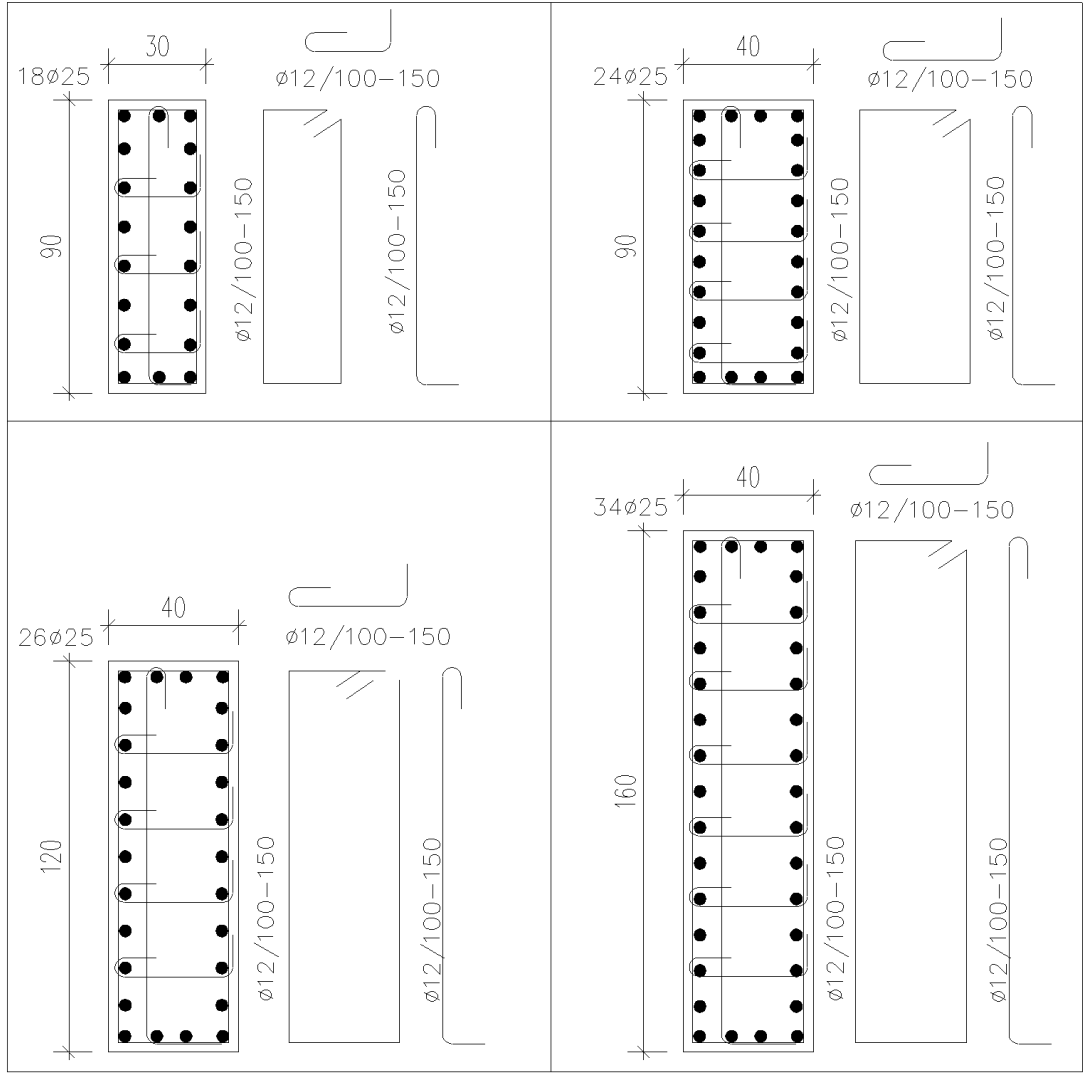
C30x90 için donatı oranı $0.033 > 0.01$, $0.033 < 0.04$

C40x90 için donatı oranı $0.033 > 0.01$, $0.033 < 0.04$

C120x40 için donatı oranı $0.027 > 0.01$, $0.027 < 0.04$

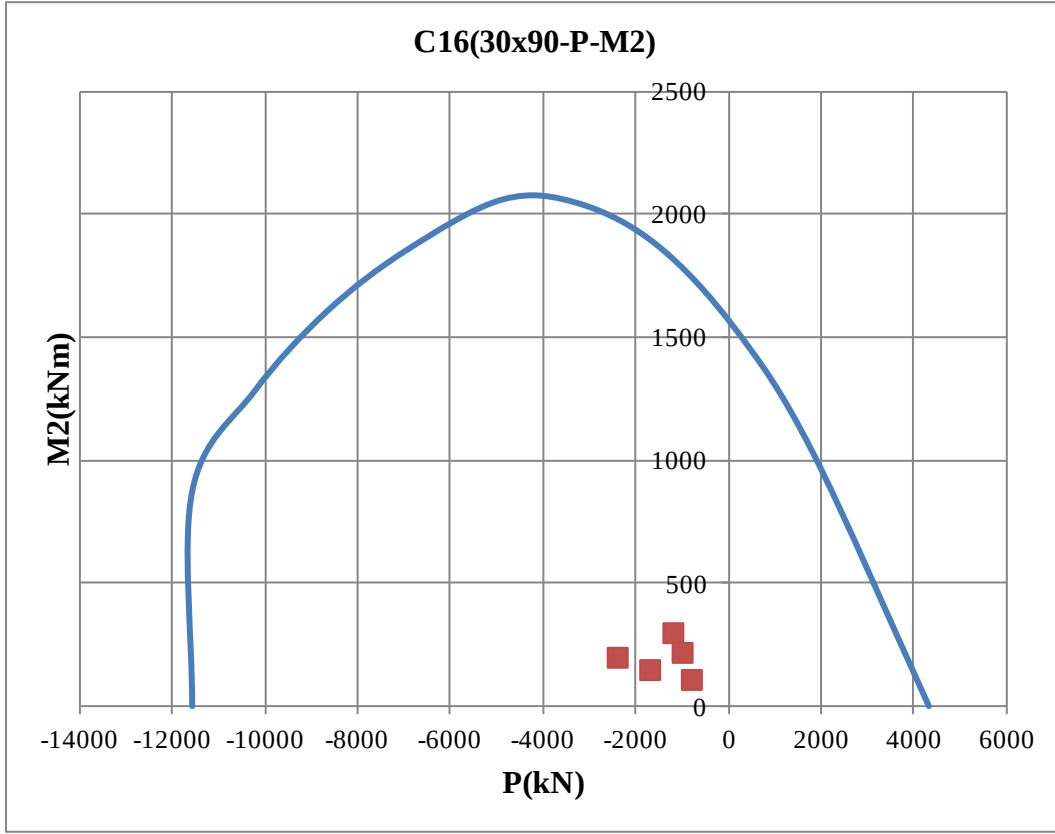
C160x40 için donatı oranı $0.026 > 0.01$, $0.026 < 0.04$

C16 kolon tasarımı, ilgili kolon donatısı kullanılması ile kapasite eğrisi oluşturulmuş ve analiz sonuçlarında kolon kesit tesirlerinin bu kapasite eğrisinin içinde kalıp kalmadığı kontrol edilerek yapılmıştır.Diğer kolonlar için tasarım ETABS programı kullanılarak yapılmıştır.

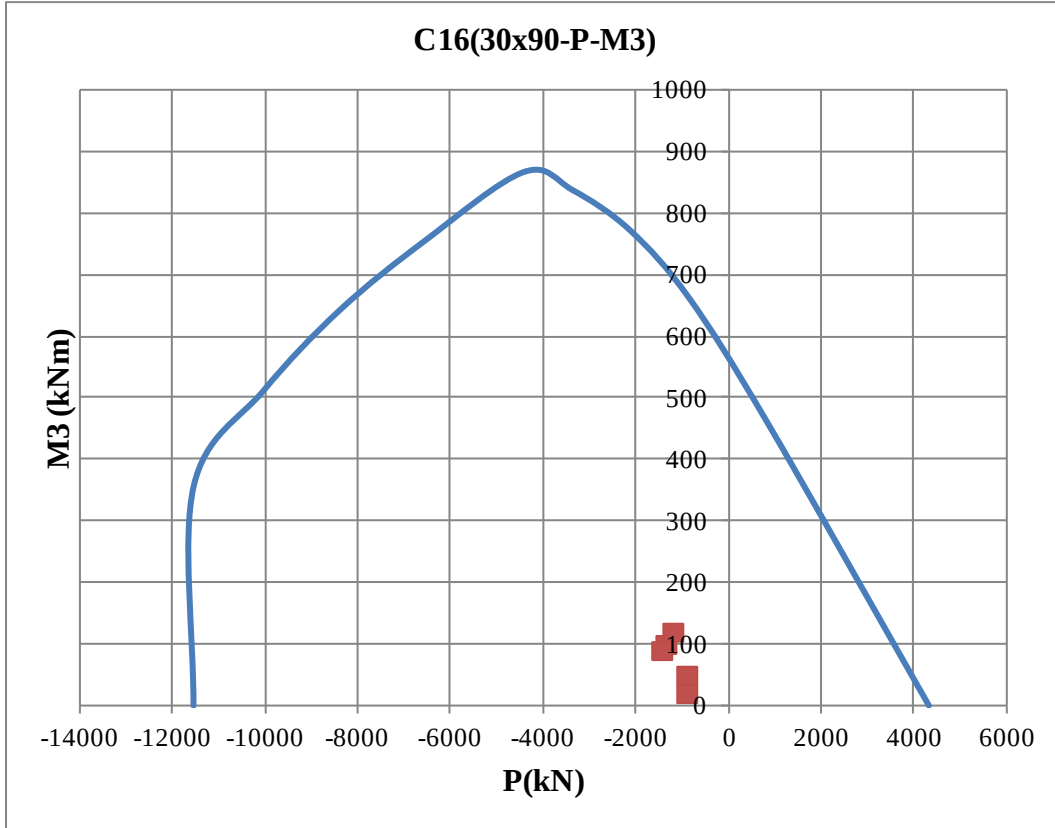


Şekil 5.49 : C16 Kolonu Donatı Düzeni.

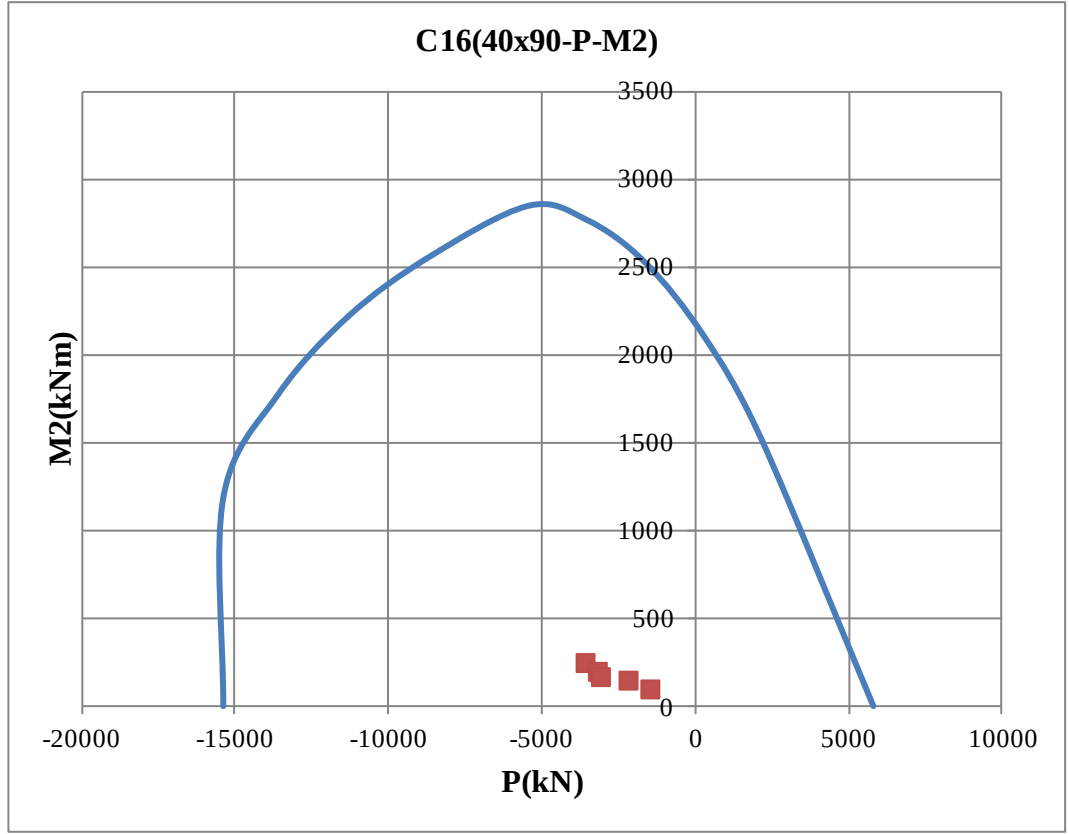
Şekil 5.49' da gösterilen kesit boyutu ve donatı düzenlerine göre oluşturulmuş kapasite eğrileri ile ETABS programından alınan elverişsiz iç kuvvetlerin bu eğride yerleri Şekil 5.50, Şekil 5.51, Şekil 5.52, Şekil 5.53, Şekil 5.54, Şekil 5.55, Şekil 5.56 ve Şekil 5.57' de gösterilmiştir. Bu eğriler her kesit için P-M2 ve P-M3 olmak üzere iki farklı bileşen için yapılmıştır. Grafiklerde de görüldüğü gibi kolonun moment kapasitesinin yüksek olmasına rağmen büyük bir eğilme davranışı göstermemiştir. Bunun nedeni yapıda bulunan perde elemanların yapının eğilme davranışını sınırlamış olmasıdır.



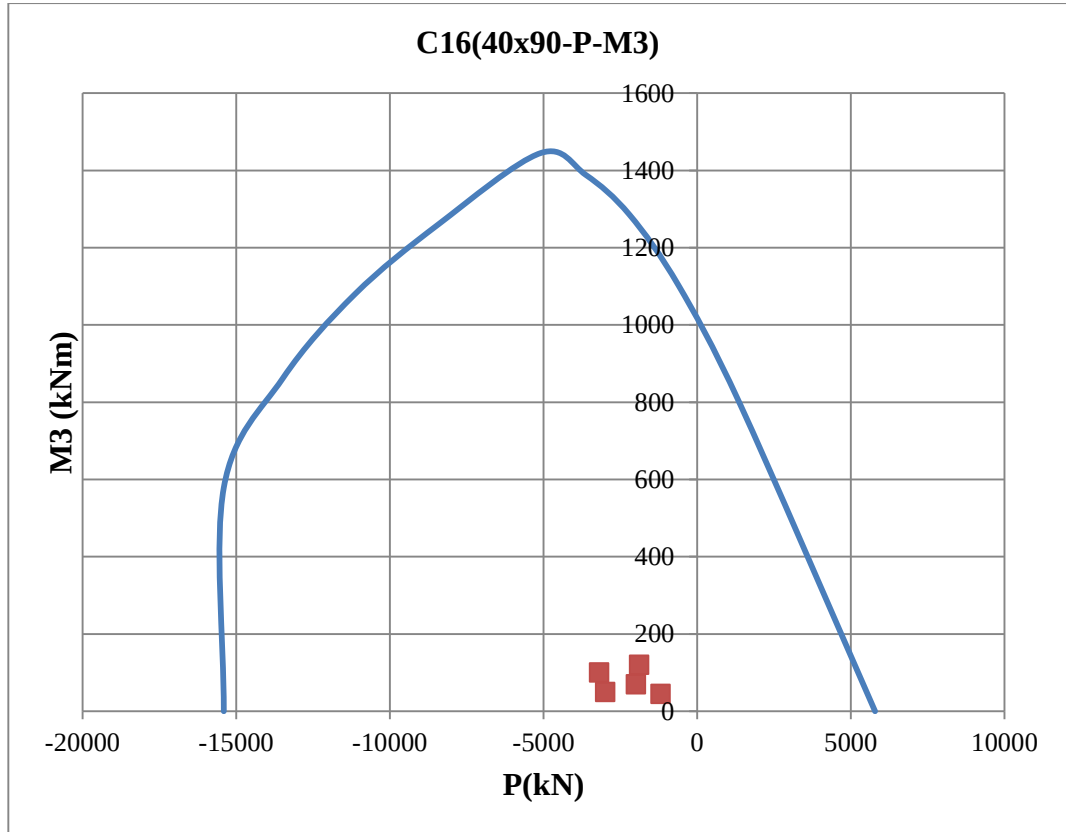
Şekil 5.50 : C16 30x90 Kesit için P-M2 Karşılıklı Etki Diagramı.



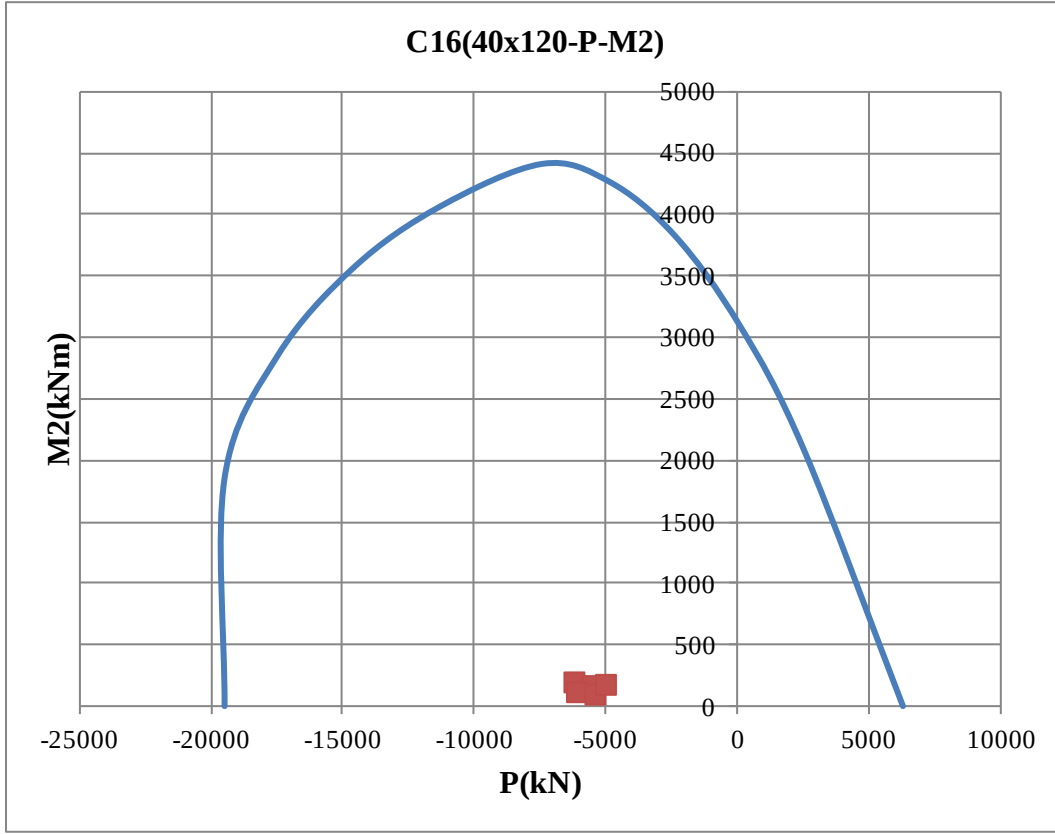
Şekil 5.51 : C16 30x90 Kesit için P-M3 Karşılıklı Etki Diagramı.



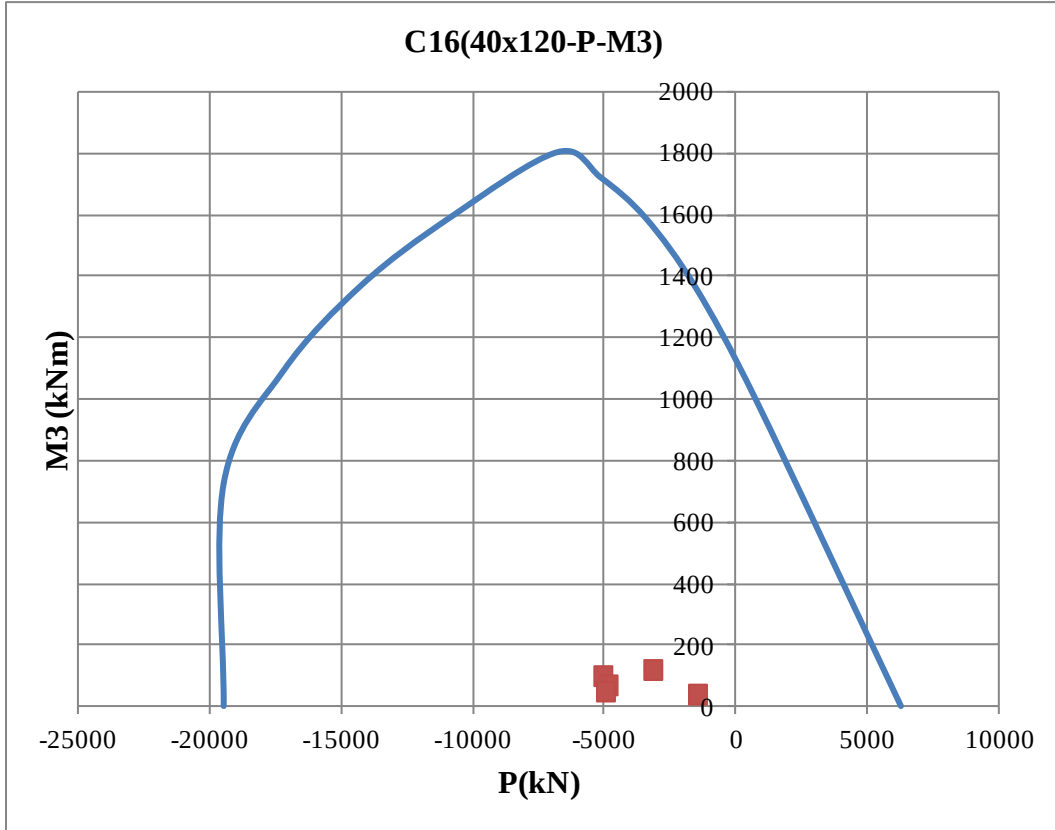
Şekil 5.52 : C16 40x90 Kesit için P-M2 Karşılıklı Etki Diagramı.



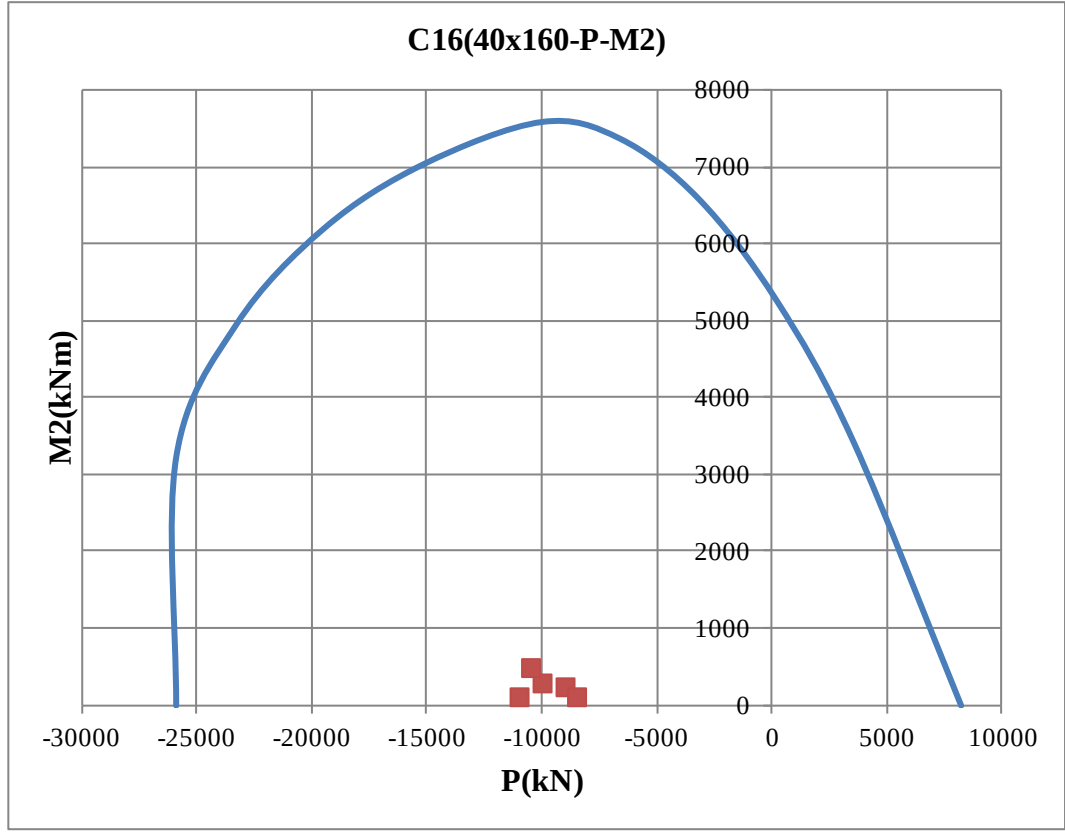
Şekil 5.53 : C16 40x90 Kesit için P-M3 Karşılıklı Etki Diagramı.



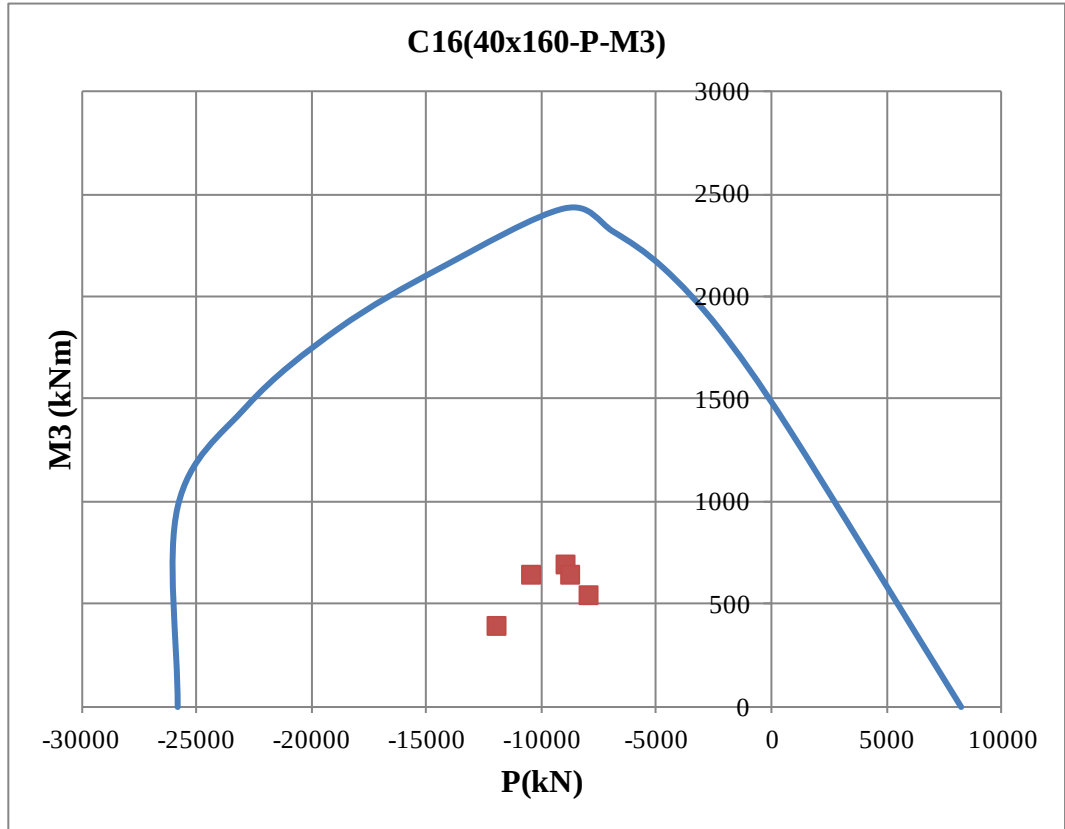
Şekil 5.54 : C16 40x120 Kesit için P-M2 Karşılıklı Etki Diagramı.



Şekil 5.55 : C16 40x120 Kesit için P-M3Karşılıklı Etki Diagramı.



Şekil 5.56 : C16 40x160 Kesit için P-M2 Karşılıklı Etki Diagramı.



Şekil 5.57 : C16 40x160 Kesit için P-M3 Karşılıklı Etki Diagramı.

- **Sargı Donatısı Hesabı;**

Örnek kolon için sargı donatısı hesabı DBYYHY 2007 Bölüm 3.3.4 esas alınarak yapılmıştır. Kolon sarılma bölgeleri ve kolon orta bölgeleri yönetmelikte belirtildiği şekilde donatılandırılmıştır. DBYYHY 2007 Bölüm 3.3.4.1-b' de belirtildiği gibi $N_d > 0.20 A_c f_{ck}$ olması durumu kontrol edilmiştir [13].

C16_40x160 Kesitli Kolon için;

$$A_c = N_{dm} / (0.5 f_{ck}), \frac{N_{dm}}{A_c f_{ck}} > 0.2 \rightarrow \frac{10156180}{640000 \times 35} = 0.453 > 0.2$$

İlgili kriterin sağlaması halinde enine donatı alanı DBYYHY 2007 Bölüm 3.3.4.1-b Denk.3.1'e göre belirlenmiştir.

$$A_{sh} \geq 0.30 s_b [(A_c / A_{ck}) - 1] (f_{ck} / f_{ywk})$$

$$A_{sh} \geq 0.075 s_b (f_{ck} / f_{ywk})$$

X Doğrultusu için;

$$A_{sh} \geq 0.30 \times 100 \times 340 [(640000 / 523600) - 1] (35 / 420) = 188.96 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} \geq 0.075 \times 100 \times 340 (35 / 420) = 212.50 \text{ mm}^2$$

Seçilen Donatı $\phi 12/100$, 3 kol,

$$A_{sh} = 3 \times (\pi \times \frac{12^2}{4}) = 339.29 \text{ mm}^2, \text{ X yönü için gerekli alan sağlanmıştır.}$$

Y Doğrultusu için;

$$A_{sh} \geq 0.30 \times 100 \times 1540 [(640000 / 523600) - 1] (35 / 420) = 855.87 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} \geq 0.075 \times 100 \times 1540 (35 / 420) = 962.50 \text{ mm}^2$$

Seçilen Donatı $\phi 12/100$, 9 kol,

$$A_{sh} = 9 \times (\pi \times \frac{12^2}{4}) = 1017.36 \text{ mm}^2, \text{ Y yönü için gerekli alan sağlanmıştır.}$$

- **Kesme Güvenliği Kontrolü;**

Kolon kesme güvenliği kontrolleri DBYYHY 2007 Bölüm 3.3.7.5 ve Bölüm 3.3.7.6 'da belirtildiği şekilde yapılmıştır. Betonun kesme kuvvetine katkısı V_c 'nin hesabı TS500'e göre yapılmıştır. Ancak DBYYHY 2007 Bölüm 3.3.4.1'de tanımlanan kolon sarılma bölgesi enine donatı hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme

kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması ve $N_d \leq 0.05 A_c f_{ck}$ koşulunun sağlanması halinde betonun kesme güvenliğine katkısı alınmamıştır.

C16_40x160 Kesitli Kolon için;

-Sadece deprem kuvvetinden oluşan kesme kuvveti $V_1=240\text{kN}$

Toplam kesme kuvveti $V_t= 388\text{kN}$, $V_t/2=388/2=194\text{kN} < V_1=240\text{kN}$

$$- N_d \leq 0.05 A_c f_{ck} , \frac{N_{dm}}{A_c f_{ck}} \leq 0.05 \rightarrow \frac{10156180}{640000 \times 35} = 0.453 \geq 0.05$$

Belirtilen koşullardan ilki sağlamaktadır ancak ikinci koşul sağlamamaktadır. Bu nedenle betonun kesme kuvvetine katkısı hesaplara dahil edilmiştir.

Betonun kesme kuvvetine katkısı TS500 Bölüm 8.1.3'e göre hesaplanmıştır [4].

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d \left(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c}\right),$$

$$V_{cr} = 0.65 \times 1.4 \times 400 \times 1600 \left(1 + 0.07 \frac{10156180}{400 \times 1600}\right) = 1229.35\text{kN}$$

$$V_c = 0.8 V_{cr} = 1229.35 \times 0.8 = 983.48\text{kN}$$

Yatay donatının kesme kuvvetine katkısı TS500 Bölüm 8.1.4'e göre hesaplanmıştır [4].

$$V_{wx} = \frac{A_{sh}}{s b_k} A_c f_{ywd} = \frac{339.29}{100 \times 1540} \times 1600 \times 400 \times 365 = 514.66\text{kN}$$

$$V_{wy} = \frac{A_{sh}}{s b_k} A_c f_{ywd} = \frac{1017.36}{100 \times 1540} \times 1600 \times 400 \times 365 = 1543.21\text{kN}$$

Kolon kesitinin toplam kesme kapasiteleri ;

$$V_{rx} = 983.48 + 514.66 = 1498.14\text{kN} > 388\text{kN}$$

$$V_{ry} = 983.48 + 1543.21 = 2526.69\text{kN} > 420.88\text{kN}$$

Kolonlar için toplam kesme kuvveti değerleri ETABS modelinden elverişsiz olacak şekilde seçilmiş ve her iki yön için de kolon kesme kuvveti kapasitesi ile karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi kesme kuvveti kapasitesi yeterlidir.

Kolon kesme kuvveti üst sınırı süneklik düzeyi normal kolonlar için DBYYHY 2007 Madde 3.3.7.5' te belirtildiği şekilde hesaplanmıştır. Aşağıda görüldüğü gibi kolon kesme kuvvetleri kolon kesme kuvveti üst sınırlarının altındadır [13].

$$V_d \leq V_r$$

$$V_d \leq 0.22A_w f_{cd}$$

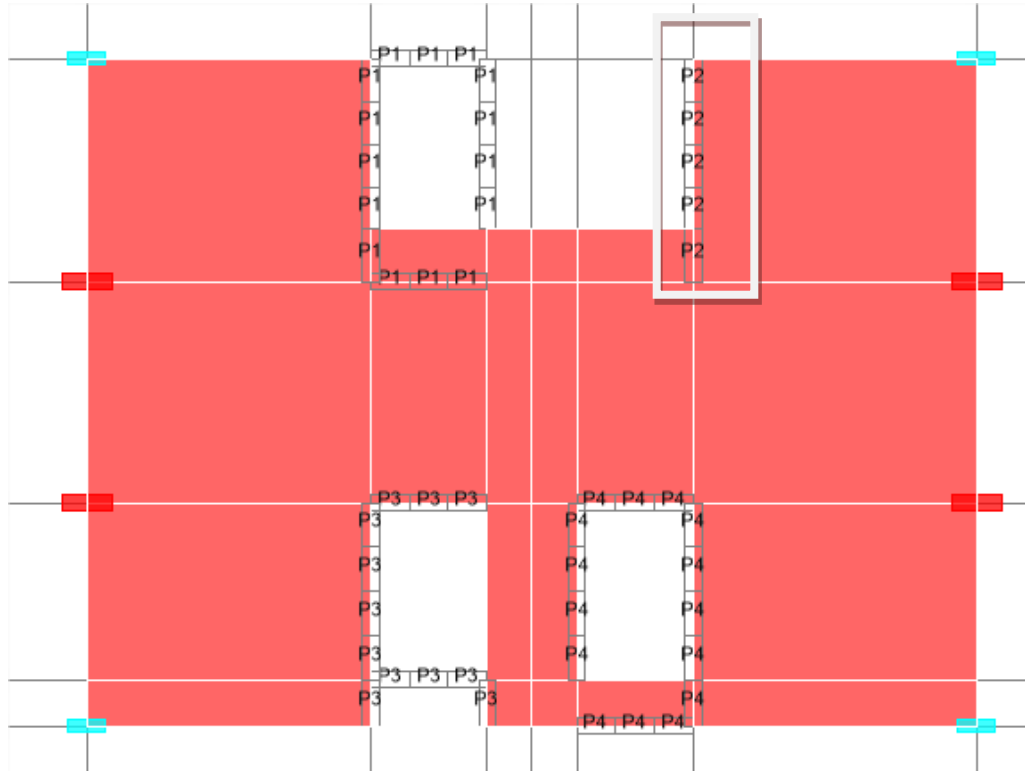
$$V_{dx} = 388\text{kN} \leq V_{rx} = 1498.14\text{kN}$$

$$V_{dy} = 420.88\text{kN} \leq V_{ry} = 2526.69\text{kN}$$

$$V_d = \text{Maks}(388\text{kN}, 420.88\text{kN}) \leq 0.22A_w f_{cd} = 0.22 \times 400 \times 1600 \frac{35}{1.5} = 3285.33\text{kN}$$

Perdelerin Betonarme Tasarım Hesapları

Örneklenen yapı için yapı davranışı süneklik düzeyi normal çerçeve ve süneklik düzeyi yüksek perdelerden oluşan karma sistem seçilmiştir. Bu nedenle perdeler süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmıştır. Tasarım DBYYHY 2007 Bölüm 3.6 esas alınarak yapılmıştır. Örneklenen yapı için P2 perdesi hesabı aşağıda sunulmuştur [13].



Şekil 5.58 : Perde Hesabı Örneklenen P2 Perdesi.

Sistemdeki diğer perde elemanlara ait boyutlandırma sonuçları örnek perde de olduğu gibi kontrol edilmiştir.

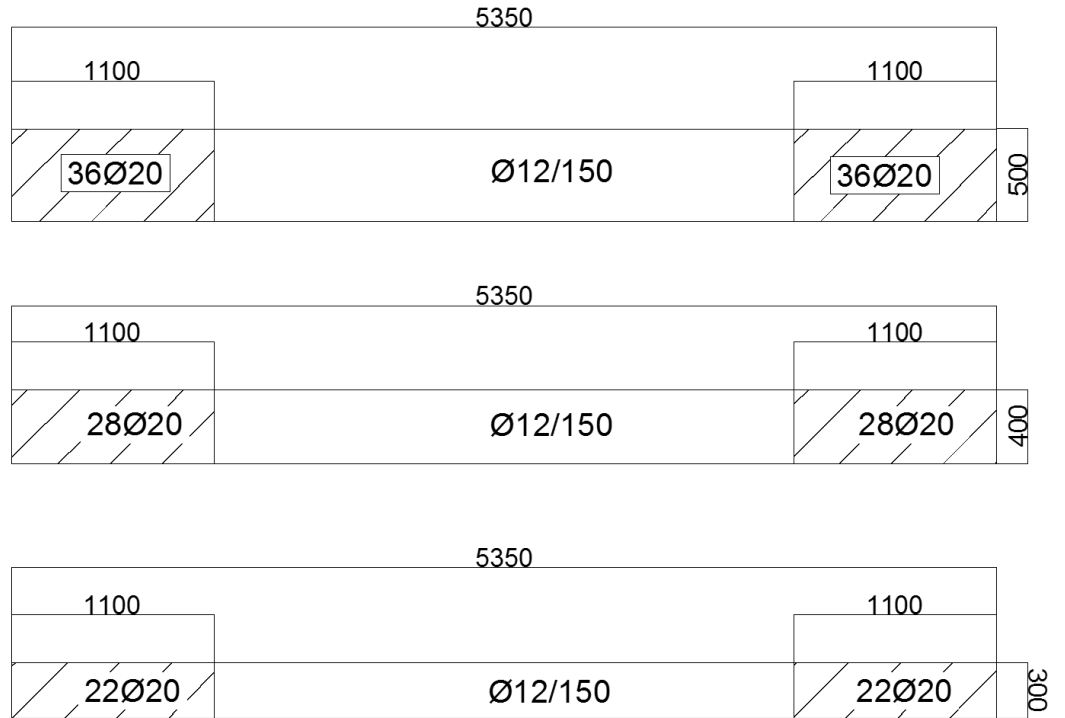
Örneklenen P2 perdesi için kesit boyutları 9 kat 50cm, 5 kat 40cm ve 8 kat için 30 cm olarak belirlenmiştir. Perde kalınlığı DBYYHY 2007 Bölüm 3.6.1.1' de belirtildiği şekilde $l_w/20$ ($3.15m/20=15.75cm$) ve 20cm' den küçük olmayacak şekilde seçilmiştir. DBYYHY Bölüm 3.6.2 ' de belirtildiği şekilde kritik perde yüksekliği belirlenmiştir. Kritik perde yüksekliği temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20' den daha fazla küçüldüğü seviyeden itibaren $2l_w$ değerini aşmamak şartı ile aşağıdaki şekilde belirlenmiştir [13].

$$H_{cr} \geq l_w = 5.35$$

$$H_{cr} \geq H_w / 6 = 69.3 / 6 = 11.55m$$

$$H_{cr} = 12m \cong (4 \text{ Kat})$$

P2 perdesi için her iki ucunda $H_w / l_w \geq 2$ ($69.30 / 5.35 = 12.95 \geq 2$) olmasından dolayı perde uç bölgeleri oluşturulmuştur. Yönetmelik gereği bu uç bölgeler kritik perde yüksekliği boyunca aynı boyutta devam ettirilmiştir. Şekil 5.59 ' de belirlenen uç bölgeler ve bu bölgelerdeki donatılar gösterilmiştir.



Şekil 5.59 : P2 Perdesi Uç Bölgeleri ve Donatıları.

- **Perde Gövde Donatısı**

P2 perdesi kritik perde yüksekliği için her iki yüzdeki perde gövde donatılarının toplam enkesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için, perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olmayacak şekilde yatay donatıları belirlenmiştir. Boyuna donatı aralığı 250mm' yi geçmeyecek şekilde $\phi 12/150$ olarak belirlenmiştir.

d=50cm için perde gövde donatısı;

$$\rho_{gövde} = \frac{A_{sgövde}}{b_w d} = \frac{42 \times 1.54}{(535 - 2 \times 110) \times 50} = 0.0041 > 0.0025$$

d=40cm için perde gövde donatısı;

$$\rho_{gövde} = \frac{A_{sgövde}}{b_w d} = \frac{42 \times 1.54}{(535 - 2 \times 110) \times 40} = 0.0051 > 0.0025$$

d=30cm için perde gövde donatısı;

$$\rho_{gövde} = \frac{A_{sgövde}}{b_w d} = \frac{42 \times 1.54}{(535 - 2 \times 110) \times 30} = 0.0068 > 0.0025$$

- **Perde Başlık Donatısı**

P2 perdesi kritik perde yüksekliğinde uç bölge düşey donatı toplam alanının perde brüt enkesit alanına oranı 0.002' den az olmayacak şekilde seçilmiştir. Bu oran kritik perde yüksekliği dışından %0.001' den az olmayacak şekildedir.

d=50cm için perde uç donatısı;

$$\rho_{uç} = \frac{A_{suç}}{b_w d} = \frac{36 \times 3.14}{535 \times 50} = 0.0042 > 0.0020$$

d=40cm için perde uç donatısı;

$$\rho_{uç} = \frac{A_{suç}}{b_w d} = \frac{28 \times 3.14}{535 \times 40} = 0.0041 > 0.0020$$

d=30cm için perde uç donatısı;

$$\rho_{uç} = \frac{A_{suç}}{b_w d} = \frac{22 \times 3.14}{535 \times 30} = 0.0043 > 0.0020$$

- **Perde Uç Bölgesi Yatay Donatısı**

Perde uç bölgelerinde, başlık bölgelerinin her birinde kritik perde yüksekliği boyunca sargı donatısı 100mm aralık ile $\phi 12$ donatı seçilmiştir. Bu donatı DBYYHY 2007 Madde 3.3.4.1 Denk.(3.1)'in ikinci koşulu ile belirlenen donatının en az 2/3' ünü sağlayacak şekilde seçilmiştir [13].

$$A_{sh} \geq 0.075 s b_k (f_{ck} / f_{ywk})$$

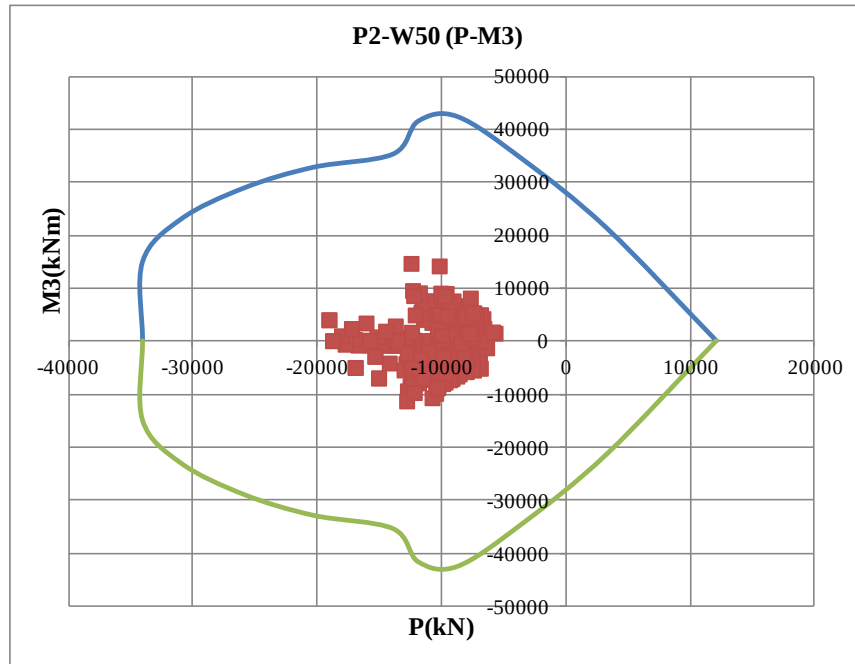
$$A_{sh} \geq 0.075 \times 100 \times 1040 (35 / 420) = 650 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} \geq 0.075 \times 100 \times 440 (35 / 420) = 275 \text{ mm}^2$$

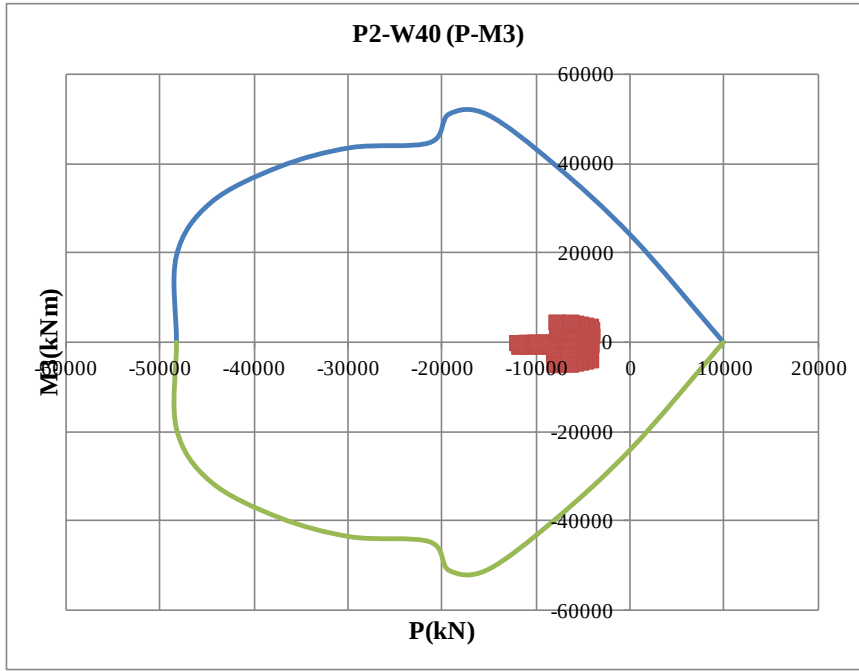
Seçilen Donatı; $\phi 12 / 150 = 753.6 \text{ mm}^2 > \text{Maks}(650 \text{ mm}^2, 275 \text{ mm}^2)$

- **Perde Eğilme Hesabı**

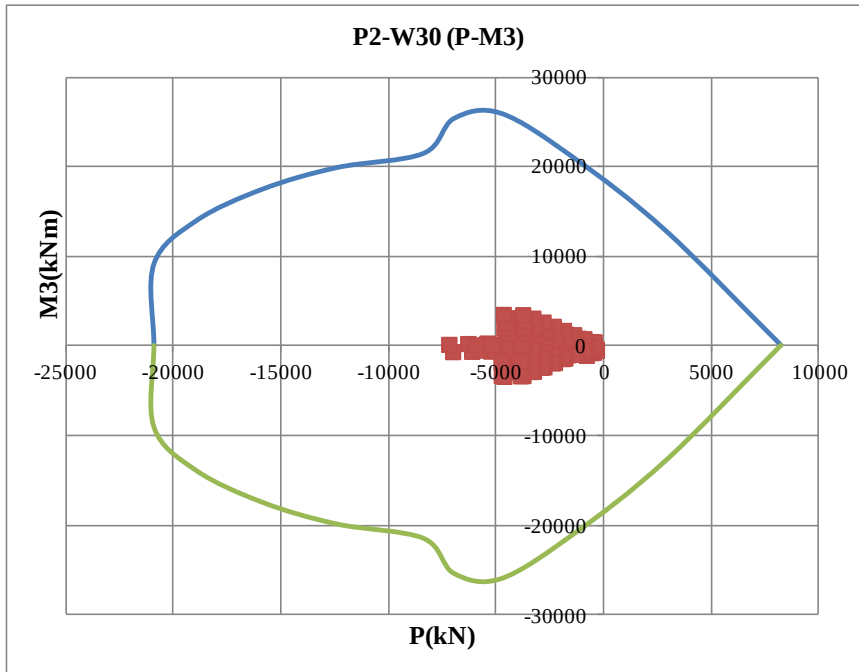
Perde eğilme hesapları ETABS programının perde dizayn modülü kullanılarak yapılmıştır. Ancak burada P2 perdesi için karşılıklı etki diyagramı oluşturulmuş ve ETABS programından alınan betonarme kombinasyonlar içinde elverişsiz değerler seçilerek bu karşılıklı etki diyagramı içinde kalıp kalmadığı kontrol edilmiştir. P2 perdesinin kuvvetli eksenini Y yönü olduğu için zayıf eksen içinde karşılıklı etki diyagramı oluşturulmamıştır. Şekil 5.60, Şekil 5.61 ve Şekil 5.62' de 30cm, 40cm ve 50cm kesitlerindeki P2 perdesi karşılıklı etki diyagramı ve elverişsiz iç kuvvetlerin durumu gösterilmiştir.



Şekil 5.60 : P2 Perdesi 50cm'lik Kesit için Karşılık Etki Diyagramı.



Şekil 5.61 : P2 Perdesi 40cm'lik Kesit için Karşılık Etki Diyagramı.



Şekil 5.62 : P2 Perdesi 30cm'lik Kesit için Karşılık Etki Diyagramı.

- **Perde Kesme Güvenliği Kontrolü**

Perde kesme güvenliği kontrolleri DBYYHY 2007 Bölüm 3.6.7' y e göre yapılmıştır. Hesaplarda kullanılan iç kuvvetler ETABS modelinden alınmıştır. P2 perdesi için kesme güvenliği kontrolleri aşağıda gösterilmiştir [13].

P2 Perdesi kesme kuvveti dayanımı V_r ;

$$V_r = A_{ch} (0.65f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd})$$

$d=30\text{cm}$ kalınlıklı kesit için;

Yatay gövde donatısı $\phi 12/100$

$$\rho_{sh} = A_{sh} / sb_k = (315 / 10) \times 1.1304 \times 2 / (30 \times (535 - 2 \times 110)) = 0.00753$$

$$V_r = 5.35 \times 0.3 (0.65 \times 1380 + 0.00753 \times 365000) = 5850.94 \text{ kN}$$

$d=40\text{cm}$ kalınlıklı kesit için;

Yatay gövde donatısı $\phi 14/100$

$$\rho_{sh} = A_{sh} / sb_k = (315 / 10) \times 1.5386 \times 2 / (40 \times (535 - 2 \times 110)) = 0.00769$$

$$V_r = 5.35 \times 0.4 (0.65 \times 1380 + 0.007693 \times 365000) = 7928.58 \text{ kN}$$

$d=50\text{cm}$ kalınlıklı kesit için;

Yatay gövde donatısı $\phi 16/100$

$$\rho_{sh} = A_{sh} / sb_k = (315 / 10) \times 2.0096 \times 2 / (50 \times (535 - 2 \times 110)) = 0.00803$$

$$V_r = 5.35 \times 0.5 (0.65 \times 1380 + 0.00803 \times 365000) = 10239.76 \text{ kN}$$

Yatay gövde donatısı hesabında kullanılacak tasarım kesme kuvveti V_e Denk.(3.16) ile hesaplanacaktır. Bu hesaplarda iç kuvvetler ETABS programından alınmıştır.

$$V_e = \beta_v \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} V_d$$

Burada ;

V_e ; Enine donatı hesabından esas alınan kesme kuvveti

B_v ; Perde kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı

$(M_p)_t$; Perdenin taban kesitinde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi 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

V_d ; Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti

DBYYHY 2007 Madde 3.6.6.3 ' e göre ;

$$B_v = 1.5 ,$$

$$(M_p)_t = 1.25(M_r)_t \text{ alınmıştır.}$$

$$(M_r)_t = 26744 \text{ kNm}$$

$$(M_p)_t = 1.25 \times 26744 = 33430 \text{ kNm}$$

$$(M_d)_t = 18133 \text{ kNm}$$

$$V_d = 3690 \text{ kN}$$

V_e , Enine donatı hesabından esas alınan kesme kuvvetinin hesaplanması;

$$V_e = 1.5 \times \frac{33430}{18133} \times 3690 = 10204.32 \text{ kN}$$

DBYYHY 2007 Madde 3.6.6.3' e göre hesaplanan V_e enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti Bölüm 2' de $R=2$ alınarak hesaplanan kesme kuvveti ile karşılaştırılmış ve küçük olan değer hesaplarda kullanılmıştır.

$$V_e = 16250.69 \text{ kN}$$

$$V_{R=2} = 3922.19 \text{ kN} < V_e = 16250.69 \text{ kN}$$

$R=2$ alınarak hesaplanan kesme kuvveti esas alınacaktır.

DBYYHY 2007 Bölüm 3.6.6.3' e göre V_e tasarım kesme kuvvetin aşağıda verilen koşulları sağladığı aşağıda gösterilmiştir.

$$V_e \leq V_r$$

$$V_e \leq 0.22 A_{ch} f_{cd}$$

$$V_e = 3922.19 \text{ kN} \leq V_r = 10239.76 \text{ kN}$$

$$V_e = 3922.19 \text{ kN} \leq 0.22 \times 0.5 \times 5.35 \times 23333 = 13731 \text{ kN}$$

P2 perdesi için d=40cm ve d=30cm kesitleri için kesme güvenliği kontrolleri Çizelge 5.17 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.17 : P2 Perdesi Kesme Güvenliği Kontrolü.

P2 Perdesi Kesme Güvenliği Kontrolü								
Kesit	V _r (kN)	(M _p) _t (kNm)	(M _r) _t (kNm)	(M _d) _t (kNm)	V _d (kN)	V _e (kN)	B _v	V _{r=2}
d=30cm	5850.94	9000	7200	6033	810	1812.531	1.5	1520
d=40cm	7928.58	19235	15388	11088	1844	4798.341	1.5	2410
d=50cm	10239.76	33430	26744	18133	3690	10204.33	1.5	3922

- Temel ile Perde Arasında Sürtünme Kesmesi Kontrolü**

DBYYHY 2007 Bölüm 3.6.7.2' de belirtildiği şekilde P2 perdesinin temele bağlantı düzeyinde ve üst katlarda yapılacak yatay inşaat derzlerindeki düşey donatı, o kesitte aktarılan kesme kuvveti gözönüne alınarak, TS500 Bölüm 8.1.7' de belirtildiği şekilde kesme sürtünmesi yöntemi ile kontrol edilmiştir [4,13].

$$V_r = A_{wf} f_{yd} \mu$$

Burada μ , kesme sürtünme katsayısıdır. Soğuk derzin bırakılacağı düzlemlerin pürüzlendirileceği düşünülerek Çizelge 5.18' de verilen değerlerden 0.6 olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.18 : Değişik Durumlar İçin Kesme-Sürtünme Katsayısı (TS500, 2000).

Birdöküm beton (monolitik)	$\mu=1.4$
Sertleşmiş beton ile yeni betonun birleştiği yüzeylerde pürüzlendirilmiş yüzey	$\mu=1.0$
(pürüz ≥ 5 mm) pürüzlendirilmemiş yüzey	$\mu=0.6$
Çelik profil ve betonun birleştiği yüzeylerde	$\mu=0.7$

$$V_r = A_{wf} f_{yd} \mu$$

$$V_r = 186.07 \times 36.5 \times 0.6 = 4075 \text{ kN}$$

$$V_e = 3922.19 \text{ kN} < V_r = 4075 \text{ kN}$$

Sürtünme kesmesi kontrolü P2 perdesi için sağlanmıştır.

5.2.2 Tasarım aşaması II

Örneklenen normal sınıf bir binanın D1 düzeyindeki deprem etkisinde Kesintisiz Kullanım performans hedefini belirlemek için DBYYHY 2007' e göre doğrusal analiz ile gerçelleme yapılmıştır. Deprem hesapları mod birleştirme yöntemi ile lineer üç boyutlu analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Beton ve donatı çeliği malzemelerinin dayanım parametresi olarak İYBDY' nde belirtildiği şekilde donatı çeliği ve betonun ortalama dayanımı alınmıştır. Göreli kat ötelemesi limiti İYBDY' de belirtildiği gibi %1' dir. Tasarım Aşaması II doğrusal bir analiz aşaması olduğu için deprem hesaplarında mod birleştirme yöntemi ile lineer üç boyutlu analiz yöntemi kullanılmıştır. DBYYHY 2007' de belirtildiği şekilde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, her iki deprem doğrultusunda, her mod için belirlenen etkin kütlelerin toplam kütlelerin %90' ından az olmayacak şekilde belirlenmiştir ve her iki deprem doğrultusu için de Çizelge A.11 ve Çizelge A.12' de sunulmuştur. Tasarım Aşaması II için yapısal kontroller aşağıda sıra ile örneklenmiş ve ek olarak son kısımda sunulmuştur. Tasarım Aşaması II, Tasarım Aşaması I-A ile malzeme ortalama dayanımı kullanılması ve R katsayısının 1.5 alınması dışında benzerdir. Bu nedenle bazı kontrol adımları Tasarım Aşaması I-A da elverişsiz sonuç verdiği için bu kısımda gösterilmemiştir [13,15].

Yapısal Düzensizliklerin İncelenmesi

DBYYHY 2007 belirtilen A ve B grubu yapısal düzensizlikler Tasarım Aşaması I-A ' da incelenmiş ve bu düzensizliklerin örneklenen yapıda bulunmadığı ilgili kısımda gösterilmiştir.

Deprem Parametrelerinin Belirlenmesi

DBYYHY 2007 Bölüm 2.5' te belirtildiği şekilde örneklenen yapının doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak için spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, deprem yükleri azaltma katsayısı R'ye bölünmüştür. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı İYYDY ' ne göre R=1.5 olarak seçilmiştir [15].

İYYDY 'nde Tasarım Aşaması II için belirtilen D1 deprem düzeyi için spektrum köşe period değerleri, uzun period bölgesine geçiş periodu ve X ve Y yönleri için etkin modlar aşağıda gösterilmiştir [15].

$$T_s = S_{m1}/S_{ms} = 0.37 \text{ sn}$$

$$T_o=0.2 \times T_s = 0.07 \text{ sn}$$

$$T_L=12 \text{ sn}$$

$$T_x=2.67 \text{ sn}$$

$$T_y=2.31 \text{ sn}$$

Elastik spektral ivme değeri $S_{ae}(T)$, X ve Y yönleri için aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T} \quad (T_s \leq T \leq T_L)$$

$$\text{X yönü için, } T_x=2.67 \text{ sn} \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T} = \frac{0.62}{2.67} = 0.223$$

$$\text{Y yönü için, } T_x=2.31 \text{ sn} \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T} = \frac{0.62}{2.31} = 0.268$$

İYYDY' ne minimum taban kesme kuvveti aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$V_{t,min} = 0.04 S_{ms} (D2) W = 0.04 \times 0.62 \times W = 0.0248 W$$

ETABS hesap modelinde kullanılan parametreler aşağıda gösterilmiştir.

$$C_{min}=0.0248$$

$$C_{min}=0.0248$$

X ve Y doğrultusu spektrum büyütme katsayısı, İYYDY' nde belirlenen minimum taban kesme kuvveti ile spektral analiz sonucu hesaplanan taban kesme kuvvetinin karşılaştırılması ile elde edilir. İYYDY ' ne göre mod birleştirme yöntemi ile bulunan taban kesme kuvveti, minimum taban kesme kuvveti arasında altsınır bulunmaktadır. Örneklenen binada A1, B2 ve B3 düzensizliklerinin hiçbirinin bulunmaması nedeniyle bu altsınır $\beta=0.8$ alınmıştır. Spektrum büyütme katsayısı $g_x I/R$ seçilerek spektral analiz ve minimum taban kesme kuvveti için sınır değeri veren C_{min} değeri girilmesi ile Etabs programında elde edilen taban kesme kuvveti değerleri aşağıda gösterilmiştir [15].

$$E_x=4370 \text{ kN}$$

$$E_y=4370 \text{ kN}$$

$$Spec_x=13028 \text{ kN}$$

Specy=16577 kN

Minimum taban kesme kuvveti ile bulunan taban kesme kuvveti değeri ile modal analiz sonucu bulunan taban kesme kuvveti değeri kıyaslama hesabı aşağıda gösterilmiştir.

X doğrultusu için,

Modal analiz sonucu çıkan deprem kuvveti daha büyük olduğu için modal analiz sonucu esas alınır

Spektrum büyütme katsayısı , $9.81 \times 1 / 1.5 = 6.54$

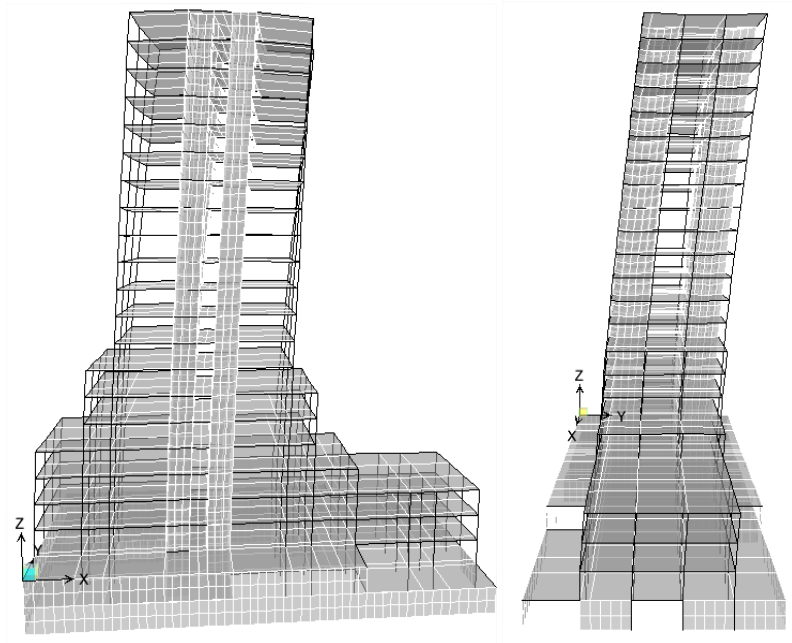
Y doğrultusu için,

Modal analiz sonucu çıkan deprem kuvveti daha büyük olduğu için modal analiz sonucu esas alınır

Spektrum büyütme katsayısı , $9.81 \times 1 / 1.5 = 6.54$

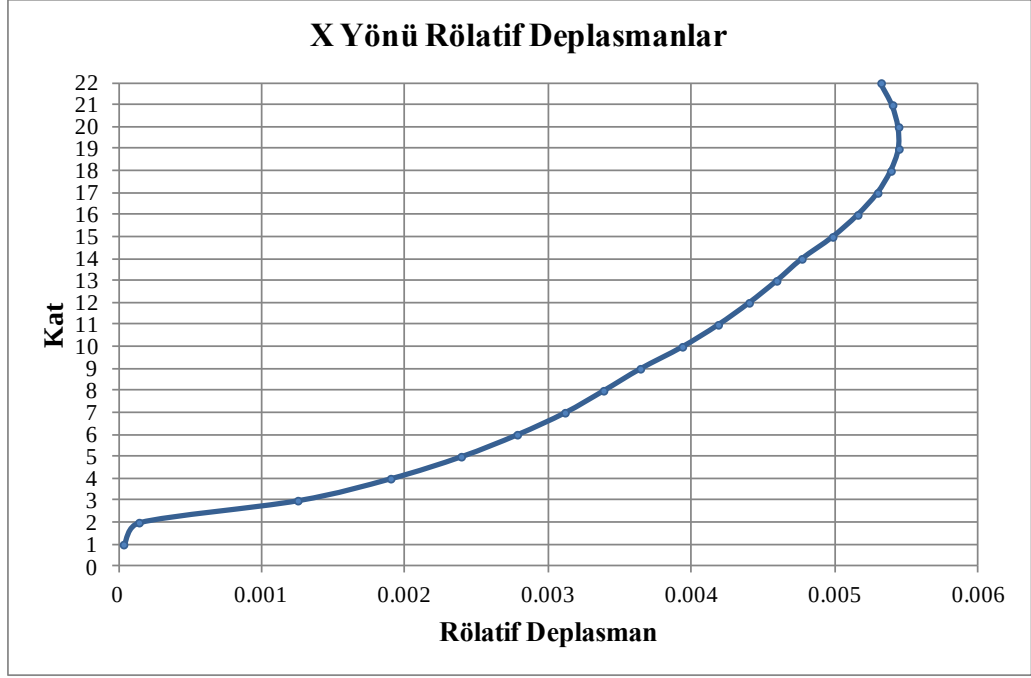
Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü

İYYDY ' ne göre herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkı olarak tanımlanan *Görelî Kat Ötelemesinin* kat içindeki en büyük değeri (Δ_{imax}) değeri $\Delta_{imax} / h_i \leq 0.02 / R$ koşulunu sağlamalıdır [15].

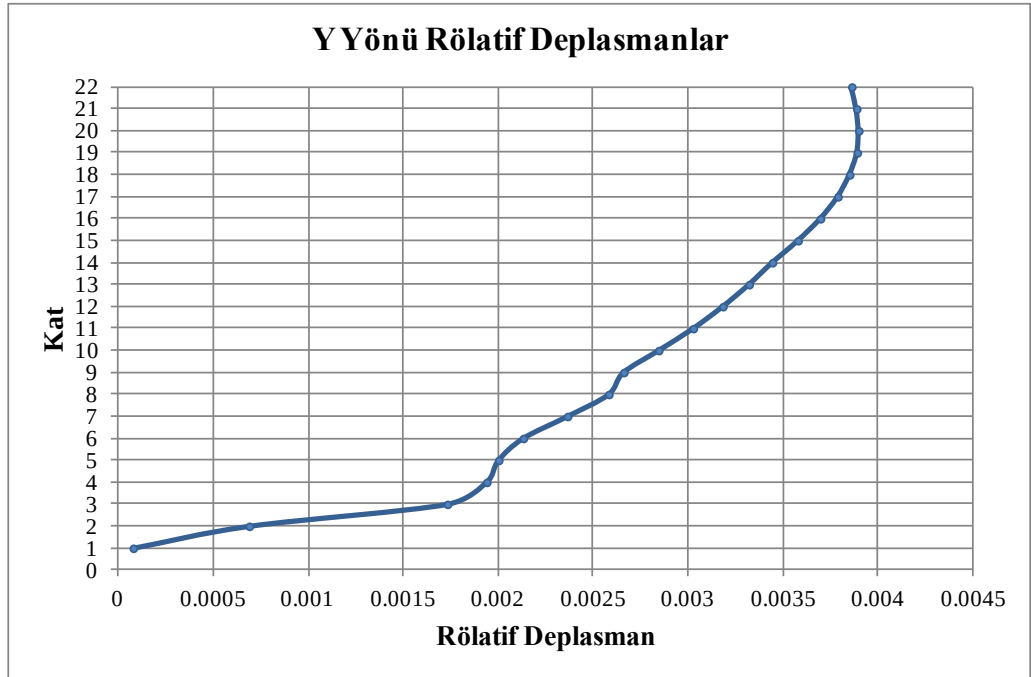


Şekil 5.63 : X ve Y Doğrultusunda Şekil Değiştirmiş Sistem .

X ve Y yönleri için rölatif kat ötelemeleri grafik olarak Şekil 5.64 ve Şekil 5.65' de sunulmuştur. Ek A Çizelge A.13 ve Çizelge A.14' de görüldüğü üzere hiçbir katta görelî kat ötelemeleri hesaplanan oranı aşmamıştır. Buna göre sistemde her iki yönde görelî kat ötelemeleri kontrolü sağlanmıştır. Şekil değiştirmiş sistem şekli Şekil 5.48' da gözükmemektedir.



Şekil 5.64 : X Doğrultusu Rölatif Deplasmanlar.



Şekil 5.65 : Y Doğrultusu Rölatif Deplasmanlar.

Betonarme Tasarım

Kolon, kiriş ve perde kesitlerinin betonarme tasarımları Etabs modelinden elde edilen elverişsiz kesit tesirleri kullanılarak yapılmıştır. Tasarım II' de düşey iç kuvvetler Tasarım I-A' ya göre benzerdir. Ancak deprem yüklerinin artması nedeniyle örnek kiriş için hesaplar bu aşama için de tekrarlanacaktır. Taşıyıcı eleman hesaplarında DBYYHY 2007 esasları kullanılmıştır. Her bir taşıyıcı için seçilen bir eleman örneklenmiştir [13].

Kiriş Betonarme Tasarım Hesapları

Tasarım I-A aşamasında örneklenen B53 kirişi ,Tasarım II aşaması için de örneklenmiştir.Eksenel yüklerden oluşan iç kuvvetlerde değişme olmamasına rağmen deprem kuvvetlerinden oluşan kiriş kesme kuvvetlerinde artış olmuştur. Tasarım II' de beton ve donatı dayanımları ortalama dayanım alınmasından dolayı hesapları olumlu yönde etkilemiştir.

Örneklenen B53 kirişi için kesit özellikleri aşağıda gösterilmiştir.Hesaplarda kullanılacak kesit tesiri Etabs modelinden alınmıştır.Aşağıda gösterilmektedir.

$$b_w = 30\text{cm}$$

$$d = 60\text{cm}$$

$$l = 5.10\text{m}$$

$$M_d = 122\text{kNm}$$

$$M_{d\text{sol}} = 75\text{kNm}$$

$$M_{d\text{sağ}} = 68\text{kNm}$$

• Kiriş Açıklık Donatısı Hesabı

Tasarım II için kiriş açıklık donatısı hesabı aşağıda özetlenmiştir. Beton ve donatı çeliği için ortalama dayanım alınmıştır.

$$A_s = 3.64\text{cm}^2 \text{ Gerekli Donatı Alanı}$$

$$\text{Seçilen Donatı } 4\phi 20 = 12.56\text{cm}^2 > A_{s\text{min}} , A_s$$

• Kiriş Mesnet Donatısı Hesabı ;

Tasarım II aşamasında mesnet donatısı hesabı aşağıda özetlenmiştir.

$$b_w = 30\text{cm}$$

$$d = 60\text{cm}$$

$$l = 5.10\text{m}$$

$$M_d = 122\text{kNm}$$

$$M_{dsol} = 75\text{kNm}$$

$$M_{dsağ} = 68\text{kNm}$$

Sol Mesnet;

$$A_s = 7.13\text{cm}^2 \text{ Gerekli Donatı Alanı}$$

$$\text{Seçilen Donatı } 4\phi 20 = 12.56\text{cm}^2 > A_{smin}, A_s$$

Sağ Mesnet;

$$A_s = 8.75\text{cm}^2 \text{ Gerekli Donatı Alanı}$$

$$\text{Seçilen Donatı } 4\phi 20 = 12.56\text{cm}^2 > A_{smin}, A_s$$

- **Kiriş Kesme Güvenliğı Kontrolü ;**

Örneklenen B53 kiriş için malzeme ortalama dayanımları alınarak kiriş kesme güvenliğı kontrol edilmiştir.Örneklenen kiriş için kullanılan etriye $\phi 10/100'$ dür. Tasarım II için deprem kuvvetlerinden oluşan ilave kesme kuvvetleri oluşmasına rağmen B53 kiriş uç bölgelerde ve sarılma bölgesi dışında kesme güvenliğini sağlanmaktadır.

Kolonların Betonarme Tasarım Hesapları

Tasarım Aşaması I-A için yapılan örnek kolon C16 Tasarım II Aşaması'nda malzeme dayanımları ortalama dayanım alınarak ve D1 depremi kullanılarak tekrar yapılmıştır.

- **Eksenel Yük Kontrolü;**

C16 kolonu için elverişsiz yükleme arttırılmış dizayn kombinasyonlarında olmaktadır. C16 kolonu için Tasarım I-A aşamasında yapılan kontroller bu aşama için de geçerlidir. C16 kolonu eksenel yük altında yönetmelik sınırları içinde kalmaktadır.

- **Eğilme Hesabı**

C16 kolonu için kapasite eğrileri Tasarım Aşaması 2 için oluşturulmuştur. Burada malzeme dayanımları ortalama dayanım alınmıştır. ETABS modelinden alınan iç kuvvetler bu kapasite eğrileri içinde kalmaktadır.

- **Sargı Donatısı Hesabı;**

Sargı donatısı kontrolleri DBYYHY 2007 Bölüm 3.3.4.1' e göre yapılmıştır.X yönü için seçilen Seçilen Donatı $\phi 12/100$, 3 kol ve Seçilen Donatı $\phi 12/100$, 9 kolun yeterli olduğu kontrol edilmiştir.

- **Kesme Güvenliği Kontrolü;**

Kolon kesme güvenliği kontrolleri DBYYHY 2007 Bölüm 3.3.7.5 ve Bölüm 3.3.7.6 'da belirtildiği şekilde yapılmıştır. Betonun kesme kuvvetine katkısı V_c 'nin hesabı TS500' e göre yapılacaktır. Ancak DBYYHY 2007 Bölüm 3.3.4.1'de tanımlanan kolon sarılma bölgesi enine donatı hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan

kesme kuvvetinin depremlili durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması ve $N_d \leq 0.05A_c$ fck koşulunun sağlanması halinde betonun kesme güvenliğine katkısı alınmamıştır. Tasarım II Aşaması' da toplam kesme kuvveti değerleri ETABS modelinden elverişsiz olacak şekilde seçilmiş ve her iki yön için de kolon kesme kuvveti kapasitesi ile karşılaştırılmıştır.Kesme kuvveti kapasitesi yeterli olduğu görülmüştü [13].

Perdelerin Betonarme Tasarım Hesapları

Tasarım Aşaması I-A için örneklenen P2 perdesi için Tasarım Aşaması II için de kontroller yapılmıştır. P2 perdesine ait boyut kontrolleri ilk bölümde yapılmıştır. Diğer kontrol adımları P2 perdesi için aşağıda özetlenmiştir.

- **Perde Gövde Donatısı**

Tasarım II Aşaması için perde gövde donatı kontrolü ilk bölümde seçilen donatı $\phi 12/150$ kullanılarak tekrar yapılmıştır. Perde gövde yatay donatısının yeterli olduğu görülmüştür.

- **Perde Uç Bölgesi Yatay Donatısı**

Tasarım Aşaması I-A ' da örneklenen P2 perdesi için uç bölgelerinde, başlık bölgelerinin her birinde kritik perde yüksekliği boyunca sargı donatısı 100mm aralık ile $\phi 12$ donatı seçilmiştir. Bu donatılar için Tasarım II Aşaması için de perde uç bölgesi yatay donatısı için yeterli olduğu görülmüştür.

- **Perde Eğilme Hesabı**

Tasarım II Aşaması'nda perde eğilme hesapları ETABS programının perde dizayn modülü kullanılarak yapılmıştır. Tasarım I-A Aşaması'nda yapıldığı gibi P2 perdesi için karşılıklı etki diyagramı oluşturulmuş ve ETABS programından alınan betonarme kombinasyonlar içinde elverişsiz değerler seçilerek bu karşılıklı etki diyagramı içinde kalıp kalmadığı kontrol edilmiştir. Programdan okunan iç kuvvetlerin karşılıklı etki diyagramı içinde kaldığı belirlenmiştir.

- **Perde Kesme Güvenliği Kontrolü**

Tasarım Aşaması II için D1 depremi etkisinde P2 perdesinin kesme güvenliği kontrolleri DBYYHY 2007 Bölüm 3.6.7' y e göre yapılmıştır. Hesaplarda kullanılan iç kuvvetler ETABS modelinden alınmıştır. P2 perdesi bu tasarım aşamasında kesme güvenliğini sağladığı belirlenmiştir [13,15].

5.2.3 Tasarım aşaması III

Tasarım Aşaması I-A'da örneklenen yapının D2 depremi etkisinde ön tasarımı - boyutlama- yapılmış ve Tasarım Aşaması II' de D1 depremi etkisinde bu tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarım Aşaması III ' de ise örneklenen yapının D3 depremi etkisinde İleri Hasar Hedef Performansı için doğrusal olmayan analiz ile gerçekleştirilmiştir. Deprem hesapları doğrusal olmayan zaman tanım alanında nonlineer üç boyutlu analiz ile yapılmıştır. Yedi farklı deprem kaydı iki farklı yönüyle birlikte toplamda 14 adet kayıt kullanılmıştır. Deprem kayıtları sonuçları için Perform 3D programında ortalama değerler olarak hesaplanmış ve bu değerler kullanılarak yapı performansı belirlenmiştir. Hesaplar sonucu elde edilen plastik dönme değerleri eğrilik olarak ifade edilmiştir. Toplam eğrilik plastik dönme değerlerinin eğrilığe dönüştürülmesi ile bulunan değer ile akma eğriliklerinin toplanması ile elde edilir. Hesaplar sonucu elde edilen eğriliklere karşı gelen donatı ve betondaki şekil değiştirmeler yönetmelikler çerçevesinde incelenmiştir. Beton ve donatı çeliği malzemelerinin dayanım parametresi olarak İYBDY' nde belirtildiği şekilde ortalama "expected strenght" dayanımı alınmıştır. Göreli kat ötelemesi limiti DBYYHY 2007' de belirtildiği gibi %3.5' dur [13,15].

Modelleme Parametreleri

Tasarım III için sayısal modelleme Perform 3D programında yapılmıştır. Modellemede kullanılan parametreler ve kabuller aşağıda özetlenmiştir.

Malzeme Özellikleri

İYBDY'nde belirtildiği gibi beton ve donatı çeliği için ortalama-expected dayanım kullanılmıştır. Ortalama dayanım ile karakteristik dayanım arasında aşağıdaki ilişkiler kullanılmıştır [15].

Beton için , C35 ($f_{ck}=35\text{MPa}$) Karakteristik Dayanım

$$f_{ce}=1.3 f_{ck} , f_{ce}=35 \times 1.3=45.5\text{MPa}$$

Donatı için , S420 ($f_{yk}=420\text{MPa}$) Karakteristik Dayanım

$$f_{ye}=1.17 f_{yk} , f_{ye}=420 \times 1.17=491.4\text{MPa}$$

Eleman Kesit Rijitlikleri

Eleman kesit rijitlikleri için İYBDY'nde belirtildiği gibi moment eğrilik eğrisinden elde edilen etkin rijitlik değerlerin kullanılmıştır. Aşağıdaki bağıntı kullanılarak çatlamış kesit rijitlikleri elde edilmiştir [15].

$$(EI)_c = \frac{M_y}{\Phi'_y} = \frac{M_N}{\Phi_y}$$

Elemanların Modellenmesi

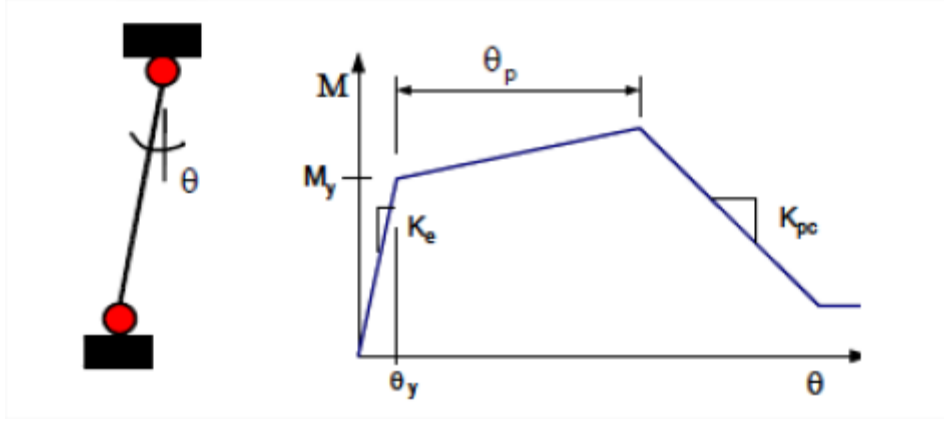
-Kirişlerin Modellenmesi; Tasarım I ve Tasarım II' de kirişlerin kesme eğilme donatıları belirlenmesinden sonra kirişler için SAP2000 programında Section Designer modülü kullanılarak modellenmiştir. Moment eğrilik diyagramından beton ve donatı için birim uzama ve birim kısalma değerleri okunmuş, limit değere ulaşıldığı değer toplam eğrilik olarak not edilmiştir. Bu değerden akma eğriliği çıkartılarak plastik eğrilik elde edilmiştir. Plastik eğrilik ile plastik mafsallık boyu çarpılarak beton için birim kısalma donatı için birim uzamasına karşı gelen kesit hasar sınırı için plastik dönmeler elde edilmiştir.

-Kolonların Modellenmesi; Kolonlar SAP2000 programı kullanılarak yayılı plastisite yaklaşımı çerçevesinde fiber elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Fiber elemanlar zaman tanım alanında yapılan analizlerde moment-eğrilik eğrisini takip ettiğinden bu elemanlara çatlamış kesit rijitliği atamaya gerek yoktur.

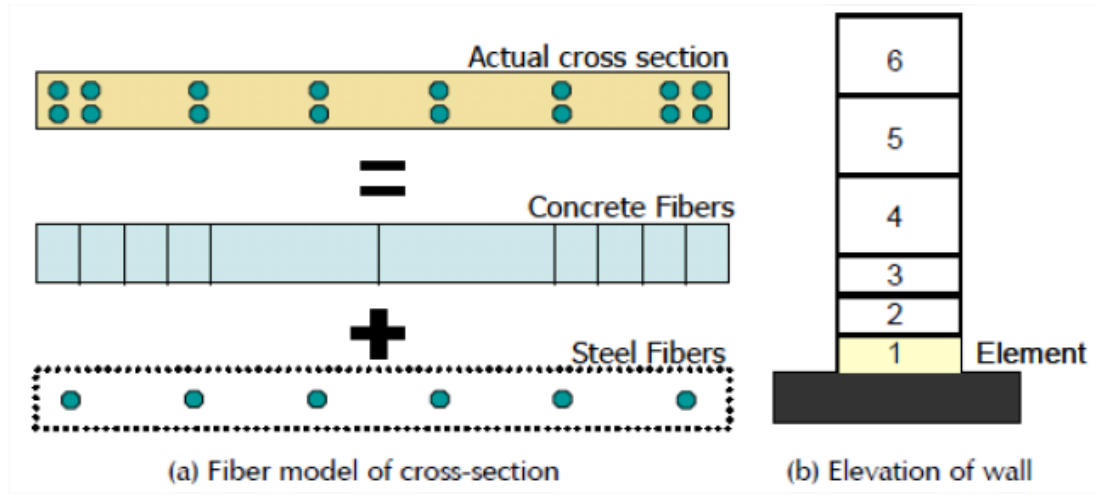
-Perdelerin Modellenmesi; Perdeler yayılı plastisite yaklaşımı çerçevesinde fiber elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Fiber elemanlar zaman tanım alanında yapılan analizlerde moment-eğrilik eğrisini takip ettiğinden bu elemanlara çatlamış kesit rijitliği atamaya gerek yoktur. Fiber perde modellerinde normal kuvvet ile iki eksenli eğilme etkisi altında inelastik davranış gözlemlenebilir, yükleme etkisindeki her bir fiber bölümün birbirinden bağımsız olarak davranması nedeniyle, daha detaylı hesaplama ve kontroller yapılabilir ve kesme kuvveti ve kayma şekil değiştirme etkileri daha detaylı bir şekilde incelenebilir.

-Fiber Elemanlar,

Toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerin plastik mafsalları verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, plastik mafsalları (plastik kesit) hipotezi adı verilir. Yığılı plastik mafsalları modeli basit yapısından dolayı en çok kullanılan plastik mafsalları modelidir. Yığılı plastik mafsalları genel olarak çubuk elemanların iki ucuna yerleştirilir ve bu iki mafsalları elemanın arasında doğrusal bir davranış modellenir. En yaygın kullanılan yığılı plastik mafsalları elemanı tek parçalı eğilme mafsalları modelidir. Bu tür mafsalları M3 veya M2 mafsalları olarak tanımlıdır. Aynı şekilde eksenel kuvvet ile eğilme momenti arasındaki ilişki de akma-yüzeyleri tanımlanarak modellenenebilir. Bu tür mafsalları PMM ve PM mafsalları olarak tanımlıdır. Fiber eleman modeli yaygın plastik mafsalları modelleri içinde ki en yaygın kullanılan doğrusal olmayan davranış modelidir. Bu modelde yapısal eleman kesitleri beton ve çelik fiberlerine bölünür. Betonarme davranışı beton ve çelik elemanların tek eksenli deformasyonu üzerinden tanımlandığı için fiber eleman modeli beton ve donatının stres-birim deformasyonu ilişkisi kullanılarak tarif edilir. Fiber modeli yığılı plastik mafsalları modeline göre çok daha gelişmiş olsa da kiriş ve kolonlarda kullanımı analiz için gerekli zaman düşünüldüğünde çok pratik değildir. Ancak düzgün ve düzgün olmayan (U veya L) perde duvarların modellenmesinde çok etkili olduğundan tercih edilmektedir. Ayrıca bu elemanlarda TDY 2007'e uygun olarak eleman bazında değerlendirme için beton ve çelik malzemelerin birim deformasyonları ifade edilebilir.



Şekil 5.66 : Yığılı Plastik Modeli ve Tipik Moment-Dönme İlişkisi (ATC 72, 2010, s. 4-2).



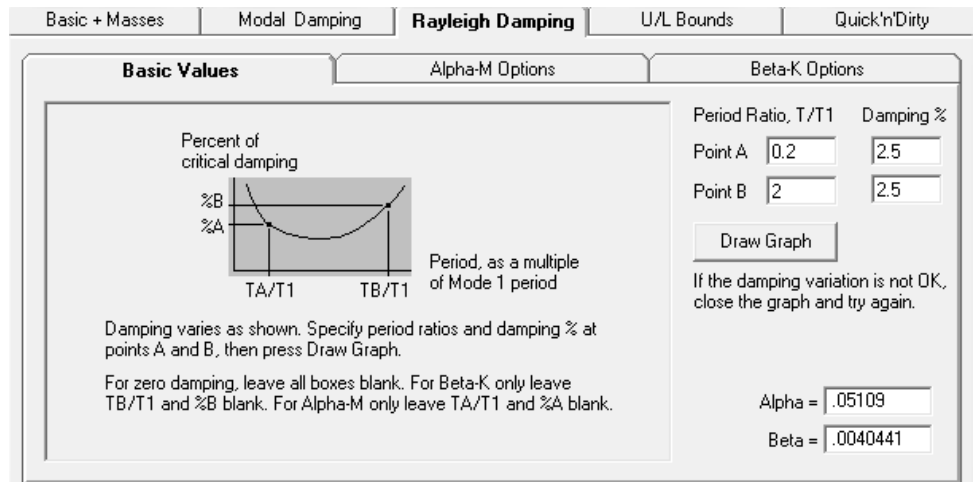
Şekil 5.67 : Betonarme Perde Duvarların Fiber Modelleri (ATC 72, 2010, s. 4-2).

Modelleme aşamasında Tasarım I ve Tasarım II sonucu elde edilen donatı alanları kesit üzerinde belirlenmiştir. Perde eleman eşit parçalara bölünmüştür. Herbirinin ağırlık merkezine donatı alanlarının toplandığı varsayılmıştır. Fiber elemanlarda, kesitteki her bir fiber elemanının gerilme-şekil değiştirme ilişkisi tek doğrultuda alınarak ζ - ϵ ile tanımlanmaktadır. Kesitteki her bir lif elemanın her adımdaki gerilme-şekil değiştirme ilişkisinden gerilmeler ve şekil değiştirmeler toplanıp plastik mafsallık boyuyla çarpılarak kesitin eksenel kuvvet-ksenel deformasyon ve moment-dönme ilişkileri elde edilmektedir. Perde elemanın düzlem içi davranışı düzlem dışı davranışa oranla daha önemlidir. Düzlem içi davranışta eğilme momenti ve kesme kuvveti etkileri inelastik, düzlem dışından elastik olarak tanımlanabilmektedir. Eksenel ve kayma şekil değiştirmeleri eleman boyunca sabittir, eğilme momenti-eğrilik ilişkisi ise eleman boyunca doğrusal olarak değişmektedir. Her elemanın düşey eksenini tanımlanan kesit özelliklerine bağlı olarak kesitin tam ortasından geçmektedir. Shear Wall Element

düğüm noktalarının kendi düzlemleri içinde dönme rijitliklerinin bulunmaması nedeniyle eğilme momentleri perde ve kirişlerin birleştiği düğüm noktalarından aktarılmazlar. Bu sorunun önüne geçebilmek amacıyla yardımcı elemanlar kullanılmıştır. Burada önemli olan nokta yardımcı elemanın rijitliklerinin ne seçileceğidir. Eğer yardımcı elemanın rijitliği çok yüksek seçilirse kiriş düğüm noktalarına gereğinden fazla rijit bağlanmış olur ve taşıyıcı sistem rijitliği önemli ölçüde büyür. Bu durum sayısal analiz sonuçlarının yanlış yorumlanmasına sebep olabilir. Bunun için programda ayrıca eğilme momenti aktaran perde kiriş birleşimlerinin modellenmesinde Imbedded Beam denilen moment aktarmada etkileşimi sağlayan elemanlar kullanılmış ve etkin rijitlikleri perdeye bağlanan kirişlerin yaklaşık on katı seçilip ağırlıkları ihmal edilmiştir [19,20].

-Sönüm Modelleme (Rayleigh);

Tasarım III' de yapının tasarımında *Rayleigh Damping-Sönüm eğrisi* kullanılmıştır. Yapı için Rayleigh sönüm eğrisinde , yapısal elemanların rijitlikleri ile orantılı kısmı T/T_1 değeri 0.2 olarak belirlenmiştir. Periyod değeri bu değerden küçük olduğunda sönüm artmakta büyüdükçe azalmaktadır. Yapının kütlesi ile ilgili kısmında T/T_1 değeri 2 olarak belirlenmiştir. Sönüm değeri periyod değeri arttıkça artmaktadır. Periyot değeri 0.2-2 değerleri arasında kaldığında sönüm sabit ve %2.5'tir. Bununla ilgili eğri Şekil 5.68 ' da gösterilmiştir [19,20].



Şekil 5.68 : Rayleigh Sönüm Eğrisi.

-Enerji Diyagramları;

Yapı analizlerinde, yapıların deprem kuvvetlerine karşı verdiği tepki yapının sönümleyebildiği deprem kuvveti-enerjisi ile ölçülmektedir. Genellikle linear davranış gösteren yapılarda enerji sönümleme sönüm- viscous damping ile olmaktadır. Nonlinear davranış gösteren yapılarda deprem enerjisi sönümü viscous damping dışında buna ek yapıda elastik olmayan akma, sürtünme gibi etkilerden de oluşmaktadır. Sönümlenen bu enerji oluşumuna göre dinamik ve statik olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır [19].

- **Dinamik Analiz** sonucu ortaya çıkan enerji çeşitleri aşağıda verilmiştir.

- Kütlenin kinetik enerjisi
- Yapısal elemanlar korunur iç enerji
- Yapısal elemanlar korunamayan inelastik sönümlenen enerji
- aM sönümü ile sönümlenen viscous enerji
- Yapısal elemanlardaki bK sönümü ile sönümlenen viscous enerji
- Modal sönüm ile sönümlenen viskos enerji
- Fluid sönüm elemanları ile sönümlenen viskos enerji

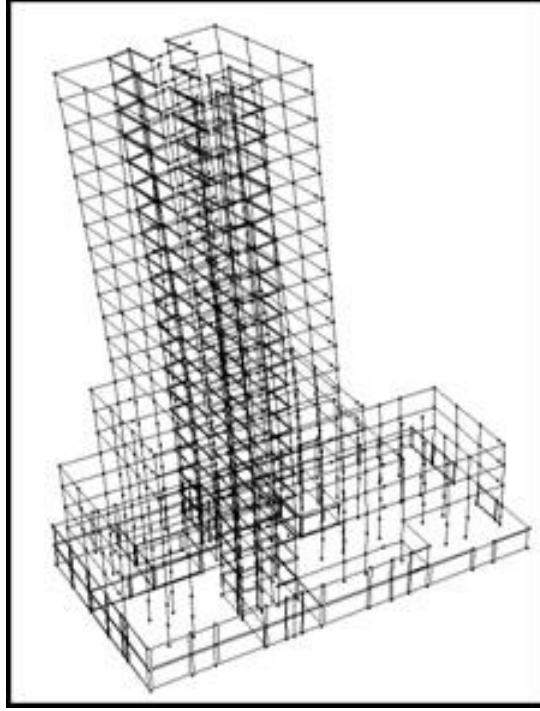
- **Statik Analiz** sonucu ortaya çıkan enerji çeşitleri aşağıda verilmiştir.

- Elemanlarda sönümlenen inelastik enerji, elemanlarda oluşan gerilmeden kaynaklanan enerji

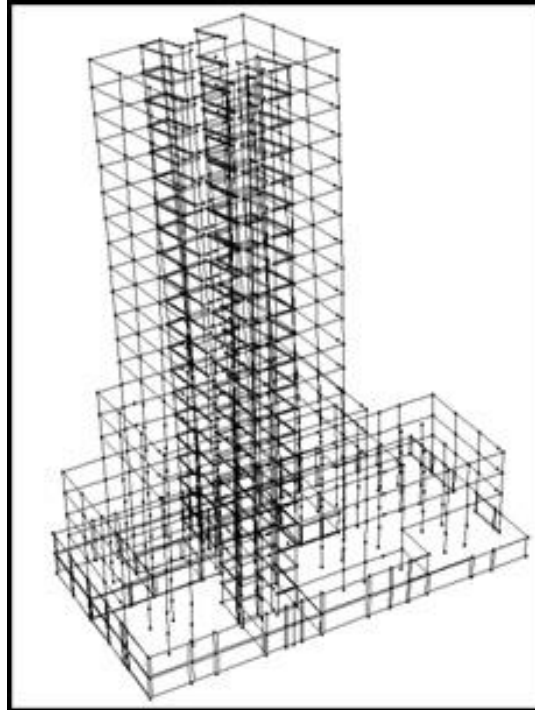
Analiz Sonuçları

- **Analiz Sonucu Mod Şekilleri;**

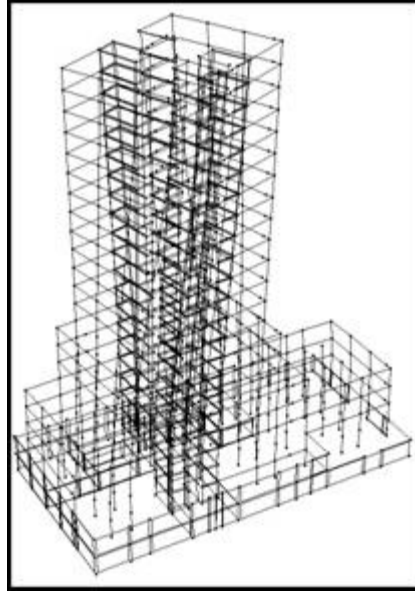
Mod şekilleri Perform 3D programından alınmıştır. İlk üç mod şekli Şekil 5.69, 5.70 ve 5.71' de gösterilmiştir.



Şekil 5.69 : Mod Şekli - I $T=2.795\text{sn.}$



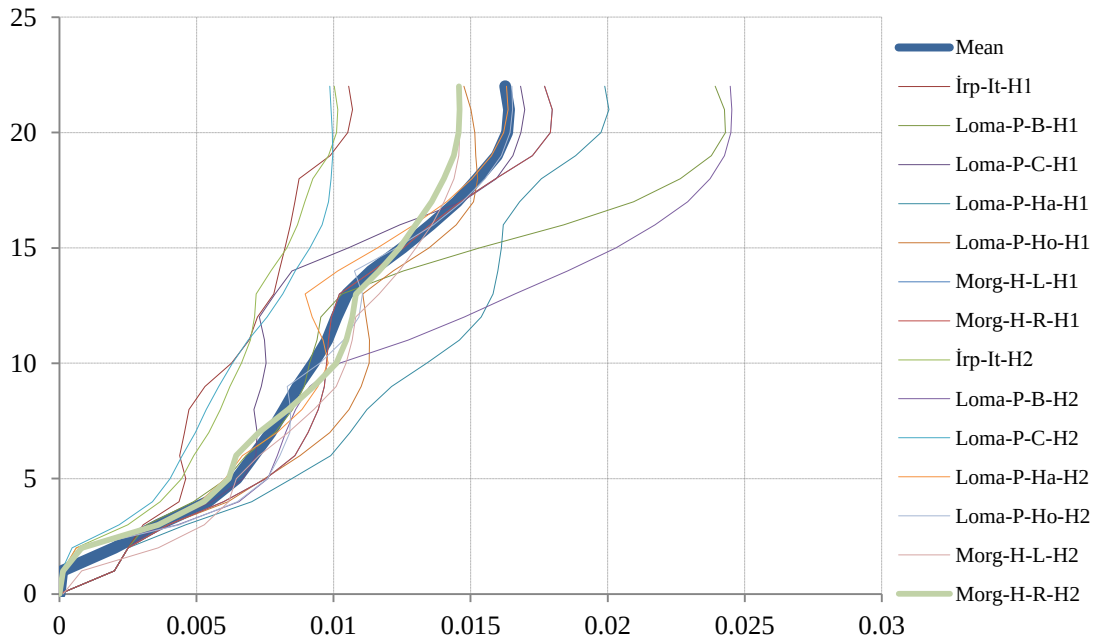
Şekil 5.70 : Mod Şekli - II $T=2.116\text{sn.}$



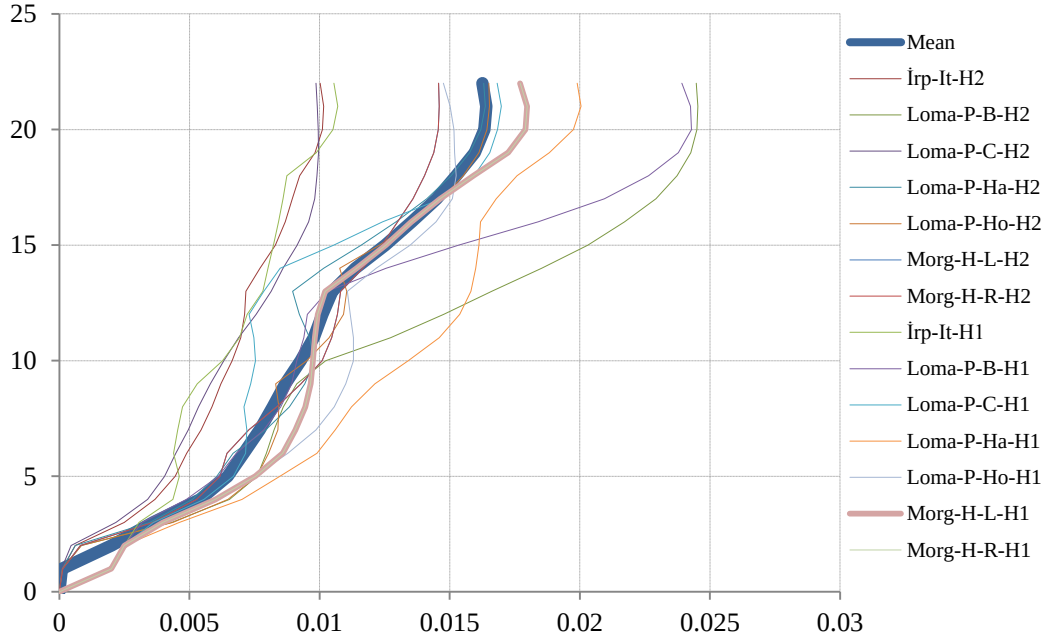
Şekil 5.71 : Mod Şekli -III T=1.85sn.

- **Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü**

Örneklenen yapı için X ve Y yönlerindeki tüm katlardaki görelî kat ötelemeleri toplam 7x2 deprem kaydı kullanılarak yapılan analizden elde edilen maksimum değerler Şekil 5.72 ve Şekil 5.73' de gösterilmiştir. Görelî kat ötelemeleri 7x2 depremin ortalaması şeklinde belirlenmiş ve İYBDY-2008 Madde 4.3.2.2 de öngörülen 0.035 sınır değerinin altında görelî kat ötelemeleri görülmüştür. Buna göre yapı görelî kat ötelemesi oranı koşulunu sağlamaktadır.



Şekil 5.72 : Görelî Kat Ötelemesi-X Yönü.

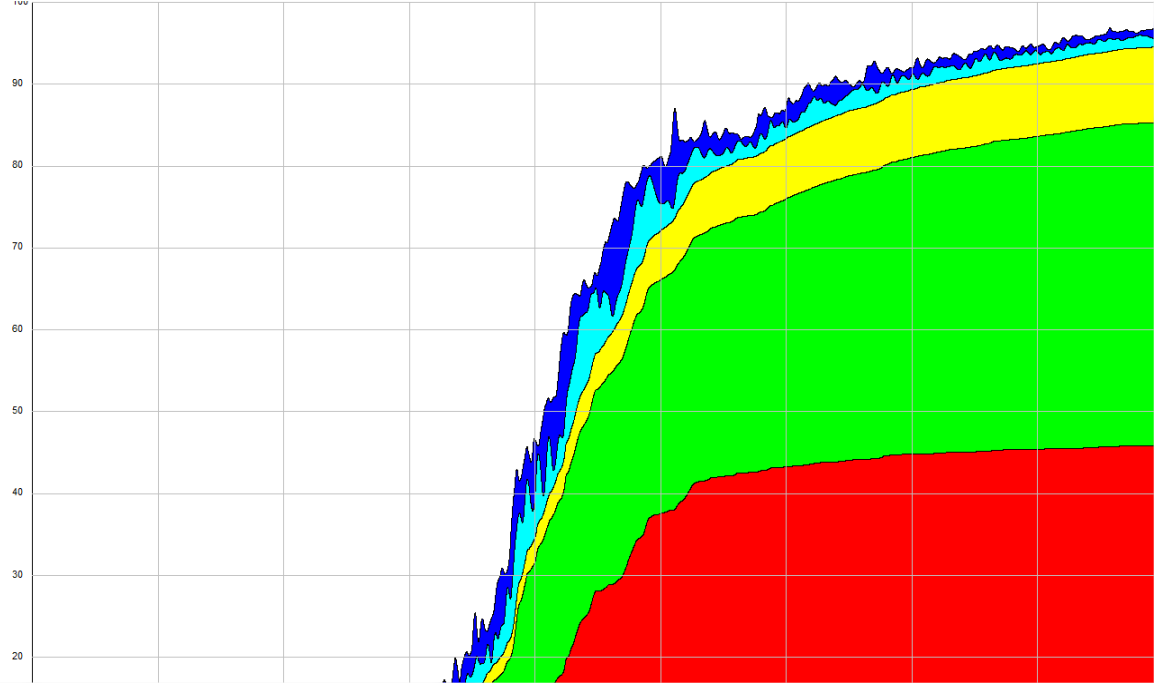


Şekil 5.73 : Görelî Kat Ötelemesi-Y Yönü.

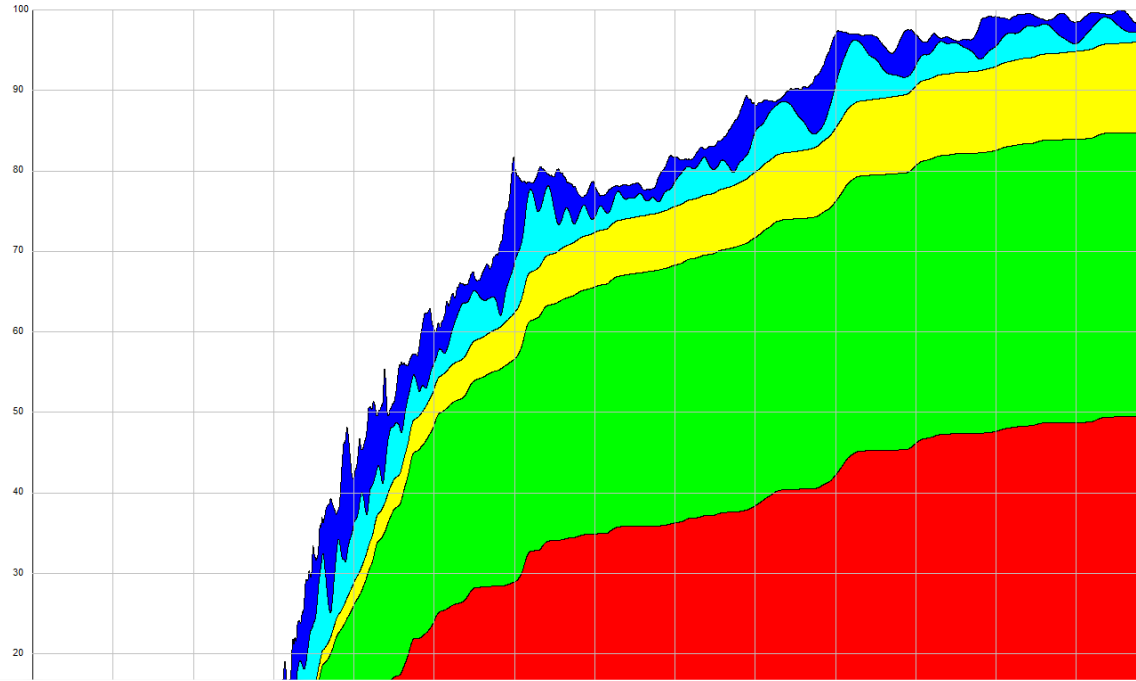
Bu değerler özet olarak Ek B Çizelge B.1 ve B2 ' de gösterilmiştir.

- **Yapının Enerji Sönümleme Kapasitesi (Energy Balance)**

Deprem kayıtları kullanılarak yapılan lineer olmayan analiz sonucu yapısal elemanlarda elastik ve elastik olmayan (kalıcı) hasarlar meydana gelmiştir. Bu hasarlar yapının maruz kaldığı deprem kuvvetinin ne kadarlık kısmını sönümlediği ile ilgilidir. Enerji sönümleme kapasitesi "Energy Balance" eğrileri Perform3D programı kullanılarak oluşturulmuştur. İlgili grafiklerde renk kodları bulunmaktadır. Bu renk kodlarında kırmızı renk "dissipated inelastic energy" yapı tarafından sönümlenen elastik olmayan toplam enerjiyi, sarı ve yeşil renkler Alpha-M ve Beta-K viskos enerji sönümleri tarafından yutulan enerjiyi, lacivert renk yapıda oluşan kinetik enerjiyi, turuncu renk modal sönüm enerjisini, açık mavi renk ise histerik çevrimde yükün tersinir hareketinden dolayı yeniden kazanılan uzamadan dolayı elde edilen enerjiyi göstermektedir. Hesaplarda hesap hassaslığına bağlı olarak depremde açığa çıkan enerji dengesi değişebilir. Analizlerin en hassas olduğu durumunda hata oranı sıfıra yakın olmalıdır. Ancak bu hata payı %5' e kadar kabul edilebilir. Şekil 5.73' de yapının bütünü için en büyük enerjinin olduğu "Irpınia,Italy Torro Del Greco Parallel" kaydı altında enerji sönüm grafiği gösterilmiştir. Şekil 5.74' de ise yapının tamamı için en büyük enerji sönüm oranına sahip " Loma Prieta Hayward City Hall North Parallel" kaydı altında enerji sönüm grafiği gösterilmiştir.



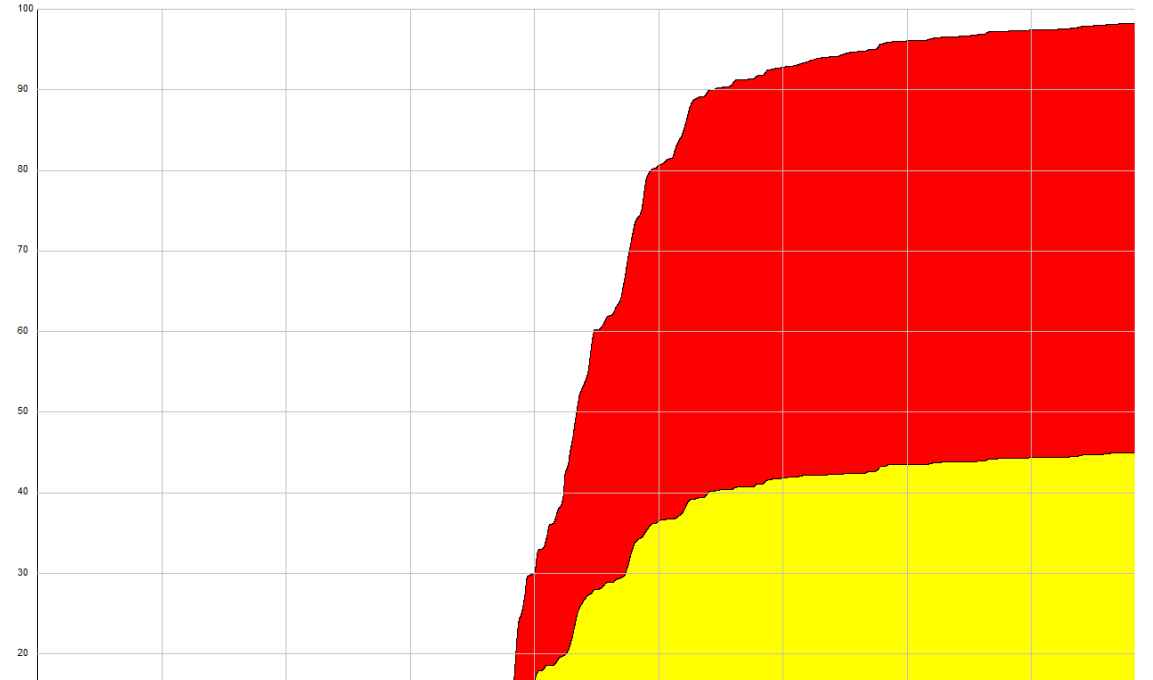
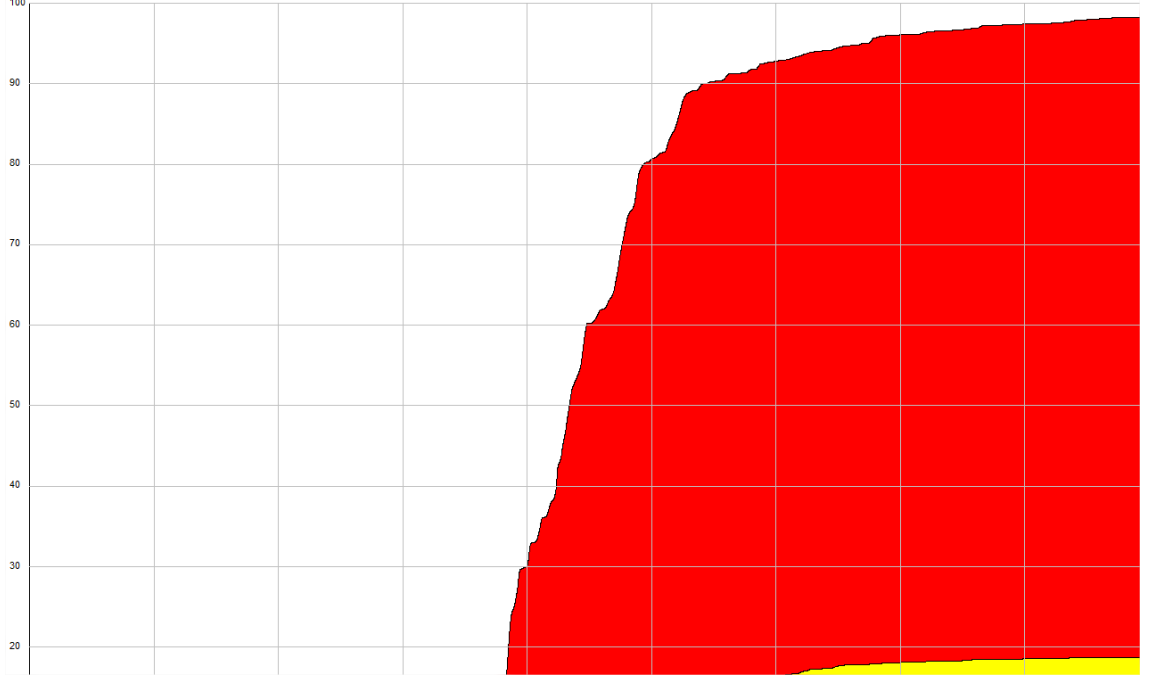
Şekil 5.74 : Irpinia,Italy Torro Del Greco Parallel Enerji Sönüm Eğrisi Maksimum Enerji=29870kN.m,Sönüm Oranı %46.25.

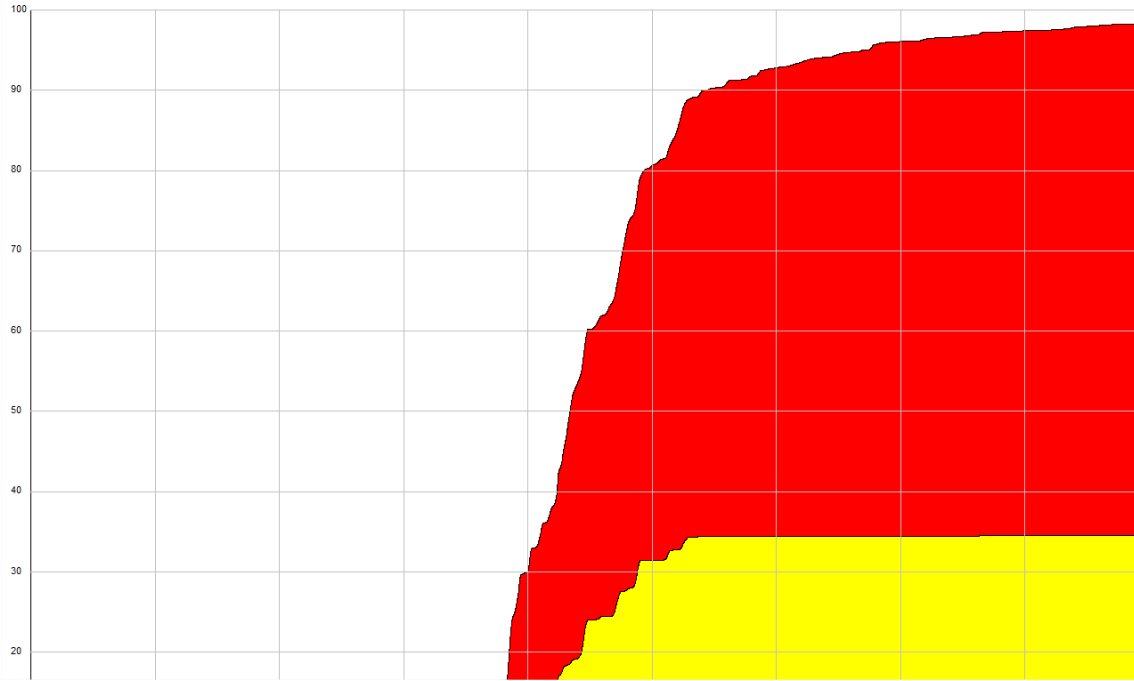


Şekil 5.75 : Loma Prieta Hayward City Hall North Parallel Enerji Sönüm Eğrisi Maksimum Enerji=18310kN.m,Sönüm Oranı %50.5.

Şekil 5.74 ve Şekil 5.75' de görüldüğü üzere yapı bu deprem kayıtları altında oluşan deprem enerjisinin %45-50 'sini plastik şekil değiştirerek sönümlenmiştir. Eleman bazında kolonlar için Şekil 5.76'de, kirişler için Şekil 5.77' da ve perdeler için Şekil

5.78' de yutulan enerji miktarları ve bu yutulan enerji miktarlarının ne kadarının plastik şekil değiştirerek yutulduğu gösterilmektedir.





Şekil 5.78 : Perdeler için Enerji Denge Grafiği ,Sönüm Oranı %32.95.

- **Taban Kesme Kuvvetleri**

Örneklenen yapıda X ve Y yönlerindeki taban kesme kuvvetleri, toplam 7x2 deprem kaydı için kolonlar ve perde elemanlarda ayrı ayrı Çizelge 5.19' da gösterilmiştir. Oluşan taban kesme kuvvetleri büyük ölçüde rijitliği fazla olan perde elemanlar tarafından karşılanmıştır.

Çizelge 5.19 : Taban Kesme Kuvvetleri.

	Deprem Kaydı	Taban Kesme Kuvveti	
		Kolon-Kiriş (kN)	Perde(kN)
1	İrp-İt-H1	1796	35440
2	İrp-İt-H2	404.6	52690
3	Loma-P-B-H1	2017	41120
4	Loma-P-B-H2	504	41230
5	Loma-P-C-H1	1620	26750
6	Loma-P-C-H2	420	28480
7	Loma-P-Ha-H1	2560	41120
8	Loma-P-Ha-H2	463	47380
9	Loma-P-Ho-H1	1850	24310
10	Loma-P-Ho-H2	515	37300
11	Morg-H-L-H1	2050	36160
12	Morg-H-L-H2	490	54210
13	Morg-H-R-H1	1610	38113
14	Morg-H-R-H2	820	42100
15	Ortalama	1223	39028

- **Kiriş Performans Kontrolleri**

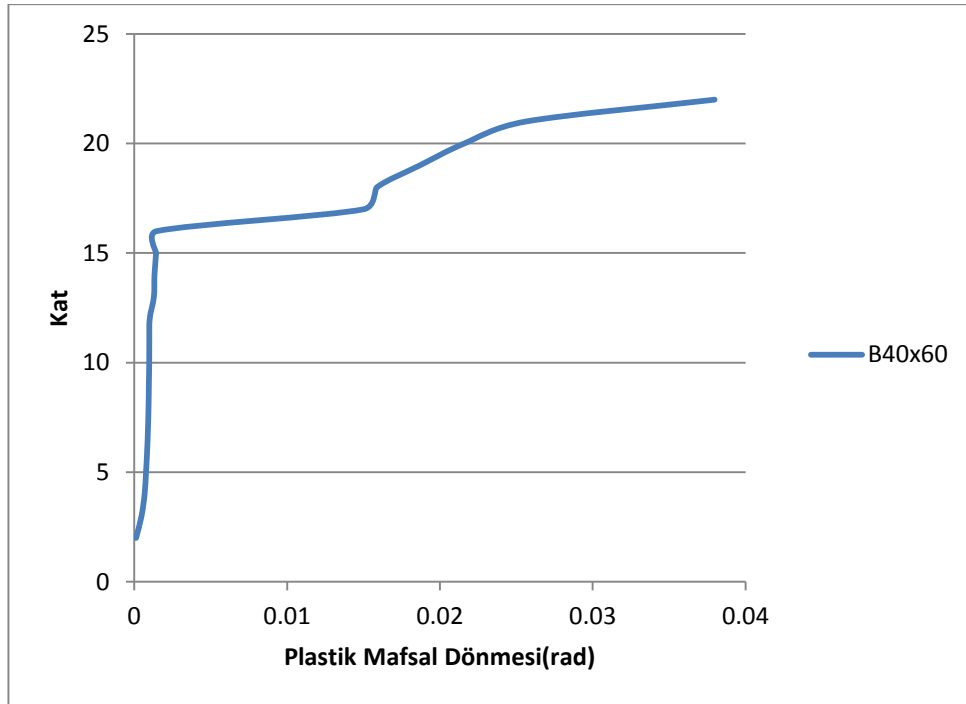
Örneklenen yapı kirişsiz plak döşeme+ çevre kirişli olarak tasarlanmıştır. Çevre kirişleri 40x60 olarak seçilmiştir. 7x2 deprem kayıtları için Perform 3D programından kirişlerde meydana gelen plastik mafsallarda dönme değerleri (hinge rotation) alınmıştır. Çizelge 5.11' de hesaplanan plastik dönme değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\Phi_{p1} = 0.004600701 \text{ rad}$$

$$\Phi_{p2} = 0.024274701 \text{ rad}$$

$$\Phi_{p3} = 0.038686701 \text{ rad}$$

Göçmeme güvenliğinin sağlanmasının gerektiği bu tasarım aşamasından bu kiriş kesiti için hasar sınırı için maksimum plastik dönmesi 0.0386 rad' dır. Şekil 5.79 ' de 40x60 kiriş için örnek kesiti için 14 depremin ortalaması olarak olarak gösterilmiştir. Plastik mafsallarda dönme değerlerine bakıldığında örneklenen kiriş için hasar sınır plastik mafsallarda dönme değeri olan 0.0386 rad değerine ulaşmadığı görülmüştür.



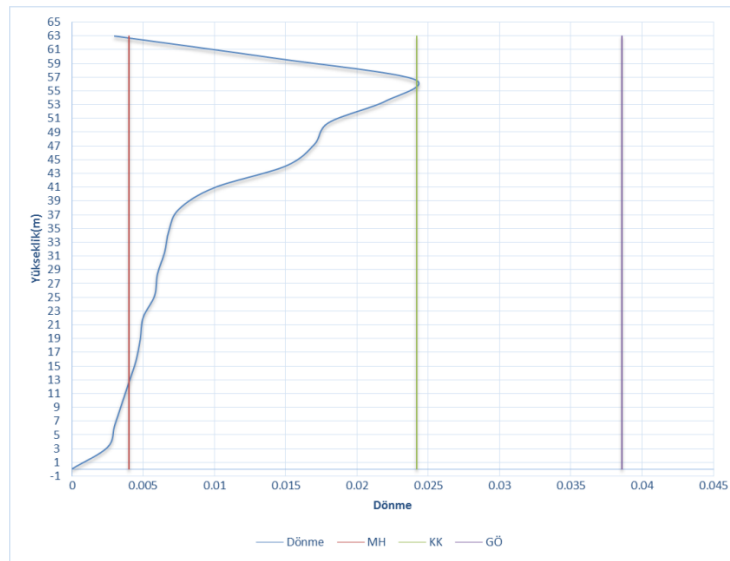
Şekil 5.79 : B40x60 Kirişi için Plastik Mafsallarda Dönme Değerleri (rad).

Çizelge 5.20' de 40x60 kirişleri için her deprem kaydı için oluşan maksimum plastik mafsallarda dönme değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.20 : 40x60 Tüm Kirişleri için Plastik Mafsal Dönme Değerleri.

No	Deprem Kaydı	Maksimum Plastik Mafsal Dönme Değerleri (rad)
1	IRP-IT-H1	0.01869
2	IRP-IT-H2	0.020484
3	MORG-H-L-H1	0.014522
4	MORG-H-L-H2	0.0094025
5	MORG-H-R-H1	0.01183
6	MORG-H-R-H2	0.010442
7	LOMA-P-B-H1	0.022283
8	LOMA-P-B-H2	0.016981
9	LOMA-P-C-H1	0.016759
10	LOMA-P-C-H2	0.016954
11	LOMA-P-HA-H1	0.022799
12	LOMA-P-HA-H2	0.015214
13	LOMA-P-HO-H1	0.018898
14	LOMA-P-HO-H2	0.017853

Çizelge 5.20' de görüldüğü gibi deprem kuvveti altında kirişlerde plastik deformasyon meydana gelmiştir. Ancak bu deformasyon 40x60 kirişi için göçmeme güvenliğini sağlaması için belirlenen plastik mafsal dönme değeri 0.0386 rad değerinden küçüktür. Kirişler için kesme güvenliği kapasiteleri gevrek göçmenin engellenmesi için kontrol edilmiştir. Kiriş kesme dayanımı depremlerden meydana gelene kesme kapasitesinden daha büyüktür. Tip kiriş için dönme değerlerinin katlar boyunca ortalama olarak değişimi Şekil 5.80' de gösterilmiştir.

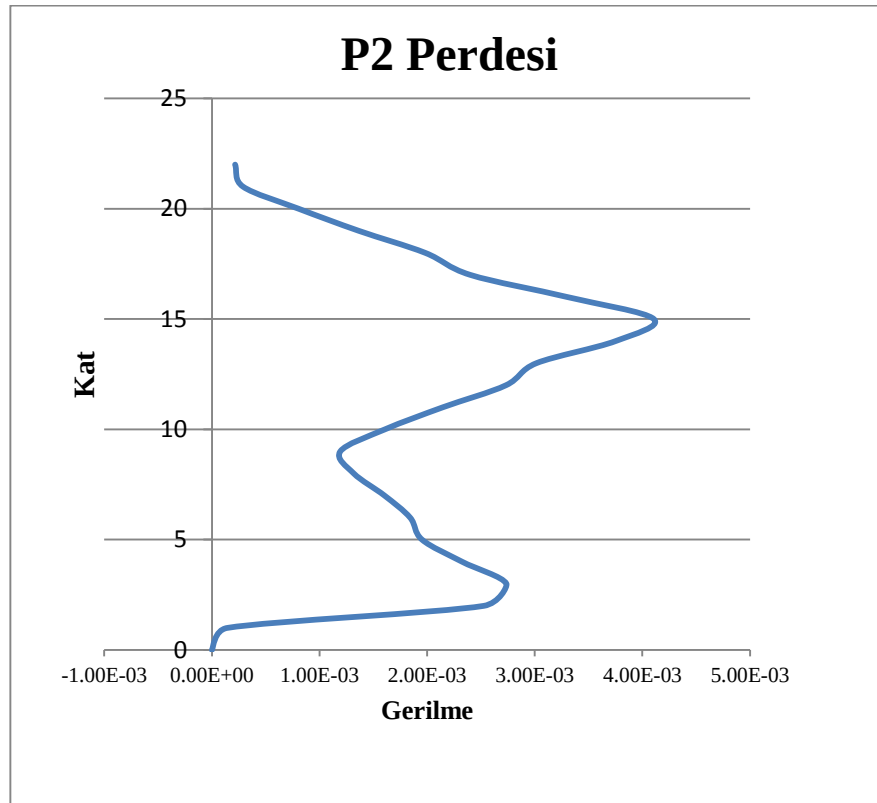


Şekil 5.80 : B40x60 Kirişi için Plastik Mafsal Dönme Değerleri (rad).

Tasarım Aşaması III için göçmeme güvenliğinin sağlanması gerektiği göz önüne alındığında katlar boyunca kirişlerde oluşan dönme değerleri kiriş için belirlenen kontrollü hasar, can güvenliği sınırında olduğu görülmüştür.

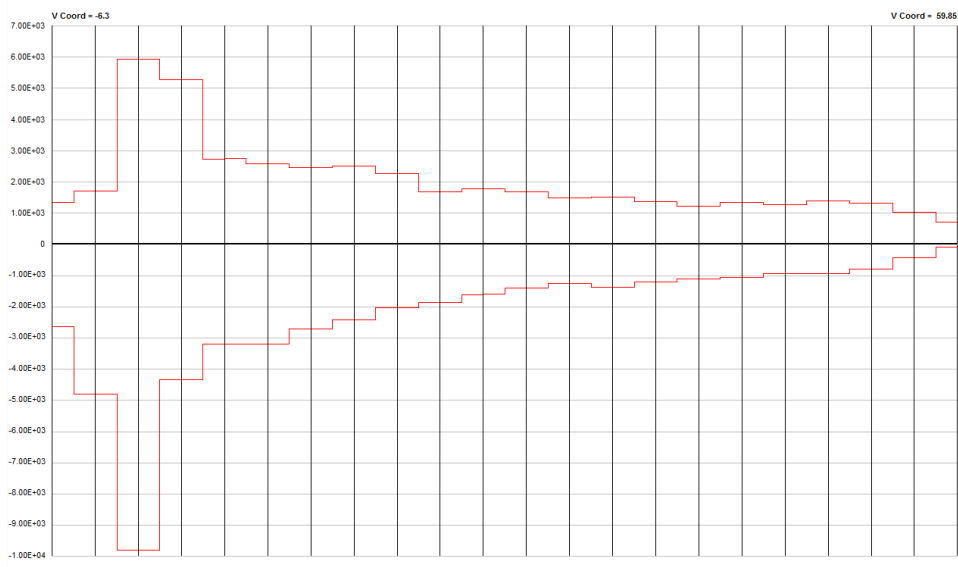
- **Perde Performans Kontrolleri**

Perdeler için deprem kuvvetleri altında oluşacak donatı çeliğindeki uzama ve kısalma kontrol edilmiştir. Sınır değer olarak Tasarım III de sağlanması gereken göçmeme güvenliği 0.06 oranında belirlenmiştir. Perde elemanlar için uzama ve kısalma değerleri Perform3D programında kesitlere tanımlanan "strain gage" ler ile ölçülmüştür. Ölçülen değerler sınır değer ile kıyaslanmıştır. Şekil 5.80' de görüldüğü gibi donatı da oluşan uzama ya da kısalma yönetmelikte verilen sınır değer in altındadır. Perdeler için gevrek kırılmanın önlenmesi gerekmektedir. Şekil 5.81' de deprem kuvvetleri altında oluşan ortalama kesme kuvveti grafiği P2 perdesi için örneklendirilmiştir. Perde kesme kuvveti kapasitesi çizim üzerinde işaretlenmiş ve perdede oluşan kesme kuvvetinin, kesme kapasitesini aşmadığı gösterilmiştir.



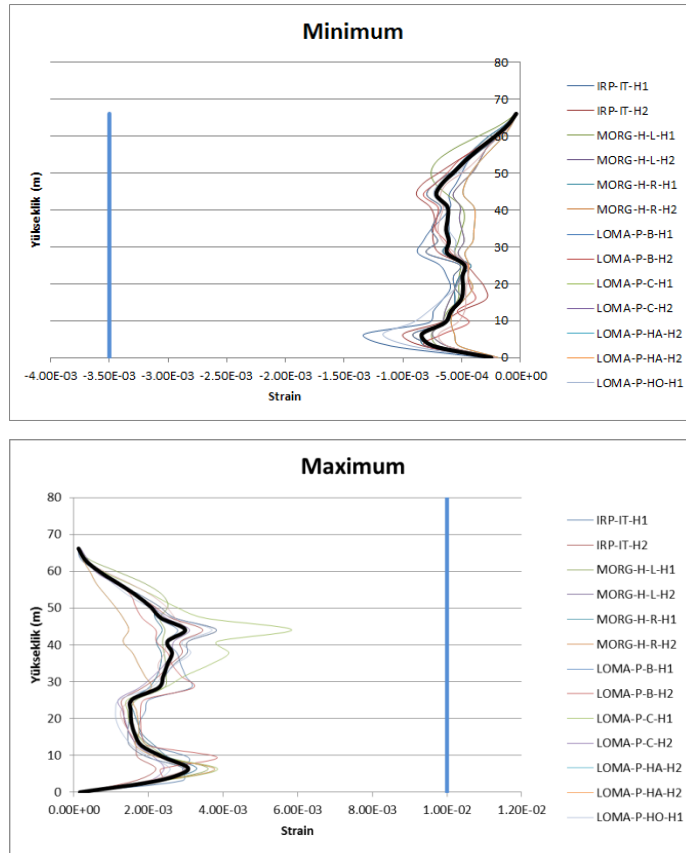
Şekil 5.81 : P2 Perdesi Performans Kontrolü.

P2 perdesi için kesme kuvveti kapasitesi hesap sonucu çıkan kesme kuvvetinden küçük olduğu görülmüştür.

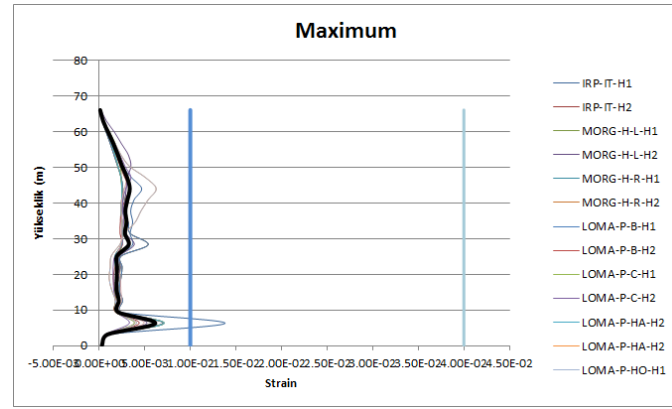
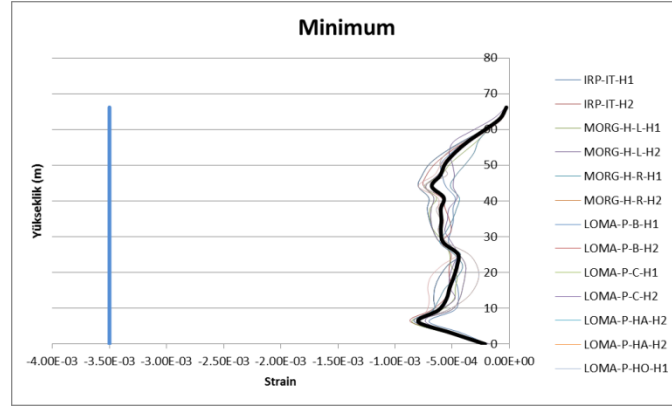


Şekil 5.82 : P2 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği(kN).

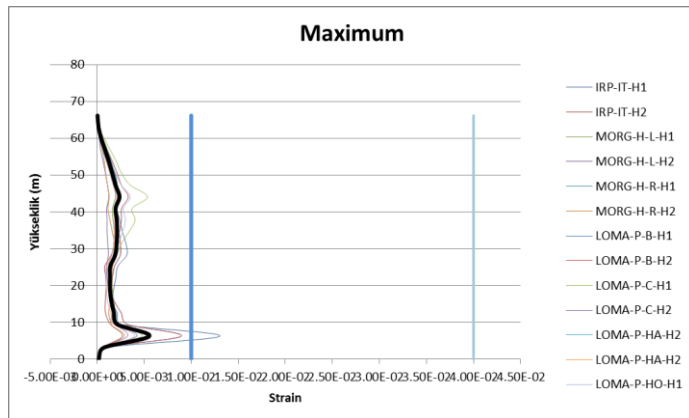
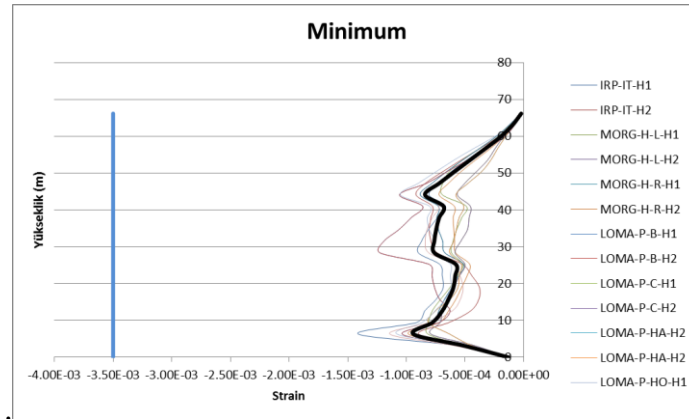
Perde elemanlar için Perform3D programında belirlenen strainageler kullanılarak donatı için uzama sınırı ve beton için kısılma sınırı işaretlenerek aşağıdaki tablolar oluşturulmuş ve perde elemanların elastik bölgede kaldığı gösterilmiştir.



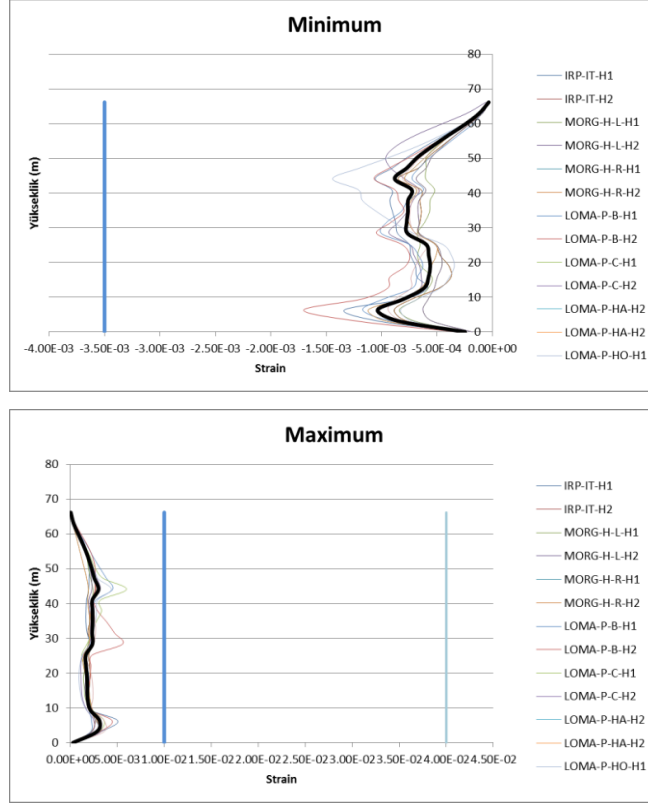
Şekil 5.83 : SG-1 için Hasar Kontrol Grafiği.



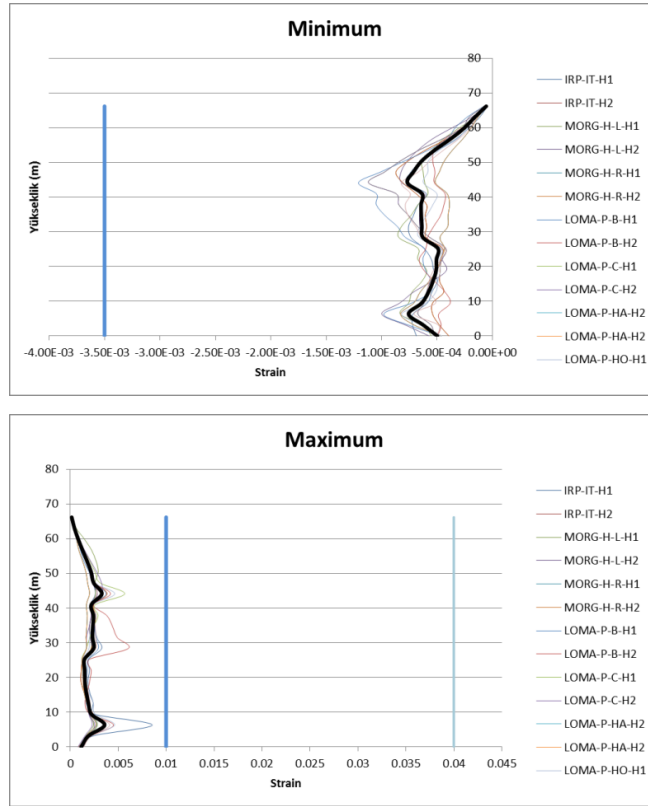
Şekil 5.84 : SG-2 için Hasar Kontrol Grafiği.



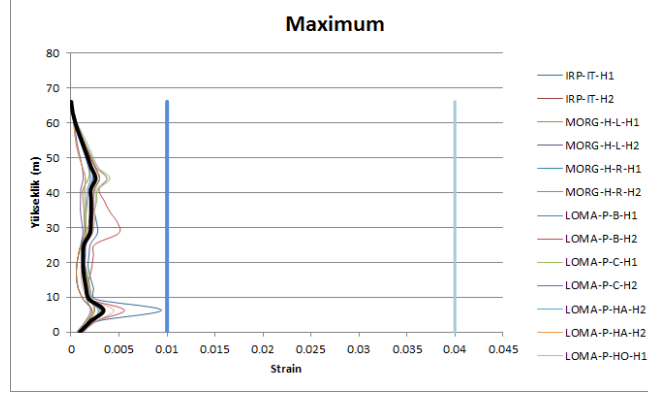
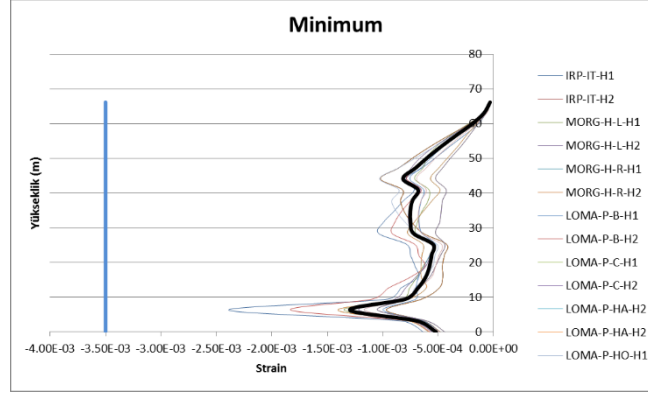
Şekil 5.85 : SG-3 için Hasar Kontrol Grafiği.



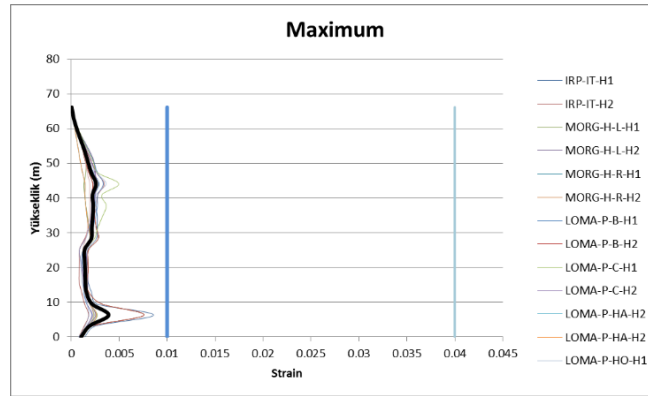
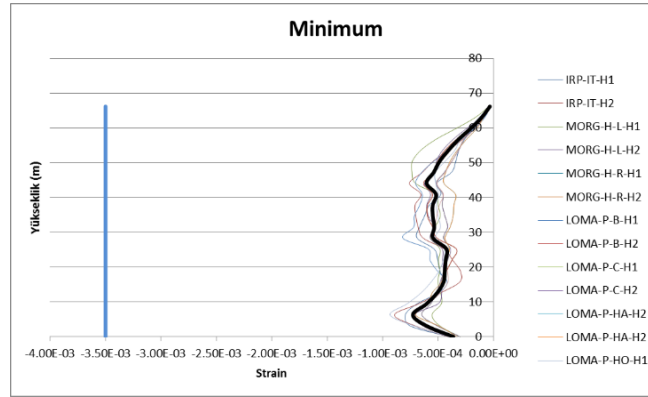
Şekil 5.86 : SG-4 için Hasar Kontrol Grafiği.



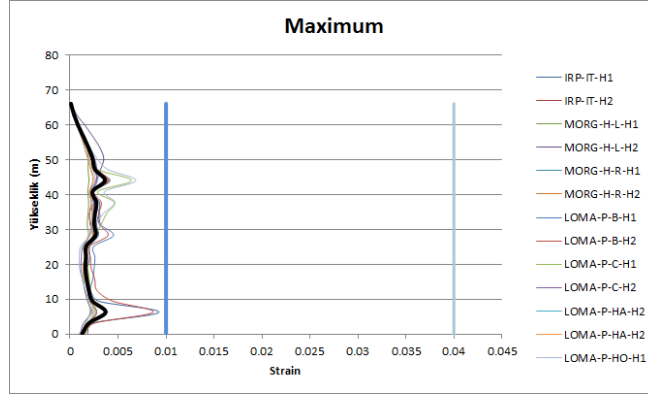
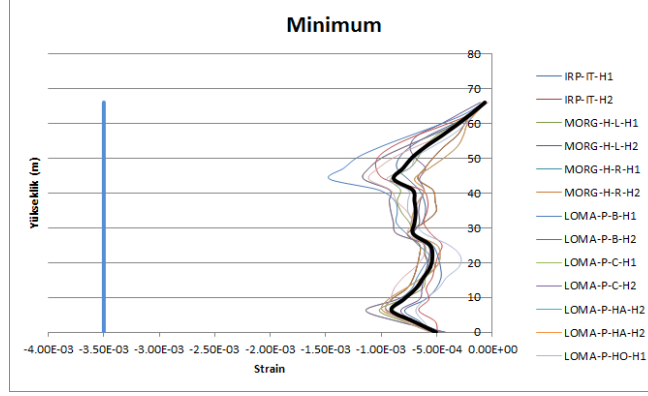
Şekil 5.87 : SG-5 için Hasar Kontrol Grafiği.



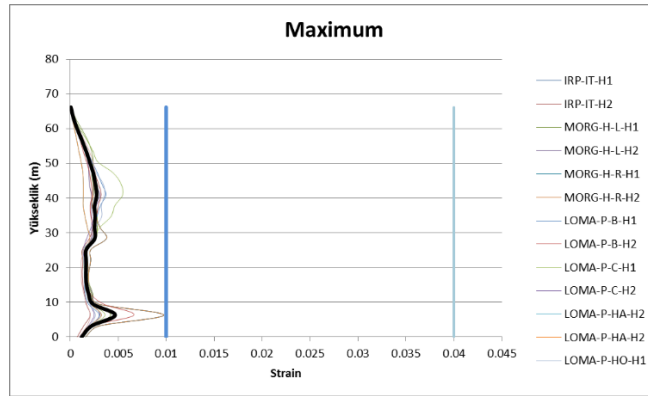
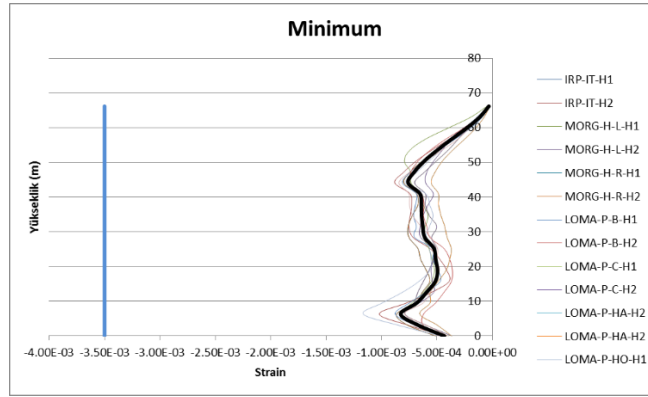
Şekil 5.88 : SG-6 için Hasar Kontrol Grafiği.



Şekil 5.89 : SG-7 için Hasar Kontrol Grafiği



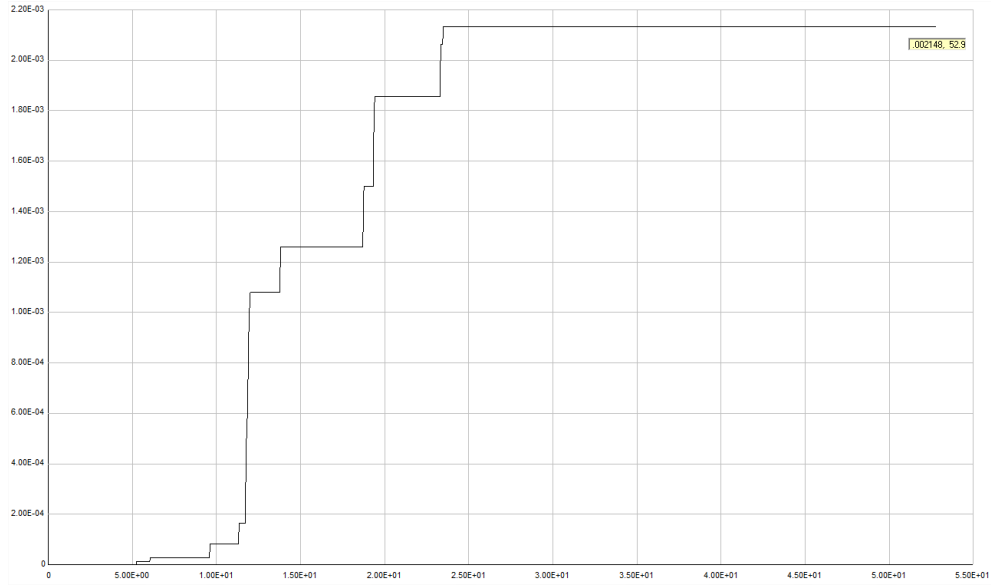
Şekil 5.90 : SG-8 için Hasar Kontrol Grafiği.



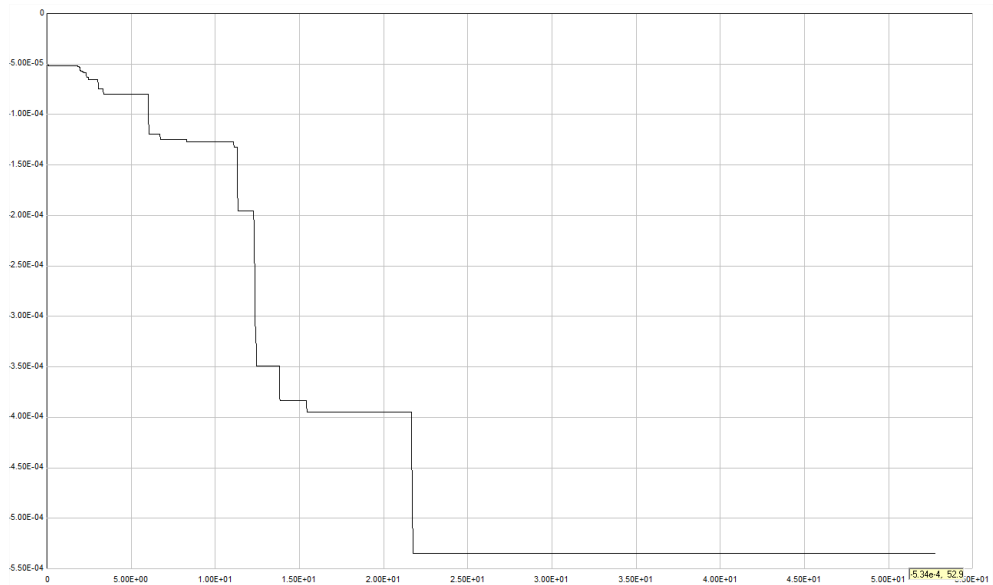
Şekil 5.91 : SG-9 için Hasar Kontrol Grafiği.

- **Kolon Performans Kontrolleri**

Kolonlar için deprem kuvvetleri altında donatı oluşan uzama ve betonda oluşan kısılma esas alınmıştır. Kolon kesitlerin tamamı fiber elemanlar ile oluşturulduğu fiberlerdeki maksimum fiber çekme gerilmesi ve maksimum basınç gerilmesi Perform 3D programında okunmuştur. Örneklenen C20 kolonu için Şekil 5.92' de kesitte oluşan maksimum çekme gerilmesi görülmektedir. Görüldüğü gibi maksimum gerilme değeri 0.002139'dur . Fiber de oluşan maksimum basınç gerilmesi Şekil 5.93' de gösterilmiştir. Kesitte oluşan maksimum basınç gerilmesi $5.39\text{e-}4$ 'dür.

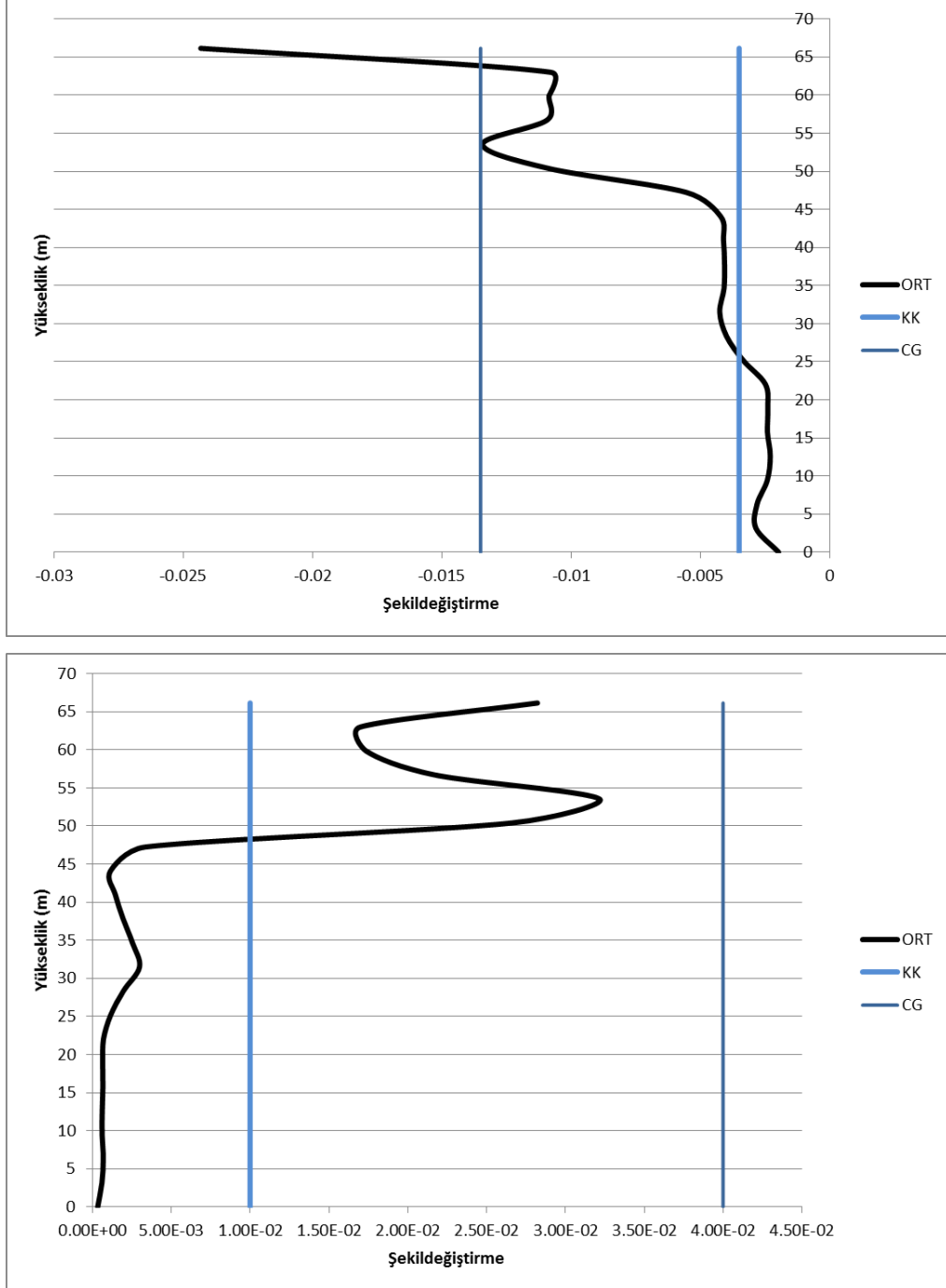


Şekil 5.92 : C20 Kolonu Maksimum Çekme Gerilmesi .



Şekil 5.93 : C20 Kolonu Maksimum Basınç Gerilmesi.

Örneklenen yapı için kolonlarda plastik şekil değiştirme olmasına rağmen bir kolon dışında can güvenliği hasar sınırına ulaşmamıştır. Şekil 5.94 de örneklenen kolon için kesit göçme öncesi performans seviyesine ulaşmış ve akmıştır. İlk durum betonda basınç kırılmasını, ikinci grafik ise donatıda oluşan uzamayı göstermektedir.



Şekil 5.94 : Örnek Kolon Şekildeğiştirmesi.

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma kapsamında, Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliği' ne göre yüksek yapı sınıfına giren 22 katlı bir yapının yine aynı yönetmelik kurallarına göre tasarımı yapılmıştır. Yönetmelikte belirtildiği şekilde doğrusal analiz kullanılarak yapısal elemanları dayanım bazlı boyutlandırdıktan sonra yapının deprem etkileri altında deprem performansı Yüksek Yapılar Deprem Yönetmeliği ilkelerine göre belirlenerek tasarımı tamamlanmıştır.

Yönetmelik kapsamında belirtilen Tasarım Aşaması I-A'da doğrusal elastik analiz yapılarak yapısal elemanların ön boyutlanması yapılmıştır. Analize konu olan yapı normal sınıf bina olması sebebiyle D2 depremi kullanılmıştır. Deprem analizleri Mod Birleştirme Yöntemi ile Lineer Üç Boyutlu Analiz kullanılmıştır. Taşıyıcı davranış katsayısı süneklik düzeyi yüksek perde + süneklik düzeyi normal çerçeve sistem seçilmiş ve 7 alınmıştır. Göreli kat ötemesi oranı limiti %2 olarak alınmış ve bu sınırın aşılmadığı gösterilmiştir. Yapısal elemanlar için kesit rijitlikleri Deprem Bölgelerinden Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007' de belirtilen etkin rijitlikler kullanılmıştır. Malzemelerin dayanım parametreleri için karakteristik dayanımları kullanılmıştır. Bu aşamada yukarıda belirtilen ilkeleri içinde kalınmış ve hedef performans olarak can güvenliği kriterlerinin sağlandığı gösterilmiştir.

Yönetmelik kapsamında belirtilen Tasarım Aşaması II' de ilk aşamada doğrusal elastik yöntemle ön boyutlaması yapılmış analizlerin gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Deprem analizlerinde normal sınıf binalar için kabul edilen D1 depremi kullanılmıştır. Deprem analizleri Mod Birleştirme Yöntemi ile Lineer Üç Boyutlu Analiz kullanılmıştır. Taşıyıcı davranış katsayısı İYYDY' nde belirtildiği şekilde $R=1.5$ olarak alınmıştır. Göreli kat ötemesi oranı limiti %1 olarak alınmış ve bu sınırın aşılmadığı gösterilmiştir. Yapısal elemanlar için kesit rijitlikleri yönetmelikte belirtildiği şekilde moment-eğrilik eğrisinden elde edilen etkin rijitlikleri kullanılmıştır. Malzemelerin dayanım parametreleri için ortalama-expected dayanımları kullanılmıştır. Bu aşamada

yönetmelikte belirtilen hedef performansı kesintisiz kullanım ilkelerinin sağlandığı gösterilmiştir.

İlk aşamada doğrusal elastik yöntemle ön boyutlaması yapılmış analizlerin, Tasarım Aşaması II'de doğrusal yöntemle gerçekleşmesi yapılmıştır. Tasarım Aşaması III' de ise doğrusal olmayan analiz ile gerçekleştirilmiştir. Deprem analizlerinde zaman tanım alanında nonlineer 3 boyutlu analiz yöntemi kullanılmıştır. Deprem parametrelerine uygun biçimde seçilen 7x2 deprem kaydı kullanılmıştır. Zaman tanım alanında analiz yapıldığı için yapısal davranış katsayısı kullanılmamaktadır. Göreli kat ötemesi oranı limiti %3.5 olarak alınmış ve bu sınırın aşılmadığı gösterilmiştir. Yapısal elemanlar için kesit rijitlikleri yönetmelikte belirtildiği şekilde moment-eğrilik eğrisinden elde edilen etkin rijitlikleri kullanılmıştır. Malzemelerin dayanım parametreleri için ortalama-expected dayanımları kullanılmıştır. Bu aşamada yönetmelikte belirtilen hedef performansı göçmeme güvenliği kullanım ilkelerinin sağlandığı gösterilmiştir.

Örneklenen yapı için yapılan analizler sonucu, yapının ana taşıyıcı elemanlarından perdeler ve kolonlar büyük ölçüde elastik kalmaktadır. Yönetmelik kurallarına uygun olarak yapılan tasarım sonucu sistemde sınırlı miktarda doğrusal olmayan davranış oluşmuştur. Bu doğrusal olmayan davranış, istenilen performans hedeflerinin birim şekil değiştirme ve limitleri karşılaştırılarak belirlenmiştir. Tüm yapısal elemanlar için kesme kuvveti altında gevrek göçmeleri, ön boyutlandırma aşamasında uygulanan kapasite tasarım ilkeleri kullanılması ile önlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.** (1992). Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt I, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.** (1992). Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt II, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [3] **Özer, E.** (2009). Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.ins.itu.edu.tr/eozer, İstanbul.
- [4] **TS-500.** (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [5] **Özmen, H.B., İnel, M. ve Bilgin, H.** (2007). Sargılı Beton Davranışının Betonarme Eleman ve Sistem Davranışına Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi*, Ankara.
- [6] **Çakıroğlu, A. ve Özer, E.** (1980). Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- [7] **Çakıroğlu, A., Özer, E. ve Girgin, K.** (1999). Yield conditions and yield vector for combined biaxial bending of rectangular reinforced concrete sections, *Proceedings of the Uğur Ersoy Symposium in Structural Engineering*, METU Press, Ankara, July 1-2, 121-135.
- [8] **Özer, G.** (2003). Malzeme bakımından lineer olmayan sistemlerin hesabı için bir ardışık yaklaşım yöntemi ve bilgisayar programı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Çavuş, K.** (2000). Malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan sistemlerin hesabına yönelik bir yaklaşım ve sayısal uygulamalar, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Özer, E.** (1987). Determination of second-order limit load by a method of load increments, *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, 40, 815-836.
- [11] **Girgin, K.** (1996). Betonarme yapı sistemlerinde ikinci mertebe limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi için bir yük artımı yöntemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [12] **İrtem, E.** (1991). Uzak çubuk sistemlerde 2. mertebe limit yükün hesabı için bir yük artımı yöntemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] **DBYBHY.** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- [14] **Priestley, M.J.N.** (2000), Performance Based Seismic Design, *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, January-February 2000.
- [15] **IYBDY,** (2008). İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği, Versiyon IV, İstanbul.
- [16] **TS-498.** (1987). Yapılar hesaplarında kullanılacak yükler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [17] **ETABS.** Extended 3d Analysis of Building Systems, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [18] **SAP 2000.** Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [19] **PERFORM 3D.** Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [20] **Temiz, G.M.** (2014) Betonarme Yüksek Bir Binanın 2007 Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarımı ve İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğine Göre Performansının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Park, J., Lee, J., Jung, H. and Hyun, H.** (2010). Vision-Based Displacement Measurement Method for High-Rise Building Structures Using Partitioning Approach, Republic of Korea.
- [22] **Lu, X., Lu, X., ZWANG, W. and Ye, L.** (2011). Collapse Simulation of a Super High Rise Building Subjected to Extremely Strong Earthquakes, China.
- [23] **Binzet, S., Tüzün, C. and Erdik, M.** (2014). Performance Based Design of a High Rise Building Based on İstanbul Tall Building Seismic Code.
- [24] **Chopra, A.K.** (2000). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- [25] **Beskos, D.E. and Anagnostopoulos, S.A.** (1997) Computer analysis and design of earthquake resistant structures - a handbook, CMP.
- [26] **Taucer, F.F., Spacone, E., Filippou, C.F.** (1991). A Fiber Beam-Column Element for Seismic Response Analysis of Reinforced Concrete Structures, A Report on Research Conducted under Grant RTA-

59M848 from the California Department of Transportation and Grant ECE-8657525 from the National Science Foundation, Report No:UCB/EERC-91/17, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley.

- [27] **Alternative Design Criteria.** (2008): An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region-A Consensus Document, *Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council*, Los Angeles.
- [28] **Fahjan, Y.M.** (2008). Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi*, İstanbul.
- [29] **Recommendations for the Seismic Design of High-rise Buildings.** (2008). A Consensus Document, *CTBUH Seismic Working Group*, Chicago.

EKLER

1-EK-A ; Doğrusal Analiz Sonuçları

2-EK-B ; Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

EK A**Çizelge A.1 : A1-Burulma Düzensizliği Kontrolü-X Yönü Deprem.**

A1-Burulma Düzensizliği-X Yönü Depremi					
Kat	Görelî Kat Deplasmanları			η_{bi}	Kontrol
	Maks.	Min.	Ort.		
22	0.0035	0.0032	0.0033	1.0405	ok
21	0.0035	0.0032	0.0034	1.0495	ok
20	0.0036	0.0031	0.0033	1.0624	ok
19	0.0036	0.0030	0.0033	1.0782	ok
18	0.0035	0.0030	0.0033	1.0796	ok
17	0.0035	0.0030	0.0032	1.0759	ok
16	0.0034	0.0029	0.0031	1.0695	ok
15	0.0033	0.0029	0.0031	1.0644	ok
14	0.0031	0.0027	0.0029	1.0698	ok
13	0.0030	0.0026	0.0028	1.0633	ok
12	0.0029	0.0026	0.0027	1.0476	ok
11	0.0027	0.0024	0.0026	1.0558	ok
10	0.0026	0.0022	0.0024	1.0737	ok
9	0.0023	0.0020	0.0022	1.0875	ok
8	0.0022	0.0017	0.0020	1.1072	ok
7	0.0020	0.0015	0.0018	1.1240	ok
6	0.0018	0.0013	0.0016	1.1328	ok
5	0.0015	0.0010	0.0013	1.1930	ok
4	0.0012	0.0010	0.0011	1.0909	ok
3	0.0007	0.0007	0.0007	1.0497	ok
2	0.0001	0.0001	0.0001	1.0083	ok
1	0.0000	0.0000	0.0000	1.0769	ok

Çizelge A.2 : A1- Burulma Düzensizliğ Y Yönü Deprem.

A1-Burulma Düzensizliği-Y Yönü Depremi					
Kat	Görelî Kat Deplasmanları			ηbi	Kontrol
	Maks.	Min.	Ort.		
22	0.0022	0.0020	0.0021	1.0422	ok
21	0.0022	0.0020	0.0021	1.0456	ok
20	0.0022	0.0020	0.0021	1.0476	ok
19	0.0022	0.0022	0.0022	1.0065	ok
18	0.0022	0.0021	0.0022	1.0176	ok
17	0.0022	0.0020	0.0021	1.0338	ok
16	0.0021	0.0020	0.0020	1.0354	ok
15	0.0020	0.0019	0.0020	1.0447	ok
14	0.0020	0.0018	0.0019	1.0368	ok
13	0.0019	0.0017	0.0018	1.0447	ok
12	0.0018	0.0017	0.0018	1.0354	ok
11	0.0017	0.0015	0.0016	1.0620	ok
10	0.0016	0.0014	0.0015	1.0886	ok
9	0.0015	0.0013	0.0014	1.0715	ok
8	0.0015	0.0010	0.0013	1.1828	ok
7	0.0014	0.0009	0.0011	1.1801	ok
6	0.0012	0.0008	0.0010	1.1817	ok
5	0.0011	0.0008	0.0009	1.1926	ok
4	0.0012	0.0009	0.0011	1.1529	ok
3	0.0009	0.0007	0.0008	1.1598	ok
2	0.0003	0.0003	0.0003	1.0338	ok
1	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	ok

Çizelge A.3 : B1-Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği Kontrolü-X Yönü Depremi.

B1-Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği Kontrolü-X Yönü Depremi						
Kat	Kesme Alanları(m2)			Σac	$\Sigma ac/\Sigma ac+1$	Kontrol
	ΣAw	ΣAg	ΣAk			
22	2.04	4.20	9.60	7.68	-	-
21	2.04	4.20	9.60	7.68	1.00	ok
20	2.04	4.20	9.60	7.68	1.00	ok
19	2.04	4.20	9.60	7.68	1.00	ok
18	2.40	4.20	9.60	8.04	1.05	ok
17	2.40	4.20	9.60	8.04	1.00	ok
16	2.52	4.20	9.60	8.16	1.01	ok
15	2.52	4.20	9.60	8.16	1.00	ok
14	2.52	5.60	9.60	9.56	1.17	ok
13	3.00	5.60	9.60	10.04	1.05	ok
12	3.00	5.60	9.60	10.04	1.00	ok
11	3.00	5.60	9.60	10.04	1.00	ok
10	3.00	5.60	9.60	10.04	1.00	ok
9	3.96	7.00	9.60	12.40	1.24	ok
8	5.92	7.00	11.23	14.60	1.18	ok
7	5.92	7.00	11.23	14.60	1.00	ok
6	7.00	7.00	12.73	15.91	1.09	ok
5	8.12	7.00	12.73	17.03	1.07	ok
4	11.40	7.00	19.71	21.36	1.25	ok
3	11.40	7.00	19.71	21.36	1.00	ok
2	11.40	30.25	9.20	43.03	2.01	ok
1	11.40	48.35	9.20	61.13	1.42	ok

Çizelge A.4 : B1-Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği Kontrolü-Y Yönü Depremi.

B1-Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği Kontrolü-Y Yönü Depremi						
Kat	Kesme Alanları(m2)			Σac	$\Sigma ac/\Sigma ac$ +1	Kontrol
	ΣAw	ΣAg	ΣAk			
22	2.04	9.63	7.20	12.75	-	-
21	2.04	9.63	7.20	12.75	1.00	ok
20	2.04	9.63	7.20	12.75	1.00	ok
19	2.04	9.63	7.20	12.75	1.00	ok
18	2.40	9.63	7.20	13.11	1.03	ok
17	2.40	9.63	7.20	13.11	1.00	ok
16	2.52	9.63	7.20	13.23	1.01	ok
15	2.52	9.63	7.20	13.23	1.00	ok
14	2.52	12.84	7.20	16.44	1.24	ok
13	3.00	12.84	7.20	16.92	1.03	ok
12	3.00	12.84	7.20	16.92	1.00	ok
11	3.00	12.84	7.20	16.92	1.00	ok
10	3.00	12.84	7.20	16.92	1.00	ok
9	3.96	12.84	8.40	18.06	1.07	ok
8	5.92	12.84	9.20	20.14	1.12	ok
7	5.92	12.84	9.20	20.14	1.00	ok
6	7.00	12.84	12.40	21.70	1.08	ok
5	8.12	12.84	15.60	23.30	1.07	ok
4	11.40	12.84	18.20	26.97	1.16	ok
3	11.40	12.84	18.20	26.97	1.00	ok
2	11.40	21.03	10.20	33.96	1.26	ok
1	11.40	44.86	9.80	57.73	1.70	ok

Çizelge A.5 : Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği Kontrolü-X Yönü.

B2-Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği Kontrolü-X Yönü Depremi						
Kat	OrtalamaGörelî Kat Deplasmanları			$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort}$	Kontrol
	$(\Delta_i/h)_{max}$	$(\Delta_i/h)_{min}$	$(\Delta_i/h)_{ort}$			
22	0.0011	0.0010	0.0011	-	0.9950	ok
21	0.0011	0.0010	0.0011	1.0051	1.0052	ok
20	0.0011	0.0010	0.0011	0.9948	1.0155	ok
19	0.0011	0.0010	0.0010	0.9848	1.0118	ok
18	0.0011	0.0010	0.0010	0.9883	1.0142	ok
17	0.0011	0.0009	0.0010	0.9860	1.0206	ok
16	0.0011	0.0009	0.0010	0.9798	1.0301	ok
15	0.0010	0.0009	0.0010	0.9708	1.0493	ok
14	0.0010	0.0009	0.0009	0.9531	1.0326	ok
13	0.0010	0.0008	0.0009	0.9684	1.0296	ok
12	0.0009	0.0008	0.0009	0.9713	1.0626	ok
11	0.0009	0.0008	0.0008	0.9411	1.0859	ok
10	0.0008	0.0007	0.0008	0.9209	1.1000	ok
9	0.0007	0.0006	0.0007	0.9091	1.1021	ok
8	0.0007	0.0006	0.0006	0.9074	1.1093	ok
7	0.0006	0.0005	0.0006	0.9015	1.1386	ok
6	0.0006	0.0004	0.0005	0.8783	1.2393	ok
5	0.0005	0.0003	0.0004	0.8069	1.1729	ok
4	0.0004	0.0003	0.0003	0.8526	1.5364	ok
3	0.0002	0.0002	0.0002	0.6509	1.8914	ok
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0871	1.9931	ok
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.2149	-	ok

Çizelge A.6 : Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği Kontrolü-Y Yönü.

B2-Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği Kontrolü-Y Yönü Depremi						
Kat	OrtalamaGörelî Kat Deplasmanları			$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort}$	Kontrol
	$(\Delta_i/h)_{max}$	$(\Delta_i/h)_{min}$	$(\Delta_i/h)_{ort}$			
22	0.0007	0.0006	0.0007	-	0.9964	ok
21	0.0007	0.0006	0.0007	1.0036	0.9979	ok
20	0.0007	0.0006	0.0007	1.0021	0.9620	ok
19	0.0007	0.0007	0.0007	1.0395	1.0203	ok
18	0.0007	0.0007	0.0007	0.9801	1.0310	ok
17	0.0007	0.0006	0.0007	0.9699	1.0248	ok
16	0.0007	0.0006	0.0006	0.9758	1.0407	ok
15	0.0006	0.0006	0.0006	0.9609	1.0292	ok
14	0.0006	0.0006	0.0006	0.9716	1.0431	ok
13	0.0006	0.0006	0.0006	0.9587	1.0329	ok
12	0.0006	0.0005	0.0006	0.9682	1.0776	ok
11	0.0006	0.0005	0.0005	0.9280	1.0903	ok
10	0.0005	0.0004	0.0005	0.9172	1.0526	ok
9	0.0005	0.0004	0.0005	0.9500	1.1381	ok
8	0.0005	0.0003	0.0004	0.8787	1.0929	ok
7	0.0004	0.0003	0.0004	0.9150	1.1169	ok
6	0.0004	0.0003	0.0003	0.8953	1.0891	ok
5	0.0004	0.0002	0.0003	0.9182	0.8871	ok
4	0.0004	0.0003	0.0003	1.1273	1.3526	ok
3	0.0003	0.0002	0.0002	0.7393	1.7233	ok
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.3953	1.9330	ok
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0934	-	ok

Çizelge A.7 : X Yönü Modal KütLe Katılımı.

X Yönü Modal KütLe Katılımı			
Mod	Period	UX	ToplamUx
1	2.6712	36.6815	36.6815
2	2.31676	0.6989	37.3805
3	1.9826	5.0507	42.4312
4	0.75294	14.7561	57.1872
5	0.61476	0.5491	57.7364
6	0.5262	0.0683	57.8046
7	0.33888	4.9934	62.798
8	0.32701	2.9726	65.7706
9	0.22561	0.017	65.7876
10	0.20488	0.2481	66.0357
11	0.19043	4.5623	70.598
12	0.1397	0.2636	70.8616
13	0.12826	1.7775	72.6391
14	0.125	1.1383	73.7774
15	0.10017	0.3548	74.1322
16	0.0919	1.4994	75.6316
17	0.08569	0.2603	75.8919
18	0.07828	0.42	76.3119
19	0.07149	0.7201	77.0319
20	0.06782	0.758	77.7899
21	0.06289	0.6108	78.4007
22	0.05975	0.1588	78.5595
23	0.05559	1.1335	79.693
24	0.05218	0.9662	80.6592
25	0.04985	0.0129	80.672
26	0.04663	0.4062	81.0782
27	0.04528	2.5978	83.6761
28	0.04286	0.0717	83.7478
29	0.04084	0.5065	84.2543
30	0.03995	4.5912	88.8455

Çizelge A.7 (Devam) : X Yönü Modal Kütle Katılımı

31	0.0373	0.0002	88.8457
32	0.03638	0.002	88.8477
33	0.03575	3.5948	92.4425
34	0.03325	0.009	92.4514
35	0.03309	0.1577	92.6091
36	0.03212	2.2153	94.8244
37	0.03034	0.1094	94.9339
38	0.02991	0.012	94.9458
39	0.02918	1.3378	96.2836
40	0.02771	0.0147	96.2983
41	0.02684	0.5051	96.8033
42	0.02647	0.026	96.8294
43	0.02625	0.0027	96.8321
44	0.02484	0.0966	96.9287
45	0.02474	0.0529	96.9816
46	0.02416	0.0164	96.998
47	0.02379	0.0014	96.9994
48	0.02323	0.0014	97.0007
49	0.02294	0.0544	97.0552
50	0.0218	0.0001	97.0553

Çizelge A.8 : Y Yönü Modal Kütle Katılımı.

Y Yönü Modal Kütle Katılımı			
Mod	Period	UY	ToplamUy
1	2.6712	0.287	0.287
2	2.31676	41.0781	41.3652
3	1.9826	0.8637	42.2289
4	0.75294	0.0153	42.2442
5	0.61476	3.797	46.0412
6	0.5262	14.9858	61.027
7	0.33888	0.5627	61.5897
8	0.32701	1.1825	62.7722
9	0.22561	9.682	72.4542
10	0.20488	0.0375	72.4916
11	0.19043	0.0365	72.5282
12	0.1397	0.9299	73.458
13	0.12826	2.3694	75.8274
14	0.125	2.3194	78.1469
15	0.10017	0.0243	78.1711
16	0.0919	0.3864	78.5576
17	0.08569	3.5531	82.1107
18	0.07828	0.6075	82.7182
19	0.07149	0.3494	83.0676
20	0.06782	1.7366	84.8042
21	0.06289	1.3021	86.1064
22	0.05975	0.7131	86.8195
23	0.05559	0.0949	86.9144
24	0.05218	0.3313	87.2457
25	0.04985	2.8129	90.0585
26	0.04663	0.0252	90.0837
27	0.04528	0.0148	90.0985
28	0.04286	0.8557	90.9542
29	0.04084	0.0368	90.991
30	0.03995	0.0477	91.0387
31	0.0373	0.0168	91.0556
32	0.03638	0.0307	91.0863
33	0.03575	0.006	91.0923
34	0.03325	1.2734	92.3657
35	0.03309	0.1788	92.5445

Çizelge A.8 (Devam) : Y Yönü Modal Kütle Katılımı.

34	0.03325	1.2734	92.3657
35	0.03309	0.1788	92.5445
36	0.03212	0.0053	92.5498
37	0.03034	0.418	92.9678
38	0.02991	0.8452	93.8131
39	0.02918	0.0044	93.8175
40	0.02771	0.0121	93.8295
41	0.02684	0.1261	93.9557
42	0.02647	1.0017	94.9574
43	0.02625	0.0271	94.9845
44	0.02484	0.0011	94.9855
45	0.02474	0.1481	95.1336
46	0.02416	2.0042	97.1378
47	0.02379	0.8471	97.985
48	0.02323	1.3575	99.3425
49	0.02294	0.0611	99.4036
50	0.0218	0	99.4036

Çizelge A.9 : Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü-X Doğrultusu.

Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü-X Doğrultusu							
Kat	Deprem	Nokta	X	Y	Z	Drift-X	0.02/R
Kat22	SPECX	253	17.367	22	63	0.00329	ok
Kat21	SPECX	253	17.367	22	59.85	0.00327	ok
Kat20	SPECX	253	17.367	22	56.7	0.00321	ok
Kat19	SPECX	253	17.367	22	53.55	0.00317	ok
Kat18	SPECX	253	17.367	22	50.4	0.00308	ok
Kat17	SPECX	253	17.367	22	47.25	0.00304	ok
Kat16	SPECX	253	17.367	22	44.1	0.00301	ok
Kat15	SPECX	253	17.367	22	40.95	0.00291	ok
Kat14	SPECX	253	17.367	22	37.8	0.00289	ok
Kat13	SPECX	253	17.367	22	34.65	0.00286	ok
Kat12	SPECX	253	17.367	22	31.5	0.00287	ok
Kat11	SPECX	253	17.367	22	28.35	0.00272	ok
Kat10	SPECX	253	17.367	22	25.2	0.00255	ok
Kat9	SPECX	253	17.367	22	22.05	0.00235	ok
Kat8	SPECX	354	10.2	22	18.9	0.00217	ok
Kat7	SPECX	345	28.55	22	15.75	0.00199	ok
Kat6	SPECX	253	17.367	22	12.6	0.00176	ok
Kat5	SPECX	253	17.367	22	9.45	0.00149	ok
Kat4	SPECX	253	17.367	22	6.3	0.00116	ok
Kat3	SPECX	253	17.367	22	3.15	0.00073	ok
Kat2	SPECX	307	36.85	27.3	0	6.1E-05	ok
Kat1	SPECX	327	53.15	0	-3.15	1.4E-05	ok

Çizelge A.10 : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü-Y Doğrultusu.

Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü-Y Doğrultusu							
Kat	Deprem	Nokta	X	Y	Z	Drift-Y	0.02/R
Kat22	SPECY	108	30.05	7.1	63	0.00219	ok
Kat21	SPECY	108	30.05	7.1	59.85	0.0022	ok
Kat20	SPECY	108	30.05	7.1	56.7	0.00221	ok
Kat19	SPECY	108	30.05	7.1	53.55	0.00221	ok
Kat18	SPECY	108	30.05	7.1	50.4	0.00219	ok
Kat17	SPECY	108	30.05	7.1	47.25	0.00216	ok
Kat16	SPECY	108	30.05	7.1	44.1	0.00211	ok
Kat15	SPECY	108	30.05	7.1	40.95	0.00204	ok
Kat14	SPECY	108	30.05	7.1	37.8	0.00197	ok
Kat13	SPECY	108	30.05	7.1	34.65	0.0019	ok
Kat12	SPECY	108	30.05	7.1	31.5	0.00183	ok
Kat11	SPECY	108	30.05	7.1	28.35	0.00174	ok
Kat10	SPECY	108	30.05	7.1	25.2	0.00163	ok
Kat9	SPECY	108	30.05	7.1	22.05	0.00153	ok
Kat8	SPECY	110	33.25	6	18.9	0.00148	ok
Kat7	SPECY	110	33.25	6	15.75	0.00135	ok
Kat6	SPECY	110	33.25	6	12.6	0.00121	ok
Kat5	SPECY	114	38.75	6	9.45	0.00112	ok
Kat4	SPECY	60	54.25	22	6.3	0.00100	ok
Kat3	SPECY	60	54.25	22	3.15	0.00091	ok
Kat2	SPECY	60	54.25	22	0	0.00032	ok
Kat1	SPECY	201	54.25	26.24	-3.15	2.9E-05	ok

Çizelge A.11 : X Yönü Modal Kütle Katılımı.

X Yönü Modal Kütle Katılımı			
Mod	Period	UX	ToplamUx
1	2.6712	36.708	36.7078
2	2.3168	0.9062	37.6139
3	1.9826	4.8178	42.4318
4	0.7529	14.846	57.2775
5	0.6148	0.5422	57.8197
6	0.5262	0.0695	57.8893
7	0.3389	3.5786	61.4678
8	0.327	4.5559	66.0237
9	0.2256	0.0151	66.0388
10	0.2049	0.1789	66.2177
11	0.1904	4.8553	71.0731
12	0.1397	0.2238	71.2969
13	0.1283	1.9402	73.237
14	0.125	1.2744	74.5114
15	0.1002	0.3397	74.8511
16	0.0919	1.7909	76.642
17	0.0857	0.3248	76.9667
18	0.0783	0.4201	77.3868
19	0.0715	0.6475	78.0343
20	0.0678	1.4592	79.4935
21	0.0629	0.713	80.2065
22	0.0598	0.4108	80.6173
23	0.0556	1.9946	82.6118
24	0.0522	1.1631	83.775
25	0.0498	0.2737	84.0487
26	0.0466	2.7274	86.7761
27	0.0453	1.8218	88.5978
28	0.0429	0.4853	89.0831
29	0.0408	3.1063	92.1894
30	0.0399	0.4944	92.6838
31	0.0373	0.037	92.7208
32	0.0364	0.1236	92.8444
33	0.0358	1.5279	94.3723
34	0.0333	0.0226	94.3949
35	0.0331	0.247	94.6419
36	0.0321	0.751	95.3929

Çizelge A.11 (Devam) : X Yönü Modal Kütle Katılımı.

37	0.0303	0.0598	95.4527
38	0.0299	0.0514	95.5041
39	0.0292	0.4922	95.9963
40	0.0277	0.0153	96.0116
41	0.0268	0.0317	96.0433
42	0.0265	0.1987	96.242
43	0.0262	0.0018	96.2438
44	0.0248	0.0026	96.2463
45	0.0247	0.0057	96.2521
46	0.0242	0.0762	96.3283
47	0.0238	0.0024	96.3306
48	0.0232	0.0001	96.3308
49	0.0229	0.0015	96.3323
50	0.0218	0.0008	96.3331

Çizelge A.12 : Y Yönü Modal Kütle Katılımı.

Y Yönü Modal Kütle Katılımı			
Mod	Period	UY	ToplamUy
1	2.6712	0.4556	0.4556
2	2.3168	40.922	41.3777
3	1.9826	0.7728	42.1505
4	0.7529	0.0189	42.1694
5	0.6148	4.1992	46.3686
6	0.5262	15.101	61.4692
7	0.3389	0.9402	62.4094
8	0.327	0.9034	63.3128
9	0.2256	9.8825	73.1953
10	0.2049	0.0097	73.205
11	0.1904	0.0227	73.2278
12	0.1397	1.0528	74.2806
13	0.1283	2.4104	76.691
14	0.125	2.4076	79.0986
15	0.1002	0.0299	79.1284
16	0.0919	0.4517	79.5801
17	0.0857	3.8838	83.4639
18	0.0783	0.5942	84.0581
19	0.0715	0.4982	84.5563
20	0.0678	0.9225	85.4788
21	0.0629	1.6013	87.0801
22	0.0598	0.9473	88.0274
23	0.0556	0.0339	88.0613
24	0.0522	0.6311	88.6924
25	0.0498	1.5565	90.2488
26	0.0466	0.0043	90.2531
27	0.0453	0.0135	90.2666
28	0.0429	0.0009	90.2675
29	0.0408	0.0157	90.2832
30	0.0399	0.0064	90.2897
31	0.0373	1.6337	91.9234
32	0.0364	0.0696	91.993
33	0.0358	0.0002	91.9931
34	0.0333	1.4679	93.4611
35	0.0331	0	93.4611

Çizelge A.12 (Devam) : Y Yönü Modal Kütle Katılımı.

36	0.0321	0.0007	93.4618
37	0.0303	0.4457	93.9075
38	0.0299	0.6669	94.5744
39	0.0292	0.0128	94.5872
40	0.0277	0.1251	94.7123
41	0.0268	2.3933	97.1056
42	0.0265	0.8013	97.9069
43	0.0262	0.0139	97.9207
44	0.0248	0.379	98.2997
45	0.0247	0.0002	98.2999
46	0.0242	0.0023	98.3023
47	0.0238	0.0018	98.3041
48	0.0232	0	98.3041
49	0.0229	0.0008	98.3049
50	0.0218	0.0003	98.3052

Çizelge A.13 : Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü-X Doğrultusu.

Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü-X Doğrultusu							
Kat	Deprem	Nokta	X	Y	Z	Drift-X	0.01/R
Kat22	SPECX	253	17.367	22	63	0.00532	ok
Kat21	SPECX	253	17.367	22	59.85	0.0054	ok
Kat20	SPECX	253	17.367	22	56.7	0.00545	ok
Kat19	SPECX	253	17.367	22	53.55	0.00545	ok
Kat18	SPECX	253	17.367	22	50.4	0.00539	ok
Kat17	SPECX	253	17.367	22	47.25	0.0053	ok
Kat16	SPECX	253	17.367	22	44.1	0.00516	ok
Kat15	SPECX	253	17.367	22	40.95	0.00499	ok
Kat14	SPECX	253	17.367	22	37.8	0.00477	ok
Kat13	SPECX	253	17.367	22	34.65	0.00459	ok
Kat12	SPECX	253	17.367	22	31.5	0.0044	ok
Kat11	SPECX	253	17.367	22	28.35	0.00419	ok
Kat10	SPECX	253	17.367	22	25.2	0.00394	ok
Kat9	SPECX	253	17.367	22	22.05	0.00364	ok
Kat8	SPECX	354	10.2	22	18.9	0.00339	ok
Kat7	SPECX	345	28.55	22	15.75	0.00312	ok
Kat6	SPECX	253	17.367	22	12.6	0.00278	ok
Kat5	SPECX	253	17.367	22	9.45	0.00239	ok
Kat4	SPECX	253	17.367	22	6.3	0.0019	ok
Kat3	SPECX	253	17.367	22	3.15	0.00125	ok
Kat2	SPECX	307	36.85	27.3	0	0.00015	ok
Kat1	SPECX	327	53.15	0	-3.15	3.7E-05	ok

Çizelge A.14 : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü-Y Doğrultusu.

Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü-Y Doğrultusu							
Kat	Deprem	Nokta	X	Y	Z	Drift-Y	0.01/R
Kat22	SPECX	253	17.367	22	63	0.00386	ok
Kat21	SPECX	253	17.367	22	59.85	0.00389	ok
Kat20	SPECX	253	17.367	22	56.7	0.0039	ok
Kat19	SPECX	253	17.367	22	53.55	0.00389	ok
Kat18	SPECX	253	17.367	22	50.4	0.00385	ok
Kat17	SPECX	253	17.367	22	47.25	0.00379	ok
Kat16	SPECX	253	17.367	22	44.1	0.0037	ok
Kat15	SPECX	253	17.367	22	40.95	0.00358	ok
Kat14	SPECX	253	17.367	22	37.8	0.00345	ok
Kat13	SPECX	253	17.367	22	34.65	0.00332	ok
Kat12	SPECX	253	17.367	22	31.5	0.00318	ok
Kat11	SPECX	253	17.367	22	28.35	0.00303	ok
Kat10	SPECX	253	17.367	22	25.2	0.00285	ok
Kat9	SPECX	253	17.367	22	22.05	0.00266	ok
Kat8	SPECX	354	10.2	22	18.9	0.00258	ok
Kat7	SPECX	345	28.55	22	15.75	0.00237	ok
Kat6	SPECX	253	17.367	22	12.6	0.00213	ok
Kat5	SPECX	253	17.367	22	9.45	0.002	ok
Kat4	SPECX	253	17.367	22	6.3	0.00224	ok
Kat3	SPECX	253	17.367	22	3.15	0.00173	ok
Kat2	SPECX	307	36.85	27.3	0	0.00069	ok
Kat1	SPECX	327	53.15	0	-3.15	7.8E-05	ok

EK B**Çizelge B.1 : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü- X Doğrultusu.**

Deprem Kaydı			irp-it-h1		loma-p-b-h1		loma-p-c-h1	
Nokta	Yön	Kat	max	min	max	min	max	min
		0	0	0	0	0	0	0
1	H1	1	0.0020	-0.0001	0.0020	-0.0001	0.0020	0.0000
1	H1	2	0.0025	-0.0003	0.0025	-0.0002	0.0025	-0.0002
1	H1	3	0.0031	-0.0044	0.0032	-0.0041	0.0036	-0.0037
1	H1	4	0.0044	-0.0074	0.0049	-0.0066	0.0056	-0.0061
1	H1	5	0.0046	-0.0083	0.0061	-0.0083	0.0067	-0.0080
1	H1	6	0.0044	-0.0084	0.0068	-0.0094	0.0072	-0.0093
1	H1	7	0.0046	-0.0084	0.0079	-0.0101	0.0072	-0.0098
1	H1	8	0.0047	-0.0083	0.0085	-0.0102	0.0071	-0.0096
1	H1	9	0.0053	-0.0085	0.0089	-0.0111	0.0074	-0.0091
1	H1	10	0.0063	-0.0088	0.0091	-0.0141	0.0075	-0.0083
1	H1	11	0.0069	-0.0088	0.0094	-0.0171	0.0075	-0.0085
1	H1	12	0.0072	-0.0103	0.0095	-0.0193	0.0073	-0.0085
1	H1	13	0.0078	-0.0115	0.0103	-0.0209	0.0079	-0.0091
1	H1	14	0.0080	-0.0127	0.0126	-0.0220	0.0085	-0.0100
1	H1	15	0.0082	-0.0149	0.0153	-0.0227	0.0105	-0.0110
1	H1	16	0.0084	-0.0168	0.0184	-0.0228	0.0124	-0.0136
1	H1	17	0.0086	-0.0179	0.0209	-0.0229	0.0147	-0.0164
1	H1	18	0.0087	-0.0195	0.0226	-0.0236	0.0159	-0.0181
1	H1	19	0.0099	-0.0214	0.0238	-0.0246	0.0165	-0.0192
1	H1	20	0.0105	-0.0227	0.0243	-0.0251	0.0168	-0.0196
1	H1	21	0.0107	-0.0231	0.0243	-0.0252	0.0170	-0.0196
1	H1	22	0.0106	-0.0229	0.0239	-0.0251	0.0168	-0.0193
4	H1	1	0.0001	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.0000	-0.0001
4	H1	2	0.0002	-0.0002	0.0002	-0.0004	0.0002	-0.0002
4	H1	3	0.0022	-0.0021	0.0029	-0.0042	0.0032	-0.0025
4	H1	4	0.0035	-0.0032	0.0045	-0.0060	0.0050	-0.0039
4	H1	5	0.0041	-0.0040	0.0053	-0.0068	0.0062	-0.0048
4	H1	6	0.0043	-0.0042	0.0066	-0.0075	0.0069	-0.0054
4	H1	7	0.0042	-0.0043	0.0074	-0.0084	0.0074	-0.0057
4	H1	8	0.0045	-0.0042	0.0078	-0.0101	0.0076	-0.0057
4	H1	9	0.0048	-0.0041	0.0080	-0.0119	0.0077	-0.0055
4	H1	10	0.0050	-0.0042	0.0081	-0.0138	0.0076	-0.0053
4	H1	11	0.0053	-0.0049	0.0080	-0.0151	0.0069	-0.0052

Çizelge B.1 (Devam) : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü X Doğrultusu.

4	H1	12	0.0056	-0.0052	0.0081	-0.0158	0.0056	-0.0045
4	H1	13	0.0058	-0.0054	0.0089	-0.016	0.0066	-0.0047
4	H1	14	0.0058	-0.006	0.0108	-0.0161	0.0084	-0.0056
4	H1	15	0.006	-0.0063	0.013	-0.0167	0.0112	-0.0069
4	H1	16	0.0075	-0.0063	0.0148	-0.0178	0.0135	-0.0079
4	H1	17	0.0094	-0.0065	0.0162	-0.0205	0.0148	-0.0084
4	H1	18	0.011	-0.0068	0.0171	-0.0227	0.0155	-0.009
4	H1	19	0.0122	-0.0083	0.0176	-0.0243	0.0161	-0.0098
4	H1	20	0.0129	-0.0093	0.0177	-0.0252	0.0165	-0.0102
4	H1	21	0.013	-0.0096	0.0176	-0.0254	0.0166	-0.0102
4	H1	22	0.0128	-0.0095	0.0174	-0.0252	0.0164	-0.0099
Deprem Kaydı			loma-p-b-h2		loma-p-c-h2		loma-p-ha-h2	
Nokta	Yön	Kat	max	min	max	min	max	min
		0	0	0	0	0	0	0
1	H1	1	0.0001	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.0001	-0.0001
1	H1	2	0.0008	-0.0007	0.0005	-0.0005	0.0006	-0.0007
1	H1	3	0.0043	-0.0065	0.0022	-0.0023	0.0035	-0.0042
1	H1	4	0.0065	-0.0117	0.0034	-0.0039	0.0051	-0.0069
1	H1	5	0.0076	-0.0136	0.004	-0.0048	0.006	-0.0084
1	H1	6	0.0079	-0.0148	0.0045	-0.0058	0.0067	-0.0092
1	H1	7	0.0082	-0.016	0.005	-0.007	0.0079	-0.0101
1	H1	8	0.0086	-0.0168	0.0053	-0.0079	0.0088	-0.0107
1	H1	9	0.0091	-0.0175	0.0058	-0.0087	0.0094	-0.0112
1	H1	10	0.0102	-0.0184	0.0063	-0.0095	0.0098	-0.0115
1	H1	11	0.0127	-0.0188	0.0069	-0.0102	0.0096	-0.0113
1	H1	12	0.0148	-0.0188	0.0076	-0.0107	0.0092	-0.0117
1	H1	13	0.0166	-0.0185	0.0081	-0.0111	0.009	-0.0124
1	H1	14	0.0185	-0.0197	0.0086	-0.0115	0.0102	-0.0134
1	H1	15	0.0203	-0.0208	0.0091	-0.012	0.0116	-0.0147
1	H1	16	0.0217	-0.022	0.0096	-0.0134	0.0129	-0.0158
1	H1	17	0.0229	-0.0235	0.0098	-0.0147	0.0141	-0.0166
1	H1	18	0.0237	-0.0245	0.0099	-0.0155	0.015	-0.0171
1	H1	19	0.0243	-0.0251	0.01	-0.0161	0.0158	-0.0175

Çizelge B.1 (Devam) : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü X Doğrultusu.

1	H1	20	0.0245	-0.0255	0.01	-0.0164	0.0162	-0.0176
1	H1	21	0.0245	-0.0256	0.0099	-0.0164	0.0164	-0.0175
1	H1	22	0.0245	-0.0256	0.0099	-0.0163	0.0163	-0.0174
4	H1	1	0.0001	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.0001	-0.0001
4	H1	2	0.0014	-0.0011	0.0007	-0.0007	0.001	-0.0012
4	H1	3	0.0058	-0.0044	0.003	-0.003	0.0034	-0.0042
4	H1	4	0.0084	-0.0074	0.0046	-0.0047	0.0051	-0.0063
4	H1	5	0.0099	-0.01	0.006	-0.0065	0.007	-0.0074
4	H1	6	0.0109	-0.0122	0.0076	-0.0081	0.0092	-0.0081
4	H1	7	0.0111	-0.0133	0.0089	-0.009	0.0104	-0.0079
4	H1	8	0.0111	-0.0141	0.0102	-0.0097	0.0111	-0.0081
4	H1	9	0.0109	-0.0143	0.0113	-0.0104	0.0113	-0.0085
4	H1	10	0.0105	-0.0142	0.0123	-0.0108	0.0114	-0.0092
4	H1	11	0.0132	-0.014	0.0132	-0.0113	0.0111	-0.0109
4	H1	12	0.0156	-0.0136	0.014	-0.012	0.0111	-0.0123
4	H1	13	0.0176	-0.013	0.0149	-0.0126	0.0115	-0.0135
4	H1	14	0.0194	-0.0132	0.0156	-0.0135	0.012	-0.0144
4	H1	15	0.0213	-0.0148	0.0165	-0.0144	0.0126	-0.0151
4	H1	16	0.0235	-0.0161	0.0174	-0.0151	0.0136	-0.0157
4	H1	17	0.0254	-0.0171	0.0182	-0.0156	0.0143	-0.0162
4	H1	18	0.0268	-0.0177	0.0185	-0.0159	0.0147	-0.0165
4	H1	19	0.0278	-0.0185	0.0186	-0.0161	0.0148	-0.0166
4	H1	20	0.0284	-0.0188	0.0186	-0.0161	0.0147	-0.0166
4	H1	21	0.0285	-0.0189	0.0185	-0.016	0.0146	-0.0165
4	H1	22	0.0284	-0.0187	0.0184	-0.0159	0.0145	-0.0163
Deprem Kaydı			loma-p-ha-h1		loma-p-ho-h1		morg-h-l-h1	
Nokta	Yön	Kat	max	min	max	min	max	min
		0	0	0	0	0	0	0
1	H1	1	0.002	-0.0001	0.002	0	0.002	-0.0001
1	H1	2	0.0025	-0.0002	0.0025	-0.0002	0.0025	-0.0002
1	H1	3	0.0046	-0.0044	0.004	-0.004	0.004	-0.0038
1	H1	4	0.007	-0.0071	0.0062	-0.0068	0.006	-0.0066
1	H1	5	0.0085	-0.009	0.0075	-0.0095	0.0075	-0.0091
1	H1	6	0.0099	-0.0106	0.0088	-0.0118	0.0086	-0.0108
1	H1	7	0.0106	-0.0116	0.0099	-0.0133	0.0091	-0.0118

Çizelge B.1 (Devam) : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü X Doğrultusu.

1	H1	8	0.0112	-0.012	0.0106	-0.0142	0.0094	-0.0121
1	H1	9	0.0121	-0.0123	0.011	-0.0147	0.0097	-0.0119
1	H1	10	0.0134	-0.0135	0.0113	-0.0148	0.0097	-0.0113
1	H1	11	0.0146	-0.0156	0.0113	-0.0147	0.0098	-0.01
1	H1	12	0.0154	-0.0174	0.0112	-0.0153	0.0099	-0.009
1	H1	13	0.0158	-0.0196	0.0111	-0.0169	0.0102	-0.0114
1	H1	14	0.016	-0.022	0.0122	-0.0185	0.0114	-0.0144
1	H1	15	0.0161	-0.0241	0.0135	-0.0206	0.0125	-0.0174
1	H1	16	0.0162	-0.0256	0.0145	-0.0239	0.0135	-0.0199
1	H1	17	0.0168	-0.0272	0.0151	-0.026	0.0146	-0.0219
1	H1	18	0.0176	-0.0293	0.0153	-0.027	0.0159	-0.0232
1	H1	19	0.0188	-0.0311	0.0152	-0.0276	0.0173	-0.0241
1	H1	20	0.0198	-0.0321	0.0152	-0.0278	0.0179	-0.0244
1	H1	21	0.02	-0.0324	0.015	-0.0278	0.018	-0.0244
1	H1	22	0.0199	-0.0322	0.0148	-0.0275	0.0177	-0.0242
4	H1	1	0.0001	-0.0001	0	0	0.0001	-0.0001
4	H1	2	0.0003	-0.0002	0.0002	-0.0002	0.0002	-0.0002
4	H1	3	0.0042	-0.003	0.0028	-0.0029	0.0033	-0.0026
4	H1	4	0.0064	-0.005	0.0046	-0.0046	0.0051	-0.004
4	H1	5	0.0078	-0.0059	0.0056	-0.0058	0.0061	-0.0045
4	H1	6	0.0085	-0.0064	0.0062	-0.0064	0.0064	-0.0048
4	H1	7	0.0086	-0.0064	0.0068	-0.0066	0.0065	-0.0049
4	H1	8	0.0083	-0.0068	0.0073	-0.007	0.0068	-0.0052
4	H1	9	0.0083	-0.0074	0.0076	-0.0075	0.0071	-0.0055
4	H1	10	0.0092	-0.008	0.0078	-0.008	0.0074	-0.0057
4	H1	11	0.0103	-0.0084	0.0078	-0.0083	0.0074	-0.0057
4	H1	12	0.0116	-0.0097	0.0078	-0.0084	0.007	-0.0052
4	H1	13	0.0125	-0.0114	0.0077	-0.0085	0.0067	-0.005
4	H1	14	0.0132	-0.0132	0.0076	-0.009	0.0065	-0.0057
4	H1	15	0.0138	-0.015	0.0085	-0.0102	0.0075	-0.0066
4	H1	16	0.0145	-0.0163	0.0091	-0.0115	0.0086	-0.0075
4	H1	17	0.0165	-0.0172	0.0096	-0.0124	0.0093	-0.0083
4	H1	18	0.0182	-0.0178	0.0097	-0.0128	0.0098	-0.0089
4	H1	19	0.0195	-0.0181	0.0097	-0.0137	0.01	-0.0091

Çizelge B.1 (Devam) : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü X Doğrultusu.

4	H1	20	0.0203	-0.0184	0.0096	-0.0142	0.0103	-0.0092
4	H1	21	0.0205	-0.0184	0.0094	-0.0143	0.0107	-0.0091
4	H1	22	0.0203	-0.0182	0.0092	-0.0141	0.0107	-0.0089
Deprem Kaydı			morg-h-r-h1		irp-it-h2		loma-p-ho-h2	
Nokta	Yön	Kat	max	min	max	min	max	min
		0	0	0	0	0	0	0
1	H1	1	0.002	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.0001	-0.0001
1	H1	2	0.0025	-0.0002	0.0006	-0.0006	0.0008	-0.0005
1	H1	3	0.004	-0.0038	0.0025	-0.0033	0.0044	-0.0034
1	H1	4	0.006	-0.0066	0.0037	-0.0048	0.0065	-0.0055
1	H1	5	0.0075	-0.0091	0.0045	-0.0056	0.0076	-0.0068
1	H1	6	0.0086	-0.0108	0.0049	-0.0057	0.008	-0.0078
1	H1	7	0.0091	-0.0118	0.0054	-0.0058	0.0084	-0.0094
1	H1	8	0.0094	-0.0121	0.0059	-0.0057	0.0084	-0.0108
1	H1	9	0.0097	-0.0119	0.0062	-0.0056	0.0083	-0.012
1	H1	10	0.0097	-0.0113	0.0066	-0.0057	0.0095	-0.0131
1	H1	11	0.0098	-0.01	0.007	-0.0057	0.0104	-0.0139
1	H1	12	0.0099	-0.009	0.0071	-0.006	0.0109	-0.0148
1	H1	13	0.0102	-0.0114	0.0072	-0.0066	0.011	-0.0154
1	H1	14	0.0114	-0.0144	0.0077	-0.0069	0.0108	-0.016
1	H1	15	0.0125	-0.0174	0.0083	-0.008	0.0123	-0.017
1	H1	16	0.0135	-0.0199	0.0087	-0.0098	0.0137	-0.0178
1	H1	17	0.0146	-0.0219	0.009	-0.0113	0.0147	-0.0184
1	H1	18	0.0159	-0.0232	0.0092	-0.0123	0.0155	-0.0188
1	H1	19	0.0173	-0.0241	0.0098	-0.013	0.0161	-0.019
1	H1	20	0.0179	-0.0244	0.0101	-0.0133	0.0164	-0.0191
1	H1	21	0.018	-0.0244	0.0102	-0.0133	0.0165	-0.019
1	H1	22	0.0177	-0.0242	0.01	-0.0132	0.0165	-0.0189
4	H1	1	0.0001	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.0001	-0.0001
4	H1	2	0.0002	-0.0002	0.001	-0.001	0.0013	-0.0009
4	H1	3	0.0033	-0.0026	0.0038	-0.0032	0.0052	-0.0035
4	H1	4	0.0051	-0.004	0.0049	-0.0042	0.0074	-0.0053
4	H1	5	0.0061	-0.0045	0.006	-0.005	0.0088	-0.0066
4	H1	6	0.0064	-0.0048	0.0068	-0.0054	0.0098	-0.0073
4	H1	7	0.0065	-0.0049	0.0071	-0.0052	0.0101	-0.0074

Çizelge B.1 (Devam) : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü X Doğrultusu.

4	H1	8	0.0068	-0.0052	0.0072	-0.0052	0.0101	-0.0074
4	H1	9	0.0071	-0.0055	0.0069	-0.005	0.01	-0.0072
4	H1	10	0.0074	-0.0057	0.0061	-0.0053	0.0098	-0.0068
4	H1	11	0.0074	-0.0057	0.0048	-0.0061	0.0095	-0.0064
4	H1	12	0.007	-0.0052	0.0053	-0.0065	0.0097	-0.0067
4	H1	13	0.0067	-0.005	0.0067	-0.0066	0.0108	-0.0075
4	H1	14	0.0065	-0.0057	0.0084	-0.0069	0.0124	-0.0087
4	H1	15	0.0075	-0.0066	0.0106	-0.0089	0.0142	-0.0098
4	H1	16	0.0086	-0.0075	0.0127	-0.0107	0.0159	-0.0106
4	H1	17	0.0093	-0.0083	0.014	-0.012	0.0172	-0.0114
4	H1	18	0.0098	-0.0089	0.0149	-0.0129	0.0182	-0.0122
4	H1	19	0.01	-0.0091	0.0153	-0.0136	0.0188	-0.0126
4	H1	20	0.0103	-0.0092	0.0153	-0.0142	0.0191	-0.0127
4	H1	21	0.0107	-0.0091	0.0152	-0.0144	0.0191	-0.0126
4	H1	22	0.0107	-0.0089	0.0152	-0.0143	0.0189	-0.0125
Deprem Kaydı			morg-h-l-h2		morg-h-r-h2		Ortalama	
Nokta	Yön	Kat	max	min	max	min	max	min
		0	0	0	0	0	0	0
1	H1	1	0.0001	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.0001	-0.0001
1	H1	2	0.0008	-0.0007	0.0008	-0.0007	0.002	-0.0002
1	H1	3	0.0036	-0.0037	0.0036	-0.0037	0.0036	-0.004
1	H1	4	0.0053	-0.0057	0.0053	-0.0057	0.0054	-0.0067
1	H1	5	0.0062	-0.0065	0.0062	-0.0065	0.0065	-0.0088
1	H1	6	0.0064	-0.0068	0.0064	-0.0068	0.0071	-0.0102
1	H1	7	0.0073	-0.008	0.0073	-0.008	0.0077	-0.011
1	H1	8	0.0083	-0.009	0.0083	-0.009	0.0082	-0.0112
1	H1	9	0.0093	-0.0103	0.0093	-0.0103	0.0087	-0.0114
1	H1	10	0.0101	-0.0119	0.0101	-0.0119	0.0093	-0.0117
1	H1	11	0.0105	-0.0132	0.0105	-0.0132	0.0098	-0.0121
1	H1	12	0.0107	-0.0141	0.0107	-0.0141	0.0101	-0.0127
1	H1	13	0.0108	-0.0147	0.0108	-0.0147	0.0105	-0.0144
1	H1	14	0.0117	-0.0151	0.0117	-0.0151	0.0114	-0.0163
1	H1	15	0.0124	-0.0158	0.0124	-0.0158	0.0125	-0.0183
1	H1	16	0.013	-0.0169	0.013	-0.0169	0.0135	-0.0203
1	H1	17	0.0136	-0.018	0.0136	-0.018	0.0145	-0.022

Çizelge B.1 (Devam) : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü X Doğrultusu.

1	H1	18	0.014	-0.0191	0.014	-0.0191	0.0153	-0.0234
1	H1	19	0.0144	-0.0202	0.0144	-0.0202	0.016	-0.0246
1	H1	20	0.0146	-0.0208	0.0146	-0.0208	0.0163	-0.0252
1	H1	21	0.0146	-0.021	0.0146	-0.021	0.0164	-0.0253
1	H1	22	0.0146	-0.0209	0.0146	-0.0209	0.0163	-0.025
4	H1	1	0.0001	-0.0002	0.0001	-0.0002	0.0001	-0.0001
4	H1	2	0.0013	-0.0011	0.0013	-0.0011	0.0007	-0.0002
4	H1	3	0.0046	-0.0036	0.0046	-0.0036	0.0037	-0.0028
4	H1	4	0.0062	-0.0058	0.0062	-0.0058	0.0055	-0.0044
4	H1	5	0.0074	-0.0079	0.0074	-0.0079	0.0067	-0.0052
4	H1	6	0.0087	-0.0097	0.0087	-0.0097	0.0076	-0.0056
4	H1	7	0.0096	-0.0105	0.0096	-0.0105	0.0081	-0.0059
4	H1	8	0.0102	-0.011	0.0102	-0.011	0.0085	-0.0063
4	H1	9	0.011	-0.0113	0.011	-0.0113	0.0088	-0.0068
4	H1	10	0.0123	-0.0119	0.0123	-0.0119	0.0091	-0.0073
4	H1	11	0.0136	-0.0125	0.0136	-0.0125	0.0094	-0.0076
4	H1	12	0.0144	-0.0128	0.0144	-0.0128	0.0098	-0.0077
4	H1	13	0.015	-0.0133	0.015	-0.0133	0.0105	-0.008
4	H1	14	0.0152	-0.0144	0.0152	-0.0144	0.0112	-0.0087
4	H1	15	0.0157	-0.0157	0.0157	-0.0157	0.0124	-0.0097
4	H1	16	0.0162	-0.0169	0.0162	-0.0169	0.0137	-0.0107
4	H1	17	0.0167	-0.018	0.0167	-0.018	0.0148	-0.0116
4	H1	18	0.017	-0.0187	0.017	-0.0187	0.0156	-0.0124
4	H1	19	0.0175	-0.0191	0.0175	-0.0191	0.0161	-0.0132
4	H1	20	0.0178	-0.0193	0.0178	-0.0193	0.0164	-0.0136
4	H1	21	0.0178	-0.0192	0.0178	-0.0192	0.0164	-0.0137
4	H1	22	0.0176	-0.0191	0.0176	-0.0191	0.0163	-0.0135

Çizelge B.2 : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü- Y Doğrultusu.

Deprem Kaydı			irp-it-h2		loma-p-b-h2		loma-p-c-h2	
Nokta	Yön	Kat	max	min	max	min	max	min
		0	0	0	0	0	0	0
2	H2	1	0.0001	-1E-04	0.0001	-1E-04	8E-05	-8E-05
2	H2	2	0.0006	-6E-04	0.0008	-7E-04	0.0005	-5E-04
2	H2	3	0.0025	-0.003	0.0043	-0.006	0.0022	-0.002
2	H2	4	0.0037	-0.005	0.0065	-0.012	0.0034	-0.004
2	H2	5	0.0045	-0.006	0.0076	-0.014	0.004	-0.005
2	H2	6	0.0049	-0.006	0.0079	-0.015	0.0045	-0.006
2	H2	7	0.0054	-0.006	0.0082	-0.016	0.005	-0.007
2	H2	8	0.0059	-0.006	0.0086	-0.017	0.0053	-0.008
2	H2	9	0.0062	-0.006	0.0091	-0.018	0.0058	-0.009
2	H2	10	0.0066	-0.006	0.0102	-0.018	0.0063	-0.01
2	H2	11	0.007	-0.006	0.0127	-0.019	0.0069	-0.01
2	H2	12	0.0071	-0.006	0.0148	-0.019	0.0076	-0.011
2	H2	13	0.0072	-0.007	0.0166	-0.019	0.0081	-0.011
2	H2	14	0.0077	-0.007	0.0185	-0.02	0.0086	-0.011
2	H2	15	0.0083	-0.008	0.0203	-0.021	0.0091	-0.012
2	H2	16	0.0087	-0.01	0.0217	-0.022	0.0096	-0.013
2	H2	17	0.009	-0.011	0.0229	-0.023	0.0098	-0.015
2	H2	18	0.0092	-0.012	0.0237	-0.024	0.0099	-0.016
2	H2	19	0.0098	-0.013	0.0243	-0.025	0.01	-0.016
2	H2	20	0.0101	-0.013	0.0245	-0.025	0.01	-0.016
2	H2	21	0.0102	-0.013	0.0245	-0.026	0.0099	-0.016
2	H2	22	0.01	-0.013	0.0245	-0.026	0.0099	-0.016
3	H2	1	0.0001	-1E-04	0.0001	-1E-04	9E-05	-8E-05
3	H2	2	0.001	-1E-03	0.0014	-0.001	0.0007	-7E-04
3	H2	3	0.0038	-0.003	0.0058	-0.004	0.003	-0.003
3	H2	4	0.0049	-0.004	0.0084	-0.007	0.0046	-0.005
3	H2	5	0.006	-0.005	0.0099	-0.01	0.006	-0.007
3	H2	6	0.0068	-0.005	0.0109	-0.012	0.0076	-0.008
3	H2	7	0.0071	-0.005	0.0111	-0.013	0.0089	-0.009
3	H2	8	0.0072	-0.005	0.0111	-0.014	0.0102	-0.01
3	H2	9	0.0069	-0.005	0.0109	-0.014	0.0113	-0.01
3	H2	10	0.0061	-0.005	0.0105	-0.014	0.0123	-0.011
3	H2	11	0.0048	-0.006	0.0132	-0.014	0.0132	-0.011
3	H2	12	0.0053	-0.007	0.0156	-0.014	0.014	-0.012
3	H2	13	0.0067	-0.007	0.0176	-0.013	0.0149	-0.013
3	H2	14	0.0084	-0.007	0.0194	-0.013	0.0156	-0.014

Çizelge B.2 (Devam) : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü Y Doğrultusu.

Deprem Kaydı			irp-it-h2		loma-p-b-h2		loma-p-c-h2	
Nokta	Yön	Kat	max	min	max	min	max	min
		0	0	0	0	0	0	0
2	H2	1	0.0001	-1.00E-04	0.0001	-1.00E-04	8.00E-05	-8.00E-05
2	H2	2	0.0006	-6.00E-04	0.0008	-7.00E-04	0.0005	-5.00E-04
2	H2	3	0.0025	-0.003	0.0043	-0.006	0.0022	-0.002
2	H2	4	0.0037	-0.005	0.0065	-0.012	0.0034	-0.004
2	H2	5	0.0045	-0.006	0.0076	-0.014	0.004	-0.005
2	H2	6	0.0049	-0.006	0.0079	-0.015	0.0045	-0.006
2	H2	7	0.0054	-0.006	0.0082	-0.016	0.005	-0.007
2	H2	8	0.0059	-0.006	0.0086	-0.017	0.0053	-0.008
2	H2	9	0.0062	-0.006	0.0091	-0.018	0.0058	-0.009
2	H2	10	0.0066	-0.006	0.0102	-0.018	0.0063	-0.01
2	H2	11	0.007	-0.006	0.0127	-0.019	0.0069	-0.01
2	H2	12	0.0071	-0.006	0.0148	-0.019	0.0076	-0.011
2	H2	13	0.0072	-0.007	0.0166	-0.019	0.0081	-0.011
2	H2	14	0.0077	-0.007	0.0185	-0.02	0.0086	-0.011
2	H2	15	0.0083	-0.008	0.0203	-0.021	0.0091	-0.012
2	H2	16	0.0087	-0.01	0.0217	-0.022	0.0096	-0.013
2	H2	17	0.009	-0.011	0.0229	-0.023	0.0098	-0.015
2	H2	18	0.0092	-0.012	0.0237	-0.024	0.0099	-0.016
2	H2	19	0.0098	-0.013	0.0243	-0.025	0.01	-0.016
2	H2	20	0.0101	-0.013	0.0245	-0.025	0.01	-0.016
2	H2	21	0.0102	-0.013	0.0245	-0.026	0.0099	-0.016
2	H2	22	0.01	-0.013	0.0245	-0.026	0.0099	-0.016
3	H2	1	0.0001	-1.00E-04	0.0001	-1.00E-04	9.00E-05	-8.00E-05
3	H2	2	0.001	-1.00E-03	0.0014	-0.001	0.0007	-7.00E-04
3	H2	3	0.0038	-0.003	0.0058	-0.004	0.003	-0.003
3	H2	4	0.0049	-0.004	0.0084	-0.007	0.0046	-0.005
3	H2	5	0.006	-0.005	0.0099	-0.01	0.006	-0.007
3	H2	6	0.0068	-0.005	0.0109	-0.012	0.0076	-0.008
3	H2	7	0.0071	-0.005	0.0111	-0.013	0.0089	-0.009
3	H2	8	0.0072	-0.005	0.0111	-0.014	0.0102	-0.01
3	H2	9	0.0069	-0.005	0.0109	-0.014	0.0113	-0.01

Çizelge B.2 (Devam) : Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü Y Doğrultusu.

3	H2	10	0.0061	-0.005	0.0105	-0.014	0.0123	-0.011
3	H2	11	0.0048	-0.006	0.0132	-0.014	0.0132	-0.011
3	H2	12	0.0053	-0.007	0.0156	-0.014	0.014	-0.012
3	H2	13	0.0067	-0.007	0.0176	-0.013	0.0149	-0.013
3	H2	14	0.0084	-0.007	0.0194	-0.013	0.0156	-0.014
3	H2	15	0.0106	-0.009	0.0213	-0.015	0.0165	-0.014
3	H2	16	0.0127	-0.011	0.0235	-0.016	0.0174	-0.015
3	H2	17	0.014	-0.012	0.0254	-0.017	0.0182	-0.016
3	H2	18	0.0149	-0.013	0.0268	-0.018	0.0185	-0.016
3	H2	19	0.0153	-0.014	0.0278	-0.018	0.0186	-0.016
3	H2	20	0.0153	-0.014	0.0284	-0.019	0.0186	-0.016
3	H2	21	0.0152	-0.014	0.0285	-0.019	0.0185	-0.016
3	H2	22	0.0152	-0.014	0.0284	-0.019	0.0184	-0.016
Deprem Kaydı			loma-p-ha-h2		loma-p-ho-h2		morg-h-l-h2	
Nokta	Yön	Kat	max	min	max	min	max	min
		0	0	0	0	0	0	0
2	H2	1	0.0001	-1.00E-04	0.0001	-9.00E-05	0.0001	-1.00E-04
2	H2	2	0.0006	-7.00E-04	0.0008	-5.00E-04	0.0008	-7.00E-04
2	H2	3	0.0035	-0.004	0.0044	-0.003	0.0036	-0.004
2	H2	4	0.0051	-0.007	0.0065	-0.005	0.0053	-0.006
2	H2	5	0.006	-0.008	0.0076	-0.007	0.0062	-0.006
2	H2	6	0.0067	-0.009	0.008	-0.008	0.0064	-0.007
2	H2	7	0.0079	-0.01	0.0084	-0.009	0.0073	-0.008
2	H2	8	0.0088	-0.011	0.0084	-0.011	0.0083	-0.009
2	H2	9	0.0094	-0.011	0.0083	-0.012	0.0093	-0.01
2	H2	10	0.0098	-0.011	0.0095	-0.013	0.0101	-0.012
2	H2	11	0.0096	-0.011	0.0104	-0.014	0.0105	-0.013
2	H2	12	0.0092	-0.012	0.0109	-0.015	0.0107	-0.014
2	H2	13	0.009	-0.012	0.011	-0.015	0.0108	-0.015
2	H2	14	0.0102	-0.013	0.0108	-0.016	0.0117	-0.015
2	H2	15	0.0116	-0.015	0.0123	-0.017	0.0124	-0.016
2	H2	16	0.0129	-0.016	0.0137	-0.018	0.013	-0.017
2	H2	17	0.0141	-0.017	0.0147	-0.018	0.0136	-0.018
2	H2	18	0.015	-0.017	0.0155	-0.019	0.014	-0.019
2	H2	19	0.0158	-0.017	0.0161	-0.019	0.0144	-0.02

Çizelge B.2 (Devam) : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü Y Doğrultusu.

2	H2	20	0.0162	-0.018	0.0164	-0.019	0.0146	-0.021
2	H2	21	0.0164	-0.018	0.0165	-0.019	0.0146	-0.021
2	H2	22	0.0163	-0.017	0.0165	-0.019	0.0146	-0.021
3	H2	1	0.0001	-1.00E-04	0.0001	-9.00E-05	0.0001	-2.00E-04
3	H2	2	0.001	-0.001	0.0013	-9.00E-04	0.0013	-0.001
3	H2	3	0.0034	-0.004	0.0052	-0.003	0.0046	-0.004
3	H2	4	0.0051	-0.006	0.0074	-0.005	0.0062	-0.006
3	H2	5	0.007	-0.007	0.0088	-0.007	0.0074	-0.008
3	H2	6	0.0092	-0.008	0.0098	-0.007	0.0087	-0.01
3	H2	7	0.0104	-0.008	0.0101	-0.007	0.0096	-0.011
3	H2	8	0.0111	-0.008	0.0101	-0.007	0.0102	-0.011
3	H2	9	0.0113	-0.008	0.01	-0.007	0.011	-0.011
3	H2	10	0.0114	-0.009	0.0098	-0.007	0.0123	-0.012
3	H2	11	0.0111	-0.011	0.0095	-0.006	0.0136	-0.012
3	H2	12	0.0111	-0.012	0.0097	-0.007	0.0144	-0.013
3	H2	13	0.0115	-0.014	0.0108	-0.008	0.015	-0.013
3	H2	14	0.012	-0.014	0.0124	-0.009	0.0152	-0.014
3	H2	15	0.0126	-0.015	0.0142	-0.01	0.0157	-0.016
3	H2	16	0.0136	-0.016	0.0159	-0.011	0.0162	-0.017
3	H2	17	0.0143	-0.016	0.0172	-0.011	0.0167	-0.018
3	H2	18	0.0147	-0.017	0.0182	-0.012	0.017	-0.019
3	H2	19	0.0148	-0.017	0.0188	-0.013	0.0175	-0.019
3	H2	20	0.0147	-0.017	0.0191	-0.013	0.0178	-0.019
3	H2	21	0.0146	-0.016	0.0191	-0.013	0.0178	-0.019
3	H2	22	0.0145	-0.016	0.0189	-0.012	0.0176	-0.019
Deprem Kaydı			morg-h-r-h2		irp-it-h1		loma-p-b-h1	
Nokta	Yön	Kat	max	min	max	min	max	min
		0	0	0	0	0	0	0
2	H2	1	0.0001	-1.00E-04	0.002	-6.00E-05	0.002	-6.00E-05
2	H2	2	0.0008	-7.00E-04	0.0025	-3.00E-04	0.0025	-2.00E-04
2	H2	3	0.0036	-0.004	0.0031	-0.004	0.0032	-0.004
2	H2	4	0.0053	-0.006	0.0044	-0.007	0.0049	-0.007
2	H2	5	0.0062	-0.006	0.0046	-0.008	0.0061	-0.008
2	H2	6	0.0064	-0.007	0.0044	-0.008	0.0068	-0.009
2	H2	7	0.0073	-0.008	0.0046	-0.008	0.0079	-0.01

Çizelge B.2 (Devam) : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü Y Doğrultusu.

2	H2	8	0.0083	-0.009	0.0047	-0.008	0.0085	-0.01
2	H2	9	0.0093	-0.01	0.0053	-0.009	0.0089	-0.011
2	H2	10	0.0101	-0.012	0.0063	-0.009	0.0091	-0.014
2	H2	11	0.0105	-0.013	0.0069	-0.009	0.0094	-0.017
2	H2	12	0.0107	-0.014	0.0072	-0.01	0.0095	-0.019
2	H2	13	0.0108	-0.015	0.0078	-0.011	0.0103	-0.021
2	H2	14	0.0117	-0.015	0.008	-0.013	0.0126	-0.022
2	H2	15	0.0124	-0.016	0.0082	-0.015	0.0153	-0.023
2	H2	16	0.013	-0.017	0.0084	-0.017	0.0184	-0.023
2	H2	17	0.0136	-0.018	0.0086	-0.018	0.0209	-0.023
2	H2	18	0.014	-0.019	0.0087	-0.02	0.0226	-0.024
2	H2	19	0.0144	-0.02	0.0099	-0.021	0.0238	-0.025
2	H2	20	0.0146	-0.021	0.0105	-0.023	0.0243	-0.025
2	H2	21	0.0146	-0.021	0.0107	-0.023	0.0243	-0.025
2	H2	22	0.0146	-0.021	0.0106	-0.023	0.0239	-0.025
3	H2	1	0.0001	-2.00E-04	5.00E-05	-6.00E-05	7.00E-05	-8.00E-05
3	H2	2	0.0013	-0.001	0.0002	-2.00E-04	0.0002	-4.00E-04
3	H2	3	0.0046	-0.004	0.0022	-0.002	0.0029	-0.004
3	H2	4	0.0062	-0.006	0.0035	-0.003	0.0045	-0.006
3	H2	5	0.0074	-0.008	0.0041	-0.004	0.0053	-0.007
3	H2	6	0.0087	-0.01	0.0043	-0.004	0.0066	-0.007
3	H2	7	0.0096	-0.011	0.0042	-0.004	0.0074	-0.008
3	H2	8	0.0102	-0.011	0.0045	-0.004	0.0078	-0.01
3	H2	9	0.011	-0.011	0.0048	-0.004	0.008	-0.012
3	H2	10	0.0123	-0.012	0.005	-0.004	0.0081	-0.014
3	H2	11	0.0136	-0.012	0.0053	-0.005	0.008	-0.015
3	H2	12	0.0144	-0.013	0.0056	-0.005	0.0081	-0.016
3	H2	13	0.015	-0.013	0.0058	-0.005	0.0089	-0.016
3	H2	14	0.0152	-0.014	0.0058	-0.006	0.0108	-0.016
3	H2	15	0.0157	-0.016	0.006	-0.006	0.013	-0.017
3	H2	16	0.0162	-0.017	0.0075	-0.006	0.0148	-0.018
3	H2	17	0.0167	-0.018	0.0094	-0.006	0.0162	-0.02
3	H2	18	0.017	-0.019	0.011	-0.007	0.0171	-0.023
3	H2	19	0.0175	-0.019	0.0122	-0.008	0.0176	-0.024
3	H2	20	0.0178	-0.019	0.0129	-0.009	0.0177	-0.025
3	H2	21	0.0178	-0.019	0.013	-0.01	0.0176	-0.025

Çizelge B.2 (Devam) : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü Y Doğrultusu.

3	H2	22	0.0176	-0.019	0.0128	-0.009	0.0174	-0.025
Deprem Kaydı			loma-p-c-h1		loma-p-ha-h1		loma-p-ho-h1	
Nokta	Yön	Kat	max	min	max	min	max	min
		0	0	0	0	0	0	0
2	H2	1	0.002	-4.00E-05	0.002	-6.00E-05	0.002	-4.00E-05
2	H2	2	0.0025	-2.00E-04	0.0025	-2.00E-04	0.0025	-2.00E-04
2	H2	3	0.0036	-0.004	0.0046	-0.004	0.004	-0.004
2	H2	4	0.0056	-0.006	0.007	-0.007	0.0062	-0.007
2	H2	5	0.0067	-0.008	0.0085	-0.009	0.0075	-0.009
2	H2	6	0.0072	-0.009	0.0099	-0.011	0.0088	-0.012
2	H2	7	0.0072	-0.01	0.0106	-0.012	0.0099	-0.013
2	H2	8	0.0071	-0.01	0.0112	-0.012	0.0106	-0.014
2	H2	9	0.0074	-0.009	0.0121	-0.012	0.011	-0.015
2	H2	10	0.0075	-0.008	0.0134	-0.014	0.0113	-0.015
2	H2	11	0.0075	-0.008	0.0146	-0.016	0.0113	-0.015
2	H2	12	0.0073	-0.008	0.0154	-0.017	0.0112	-0.015
2	H2	13	0.0079	-0.009	0.0158	-0.02	0.0111	-0.017
2	H2	14	0.0085	-0.01	0.016	-0.022	0.0122	-0.019
2	H2	15	0.0105	-0.011	0.0161	-0.024	0.0135	-0.021
2	H2	16	0.0124	-0.014	0.0162	-0.026	0.0145	-0.024
2	H2	17	0.0147	-0.016	0.0168	-0.027	0.0151	-0.026
2	H2	18	0.0159	-0.018	0.0176	-0.029	0.0153	-0.027
2	H2	19	0.0165	-0.019	0.0188	-0.031	0.0152	-0.028
2	H2	20	0.0168	-0.02	0.0198	-0.032	0.0152	-0.028
2	H2	21	0.017	-0.02	0.02	-0.032	0.015	-0.028
2	H2	22	0.0168	-0.019	0.0199	-0.032	0.0148	-0.028
3	H2	1	4.00E-05	-5.00E-05	7.00E-05	-6.00E-05	4.00E-05	-4.00E-05
3	H2	2	0.0002	-2.00E-04	0.0003	-2.00E-04	0.0002	-2.00E-04
3	H2	3	0.0032	-0.002	0.0042	-0.003	0.0028	-0.003
3	H2	4	0.005	-0.004	0.0064	-0.005	0.0046	-0.005
3	H2	5	0.0062	-0.005	0.0078	-0.006	0.0056	-0.006
3	H2	6	0.0069	-0.005	0.0085	-0.006	0.0062	-0.006
3	H2	7	0.0074	-0.006	0.0086	-0.006	0.0068	-0.007
3	H2	8	0.0076	-0.006	0.0083	-0.007	0.0073	-0.007
3	H2	9	0.0077	-0.005	0.0083	-0.007	0.0076	-0.008
3	H2	10	0.0076	-0.005	0.0092	-0.008	0.0078	-0.008

Çizelge B.2 (Devam) : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü Y Doğrultusu.

3	H2	11	0.0069	-0.005	0.0103	-0.008	0.0078	-0.008
3	H2	12	0.0056	-0.004	0.0116	-0.01	0.0078	-0.008
3	H2	13	0.0066	-0.005	0.0125	-0.011	0.0077	-0.009
3	H2	14	0.0084	-0.006	0.0132	-0.013	0.0076	-0.009
3	H2	15	0.0112	-0.007	0.0138	-0.015	0.0085	-0.01
3	H2	16	0.0135	-0.008	0.0145	-0.016	0.0091	-0.012
3	H2	17	0.0148	-0.008	0.0165	-0.017	0.0096	-0.012
3	H2	18	0.0155	-0.009	0.0182	-0.018	0.0097	-0.013
3	H2	19	0.0161	-0.01	0.0195	-0.018	0.0097	-0.014
3	H2	20	0.0165	-0.01	0.0203	-0.018	0.0096	-0.014
3	H2	21	0.0166	-0.01	0.0205	-0.018	0.0094	-0.014
3	H2	22	0.0164	-0.01	0.0203	-0.018	0.0092	-0.014
Deprem Kaydı			morg-h-l-h1		morg-h-r-h1		Ortalama	
Nokta	Yön	Kat	max	min	max	min	max	min
		0	0	0	0	0	0	0
2	H2	1	0.002	-6.00E-05	0.002	-6.00E-05	0.0001	-1.00E-04
2	H2	2	0.0025	-2.00E-04	0.0025	-2.00E-04	0.002	-6.00E-04
2	H2	3	0.004	-0.004	0.004	-0.004	0.0036	-0.004
2	H2	4	0.006	-0.007	0.006	-0.007	0.0054	-0.006
2	H2	5	0.0075	-0.009	0.0075	-0.009	0.0065	-0.007
2	H2	6	0.0086	-0.011	0.0086	-0.011	0.0071	-0.008
2	H2	7	0.0091	-0.012	0.0091	-0.012	0.0077	-0.009
2	H2	8	0.0094	-0.012	0.0094	-0.012	0.0082	-0.01
2	H2	9	0.0097	-0.012	0.0097	-0.012	0.0087	-0.011
2	H2	10	0.0097	-0.011	0.0097	-0.011	0.0093	-0.012
2	H2	11	0.0098	-0.01	0.0098	-0.01	0.0098	-0.012
2	H2	12	0.0099	-0.009	0.0099	-0.009	0.0101	-0.013
2	H2	13	0.0102	-0.011	0.0102	-0.011	0.0105	-0.013
2	H2	14	0.0114	-0.014	0.0114	-0.014	0.0114	-0.014
2	H2	15	0.0125	-0.017	0.0125	-0.017	0.0125	-0.015
2	H2	16	0.0135	-0.02	0.0135	-0.02	0.0135	-0.016
2	H2	17	0.0146	-0.022	0.0146	-0.022	0.0145	-0.017
2	H2	18	0.0159	-0.023	0.0159	-0.023	0.0153	-0.018
2	H2	19	0.0173	-0.024	0.0173	-0.024	0.016	-0.019
2	H2	20	0.0179	-0.024	0.0179	-0.024	0.0163	-0.019

Çizelge B.2 (Devam) : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü Y Doğrultusu.

2	H2	21	0.018	-0.024	0.018	-0.024	0.0164	-0.019
2	H2	22	0.0177	-0.024	0.0177	-0.024	0.0163	-0.019
3	H2	1	6.00E-05	-6.00E-05	6.00E-05	-6.00E-05	9.00E-05	-1.00E-04
3	H2	2	0.0002	-2.00E-04	0.0002	-2.00E-04	0.0007	-0.001
3	H2	3	0.0033	-0.003	0.0033	-0.003	0.0037	-0.004
3	H2	4	0.0051	-0.004	0.0051	-0.004	0.0055	-0.006
3	H2	5	0.0061	-0.005	0.0061	-0.005	0.0067	-0.007
3	H2	6	0.0064	-0.005	0.0064	-0.005	0.0076	-0.009
3	H2	7	0.0065	-0.005	0.0065	-0.005	0.0081	-0.009
3	H2	8	0.0068	-0.005	0.0068	-0.005	0.0085	-0.01
3	H2	9	0.0071	-0.005	0.0071	-0.005	0.0088	-0.01
3	H2	10	0.0074	-0.006	0.0074	-0.006	0.0091	-0.01
3	H2	11	0.0074	-0.006	0.0074	-0.006	0.0094	-0.011
3	H2	12	0.007	-0.005	0.007	-0.005	0.0098	-0.011
3	H2	13	0.0067	-0.005	0.0067	-0.005	0.0105	-0.011
3	H2	14	0.0065	-0.006	0.0065	-0.006	0.0112	-0.012
3	H2	15	0.0075	-0.007	0.0075	-0.007	0.0124	-0.013
3	H2	16	0.0086	-0.007	0.0086	-0.007	0.0137	-0.015
3	H2	17	0.0093	-0.008	0.0093	-0.008	0.0148	-0.015
3	H2	18	0.0098	-0.009	0.0098	-0.009	0.0156	-0.016
3	H2	19	0.01	-0.009	0.01	-0.009	0.0161	-0.017
3	H2	20	0.0103	-0.009	0.0103	-0.009	0.0164	-0.017
3	H2	21	0.0107	-0.009	0.0107	-0.009	0.0164	-0.017
3	H2	22	0.0107	-0.009	0.0107	-0.009	0.0163	-0.017

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ersin Deniz ÇINAR

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara– 11.12.1983

E-Posta:ersindenizc@gmail.com

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi