İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME BİR YAPININ DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLE DEPREM GÜVENLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Fatih SEZER

Anabilim Dalı: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı: YAPI MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zekai CELEP

Haziran 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME BİR YAPININ DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLE DEPREM GÜVENLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Fatih SEZER
(501041045)

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

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

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince, bana zamanını ayıran ve hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zekai CELEP'e ve bana yol gösterip bilgisinden faydalandığım değerli meslektaş arkadaşım İnş. Müh. Mustafa ÇEVİK'e teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca her türlü desteği benden esirgemeyen ve bu günlere gelmem de en büyük pay sahibi olan sevgili aileme de teşekkür ederim.

Mayıs, 2007 Fatih SEZER

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **vi**
TABLO LİSTESİ **vii**
ŞEKİL LİSTESİ **ix**
SEMBOL LİSTESİ **xii**
ÖZET **xvi**
SUMMARY **xviii**

1. GİRİŞ **1**

2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ 3
2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı 3
2.2 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Teoriye Göre Hesabı 3
2.3 Plastik Mafsal Hipotezi 5

3. YAPI SİSTEMLERİNİN KAPASİTESİNİ BELİRLEMEDE DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ARTIMSAL İTME ANALİZİ YÖNTEMİ **10**

4. YAPI SİSTEMLERİNİN PERFORMANSA DAYALI TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ **13**
4.1 Binalardan Bilgi Toplanması 13
4.2 Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirmenin Temel İlkeleri 14
4.2.1 Kesit Hasar Sınırları 14
4.2.2 Kesit Hasar Bölgeleri 15
4.3 Bina Deprem Performans Seviyeleri 15
4.3.1 Hemen Kullanım Durumu 15
4.3.2 Can Güvenliği Durumu 16
4.3.3 Göçmenin Önlenmesi Durumu 16
4.3.4 Göçme Durumu 17
4.4 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması 17
4.5 Deprem Hareketi 18
4.6 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri 18
4.7 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar 19
4.8 Depremde Bina Performansının Belirlenmesi 21
4.9 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri 21
4.10 Betonarme Yapıların Yapı Elemanlarında Hasarın Değerlendirilmesi 21
4.11 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri 23
4.11.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi 24
4.11.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi 25
4.11.3 Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi 25
4.12 Plastik Davranışın İdealleştirilmesi 25
4.13 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle İtme Analizi 27
4.14 Birim Şekilldeğiştirme İsteminin Belirlenmesi 32

4.15 Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri 32
4.11 Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının İç Kuvvet Kapasiteleri 33

5. BİNALARIN GÜÇLENDİRİLMESİ 34
5.1 Güçlendirmenin Temel İlkeleri 34
5.2 Güçlendirmede İzlenecek Yol 34
5.3 Güçlendirilen Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi 35
5.4 Güçlendirme Türleri 36
5.5 Eleman Düzeyindeki Güçlendirme Önlemleri 37
5.5.1 Kolonların Sargılanması 37
5.5.2 Kolon Kesitlerinin Büyütülmesi 38
5.5.3 Kirişlerin Sarılması 38
5.6 Yapı Sistemlerinin Tümsel Güçlendirilmesi 39
5.6.1 üçlendirme Perdeleri 39
5.6.2 Güçlendirme Perdelerinin Tasarım Prensipleri 39
5.6.3 Güçlendirme Perdelerinin Hesap Esasları 41
5.6.4 Diğer Güçlendirme Önlemleri 41

6. BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE ÖRNEK İNCELEME 43
6.1 Sistemin Kirişlerinin Eğilme Momenti Kapasitelerinin Bulunması 44
6.1.1 Çerçeve Sistemdeki Elemanların Kesme Kuvveti Kapasitelerinin Belirlenmesi 45
6.1.2 Doğrusal Elastik Hesap (Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi) 46
6.1.3 Kirişlerde Eğilme Momenti Kapasitelerine Karşı Gelen Kesme Kuvveti 48
6.1.4 Kolon Uçlarındaki Moment Kapasitelerinin Hesaplanması 49
6.1.5 Kolonlarda Eğilme Momenti Kapasitelerine Karşı Gelen Kesme Kuvveti 52
6.1.6 Birleşim Bölgesi Kontrolü (Kuşatılmamış) 52
6.1.7 Yatay Yerdeğiştirme Kontrolü 52
6.2 Doğrusal Olmayan Analiz (Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi) 53
6.2.1 Kiriş Kesitlerinin Akma Eğrilikleri 57

7. DOĞRUSAL YÖNTEMLE PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİNE YAPI ÖRNEĞİ 60
7.1 Genel Yapı Bilgileri 60
7.2 Yapının Bilgisayar Programında Modellenmesi 61
7.3 Mod Şekillerinin Belirlenmesi 63
7.4 Kullanılan Yöntem 64
7.4.1 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi 65
7.4.2 Kiriş ve Kolonların Moment Kapasitelerinin Hesabı (M_r) 66
7.5 Bulunan Performans Noktalarında Hasar Kontrolü ve Yönetmelik Karşılaştırılması 73

8.DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLE PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ 77
8.1 Bulunan Performans Noktalarında Hasar Kontrolü ve Yönetmelik Karşılaştırılması 87

9. SONUÇLAR **91**

EK A. (7-8. BÖLÜM) **93**

EK B. (7-8.BÖLÜM) **104**

KAYNAKLAR **109**

ÖZGEÇMİŞ **111**

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
G	: Düşey Sabit Yükler
Q	: Düşey Hareketli Yükler
EX	: x Doğrultusunda Eşdeğer Deprem Yükü
EY	: y Doğrultusunda Eşdeğer Deprem Yükü
MN	: Minimum Hasar Sınırı
GV	: Güvenlik Sınırı
GÇ	: Göçme Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
CG	: Can Güvenliği
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
SAP	: Integrated Software for Structural Analysis and Design

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 4.1	: Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları	14
Tablo 4.2	: Göreli Kat Ötelemesi Sınırları	18
Tablo 4.3	: Binalar İçin Hedeflenen Çok Seviyeli Performans Düzeyleri	19
Tablo 4.4	: Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite (r_s) Oranları	22
Tablo 4.5	: Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite (r_s) Oranları	22
Tablo 4.6	: Betonarme Perdeler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite (r_s) Oranları	23
Tablo 6.1	: Sistemde Düşey Yükler Altında Oluşan İç Kuvvetler	46
Tablo 6.2	: Sistemde Deprem Yükleri Altında Oluşan İç Kuvvetler	47
Tablo 6.3	: Kirişlerin Etki/Kapasite Oranları	48
Tablo 6.4	: Kirişlerde Donatı Oranı	49
Tablo 6.5	: Kirişlerde Kesme Kuvveti Etkisi Oranı	49
Tablo 6.6	: Kolonların/Etki Kapasite Oranları	51
Tablo 6.7	: Kolonlarda Normal Kuvvet Etkisi Oranı	51
Tablo 6.8	: Statik İtme Çözümü Sonucunda Elde Edilen Değerler	54
Tablo 6.9	: Statik İtme Analizi Sonucunda Oluşan Plastik Mafsal Dönmeleri	57
Tablo 6.10	: Toplam Eğrilikler	58
Tablo 6.11	: Donatıdaki ve Betondaki Birim Boy değişimler	59
Tablo 7.1	: Yapının Doğal Titreşim Periyotları	64
Tablo 7.2	: Birinci ve İkinci Mod Kat Ötelemeleri	64
Tablo 7.3	: Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri	65
Tablo 7.4	: Kat Kirişlerinin Moment Kapasiteleri	67
Tablo 7.5	: D-D Eksenindeki Kolonlardaki Moment Kapasiteleri	69
Tablo 7.6	: Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları	69
Tablo 7.7	: D-D Ekseni 1.Kat Kirişleri İçin X Yönündeki Deprem Kuvveti Kuvveti Sonucunda Oluşan Hasar Durumları	70
Tablo 7.8	: D-D Ekseni 1.Kat Tasarım Depremi Etkisinde Kiriş Kesme Tahkiki	71
Tablo 7.9	: Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları	71
Tablo 7.10	: D-D Ekseni 1.Kat Kolonları İçin X ve Y Yönündeki Deprem Kuvveti Sonucunda Oluşan Hasar Durumları	72
Tablo 7.11	: D-D Ekseni 1.Kat Kolonları İçin Tasarım Depremi Etkisi Altında Kolon Kesme Tahkiki	72
Tablo 7.12	: Tasarım Depremi Etkisi Altında Kolon Birleşim Bölgesi Kesme Kontrolü	73

Tablo 7.13 : Tasarım Depremi Etkisinde X ve Y Doğrultusunda Kiriş Ve Kolonların Hasar Durumları 74
Tablo 7.14 : Maksimum Deprem Etkisinde X ve Y Doğrultusunda Kiriş ve Kolonların Hasar Durumları 75
Tablo 7.15 : X Doğrultusunda Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü 76
Tablo 7.16 : Y Doğrultusunda Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü 76
Tablo 8.1 : X ve Y Yönündeki Tepe Yer Değiştirmesi-Taban Kesme Kuvveti Değerleri 80
Tablo 8.2 : X ve Y Yönündeki Modal İvme ve Modal Yerdeğiştirme Değerleri 82
Tablo 8.3 : Performans İstem Durumlarında Tepe Yerdeğiştirmesi İstemleri 83
Tablo 8.4 : Hemen Kullanım Performans Durumunda Her İki Yönde Oluşan Plastik Mafsal Sayıları 84
Tablo 8.5 : Tasarım Depremi Etkisinde X ve Y Doğrultusunda Kiriş ve Kolonların Hasar Durumları 87
Tablo 8.6 : D-D Ekseni 2.Kat Tasarım Depremi Etkisinde Kiriş Kesme Tahkiki 88
Tablo 8.7 : D-D Ekseni 2.Kat Kolonları İçin Tasarım Depremi Etkisi Altında Kolon Kesme Tahkiki 88
Tablo 8.8 : D-D Ekseni 2.Kat Tasarım Depremi Etkisi Altında Kolon Birleşim Bölgesi Kesme Kontrolü 89
Tablo 8.9 : Maksimum Deprem Etkisinde X ve Y Doğrultusunda Kiriş ve Kolonların Hasar Durumları 89
Tablo 8.10 : X Doğrultusunda Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü 90
Tablo 8.11 : Y Doğrultusunda Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü 90

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	: Eğilme Momenti – Eğrilik Diyagramı	**5**
Şekil 2.2	: İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı	6
Şekil 2.3	: Doğrusal Olmayan Şekil Değiştirmeler	7
Şekil 2.4	: Plastik Mafsal Boyu	8
Şekil 3.1	: Doğrusal Olmayan Statik Analizden Elde Edilen Tipik Performans Seviyesi	11
Şekil 4.1	: Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	15
Şekil 4.2	: Eğilme Momenti - Plastik Dönme Bağıntıları	27
Şekil 4.3	: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_{(1)} \geq T_B$)	30
Şekil 4.4	: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_{(1)} \leq T_B$)	31
Şekil 5.1	: Mevcut Bina ve Güçlendirilmiş Binada Etki/Kapasite Oranları	35
Şekil 5.2	: Mevcut Bina ve Güçlendirilmiş Binada Plastik Şekildeğiştirme İstemleri	37
Şekil 5.3	: Kolon Kesitlerinin Büyütülmesi	38
Şekil 6.1	: Betonarme Çerçeve Sistemin Kalıp ve Kat Planı	43
Şekil 6.2	: Kolon - Kiriş Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları	44
Şekil 6.3	: Oluşturulan Çerçeve Sistemin Hesap Modeli ve Yükleme Durumu	45
Şekil 6.4	: Sistemin Düşey Yükler Altında Normal Kuvvet, Kesme Kuvveti ve Moment Diyagramı	46
Şekil 6.5	: Sisteme Etkitilen Eşdeğer Deprem Kuvveti ve Yükleme Durumu	47
Şekil 6.6	: Sistemin Deprem Yükleri Altında Normal Kuvvet, Kesme Kuvveti ve Moment Diyagramı	47
Şekil 6.7	: Kirişlerin Kesme Güvenliği	48
Şekil 6.8	: Betonarme Kesitte Oluşan Kuvvetler	50
Şekil 6.9	: 40cmx40cm lik Kolonun Alt Uçu İçin Etkileşim Diyagramı	50
Şekil 6.10	: 40cmx40cm lik Kolonun Üst Uçu İçin Etkileşim Diyagramı	51
Şekil 6.11	: Sistemin Birinci Titreşim Mod Şekli (T1=0.252 s)	53
Şekil 6.12	: Sisteme Etkitilen Yatay Yükler	54
Şekil 6.13	: Statik İtme Eğrisi	55
Şekil 6.14	: Statik İtme Eğrisinin İki Doğrulu Diyagrama Dönüştürülmesi	55
Şekil 6.15	: Spektral İvme-Spektral Yerdeğiştirme Grafiği	56
Şekil 6.16	: Statik İtme Analizi Sonucunda Oluşan Plastik Mafsallar	56
Şekil 6.17	: Kesitte Oluşan Toplam Eğrilik Sonucu Basınç Bloğu Derinliği	58
Şekil 7.1	: SAP2000 Programında Tanımlanan Kolon Bilgisi	61
Şekil 7.2	: SAP2000 Programında Tanımlanan Kiriş Bilgisi	62
Şekil 7.3	: Tipik Kat Kiriş Yüklemesi	62
Şekil 7.4	: Yapının Üçboyutlu Görünüşü	63
Şekil 7.5	: Kirişler İçin Rijitlik Azaltılması	64

Şekil 7.6 : Farklı Deprem Etkileri İçin İvme Spektrumu 65
Şekil 7.7 : D-D Ekseninin Düşey Yük Moment Diyagramı (Md) 66
Şekil 7.8 : D-D Ekseninin HK Performans Seviyesi İçin Hesaplanan Yüklemesinden Elde Edilen Yatay Yük Moment Diyagramı M_{ex} 66
Şekil 7.9 : Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Kesme Güvenliği 73
Şekil 8.1 : D-D Ekseni Kolon ve Kiriş Elemanlarına Atanan Plastik 77
Şekil 8.2 : Kütlelerle Uyumlu Düşey Yüklerin Tanımlanması 78
Şekil 8.3 : X Yönü Statik İtme Yüklerinin Tanımlanması 78
Şekil 8.4 : Farklı Deprem Etkileri İçin İvme Spektrumu 80
Şekil 8.5 : X Yönüne Ait Statik İtme Eğrisi 81
Şekil 8.6 : Y Yönüne Ait Statik İtme Eğrisi 81
Şekil 8.7 : Tasarım Depremi İçin X Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi 83
Şekil 8.8 : Tasarım Depremi İçin Y Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi 83
Şekil 8.9 : X Yönü Statik İtme Sonucunda Oluşan Plastik Mafsallar 85
Şekil 8.10 : Y Yönü Statik İtme Sonucunda Oluşan Plastik Mafsallar 86
Şekil A.1 : Hemen Kullanım Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Analiz Kiriş Hasar Oranları 94
Şekil A.2 : Hemen Kullanım Performans Durumu İçin Y Yönünde Analiz Kiriş Hasar Oranları 94
Şekil A.3 : Hemen Kullanım Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Analiz Kolon Hasar Oranları 95
Şekil A.4 : Hemen Kullanım Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Analiz Kolon Hasar Oranları 95
Şekil A. 5 : Hemen Kullanım Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kiriş Hasar Oranları 96
Şekil A.6 : Hemen Kullanım Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kiriş Hasar Oranları 96
Şekil A.7 : Hemen Kullanım Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kolon Hasar Oranları 97
Şekil A.8 : Hemen Kullanım Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kiriş Hasar Oranları 97
Şekil A.9 : Can Güvenliği Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Analiz Kiriş Hasar Oranları 98
Şekil A.10 : Can Güvenliği Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Analiz Kiriş Hasar Oranları 98
Şekil A.11 : Can Güvenliği Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Analiz Kolon Hasar Oranları 99
Şekil A.12 : Can Güvenliği Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Analiz Kolon Hasar Oranları 99
Şekil A.13 : Can Güvenliği Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kolon Hasar Oranları 100
Şekil A.14 : Can Güvenliği Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kolon Hasar Oranları 100
Şekil A.15 : Can Güvenliği Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kiriş Hasar Oranları 101
Şekil A.16 : Can Güvenliği Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kiriş Hasar Oranları 101

Şekil A.17 : Hemen Kullanım Performans Seviyesi İçin Doğrusal Analiz X ve Y Doğrultularında Genel Hasar Oranları 102
Şekil A.18 : Hemen Kullanım Performans Seviyesi İçin Doğrusal Olmayan Analiz X ve Y Doğrultularında Genel Hasar Oranları 102
Şekil A.19 : Can Güvenliği Performans Seviyesi İçin Doğrusal Analiz X ve Y Doğrultularında Genel Hasar Oranları 103
Şekil A.20 : Can Güvenliği Performans Seviyesi İçin Doğrusal Olmayan Analiz X ve Y Doğrultularında Genel Hasar Oranları 103
Şekil B.1 : Zemin Kat Kalıp Planı 105
Şekil B.2 : 1.Normal Kat Kalıp Planı 106
Şekil B.3 : 2.Normal Kat Kalıp Planı 107
Şekil B.4 : Donatı Modellemesi İçin Kiriş İsimlendirilmesi 108

SEMBOL LİSTESİ

$A(T_1)$: T_1 periyot değerindeki spektral ivme katsayısı
A_o : Etkin yer ivmesi katsayısı
a_1 : Birinci moda ait modal ivme
$a_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait ivme
a_{y1} : Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
a : Modal yerdeğiştirme
A_c : Kolonun brüt kesit alanı
A_s : Boyuna donatı alanı
b : Kesit genişliği
b_w : Kiriş gövde genişiliği
C_{R1} : Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme
d : Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği,modal yerdeğiştirme
d_1 : Birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(p)}$: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi
D : Düşey yükler doğrultusuna paralel doğrultudaki yapı genişliği
e : Güvenlik katsayısı
E : Elastisite modülü, deprem yükü
E_c : Beton elsatisite modülü
EI_0 : Çatlamamış kesit eğilme rijitliği
f_{ck} : Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{cm} : Mevcut beton dayanımı
f_{ctk} : Beton karakteristik çekme dayanımı
f_{ctm} : Mevcut betonun çekme dayanımı
f_{yk} : Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı
F : Toplam yatay yük
F_c : Beton basınç kuvveti
F_s : Çekme donatısı çekme kuvveti
$F_i(M,N,T)$: Malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı doğrusal olmayan fonksiyonlar
F_i : Kütlelerin toplandığı varsayılan noktalara etkiyen eşdeğer deprem yükleri
g : Sabit yük
g_i : Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük
G : Sabit yük
G_i : i'inci kattaki sabit yükler toplamı
h : Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
H_i : Yapının i'inci katının temel seviyesinden yüksekliği
I : Kesitin atalet momenti,yapı önem katsayısı

$K1(\chi,\varepsilon,\gamma)$: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını şekildeğiştirmelere bağlı olarak ifade eden fonksiyon

L_0 : Çatlama

L_1 : Plastik şekildeğiştirmenin başlangıcı

L_2 : Kırılma

l_p : Plastik mafsal boyu

m_x : X ekseni etrafındaki hesap yüküne ait boyutsuz eğilme momenti

M : Eğilme momenti

M_{cap} : Eğilme momenti kapasitesi

M_r : Moment kapasitesi

M_p' : Kesitin eğilme momenti taşıma gücü

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

n : Hesap yüküne ait boyutsuz normal kuvvet, hareketli yük katılım katsayısı

N : Normal kuvvet, binanın kat adedi

N_D : Düşey yükler altında kolonda oluşan eksenel basınç kuvveti

P : Yük parametresi

P_{cr} : Kritik yük

P_G : Göçme yükü

P_i : İşletme yükü, i'inci kattaki hareketli yüklerin toplamı

P_L : Limit yük

P_{L1} : Birinci mertebe limit yük

P_{L2} : İkinci mertebe limit yük

P-Δ : Yük parametresi-Yerdeğiştirme

P-Δl : Yük parametresi-Şekildeğiştirme

q : Hareketli yük

q_i : Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük

Q : Hareketli yük

r : Etki/kapasite oranı

R : Ypı davranış katsayısı

R_a : Deprem yükü azaltma katsayısı

$R_a(T_1)$: T1 periyot değerindeki deprem yükü azaltma katsayısı

R_{y1} : Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı

S : Yapı dinamik katsayısı

S_a : Spektral ivme

S_{ae1} : Birinci moda ait elastik spektral ivme

S_d : Spektral yerdeğiştirme

S_{de1} : Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme

S_{di1} : Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme

$S(T_1)$: T1 periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değeri

t : Kesite etkiyen düzgün sıcaklık değişmesi

$T_1^{(1)}$: Başlangıçtaki (i=1) itme adımında birinci (hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu

T : Kesme kuvveti

T_0 : Zemin hakim periyodu

T_1 : Binanın birinci doğal titreşim periyodu

T_A : Spektrum karakteristik periyodu

T_B : İvme spektrumundaki karakteristik periyot

$\mathbf{T_e}$: Etkin doğal periyot
$\mathbf{u_n}$: Tepe noktası yerdeğiştirmesi
$\mathbf{u_{xN1}^{(i)}}$: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
$\mathbf{u_{xN1}^{(p)}}$: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
$\mathbf{V}$: Kesme kuvveti
$\mathbf{V_b}$: Taban kesme kuvveti
$\mathbf{V_t}$: Eşdeğer deprem yükü yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$\mathbf{V_{x1}^{(i)}}$: x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim) ait taban kesme kuvveti
$\mathbf{w_i}$: Binanın i'inci katının toplam ağırlığı
$\mathbf{W}$: Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
$\boldsymbol{\chi}$: Birim dönme (eğrilik)
$\boldsymbol{\chi_p}$: Kesitin eğilme momentine karşı gelen birim dönme
$\boldsymbol{\Delta}$: Yerdeğiştirme
$\boldsymbol{\Delta F_N}$: Ek eşdeğer deprem yükü
$\boldsymbol{\Delta l_1}$: Doğrusal şekildeğiştirmeler
$\boldsymbol{\Delta l_{p1}}$, $\boldsymbol{\Delta l_{p2}}$: Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler
$\boldsymbol{\delta}$: Yatay yerdeğiştirme
$\boldsymbol{\varepsilon}$: Birim boy değişmesi
$\boldsymbol{\varepsilon_c}$: Beton birim şekildeğiştirmesi
$\boldsymbol{\varepsilon_{cg}}$: Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
$\boldsymbol{\varepsilon_{cu}}$: Beton ezilme birim kısalması
$\boldsymbol{\varepsilon_e}$: Akma şekildeğiştirmesi
$\boldsymbol{\varepsilon_s}$: Donatı şekildeğiştirmesi
$\boldsymbol{\varepsilon_{su}}$: Donatı çeliğinin kopma uzaması
$\boldsymbol{\varepsilon_{sy}}$: Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
$\boldsymbol{\Phi_p}$: Plastik eğrilik istemi
$\boldsymbol{\Phi_t}$: Toplam eğrilik istemi
$\boldsymbol{\Phi_u}$: Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilij
$\boldsymbol{\Phi_y}$: Eşdeğer akma eğriliği
$\boldsymbol{\gamma}$: Birim kaymai bina dinamik katsayısı
$\boldsymbol{\Phi_{xN1}}$: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekil genliği
$\boldsymbol{\Gamma_{x1}}$: x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
$\boldsymbol{\eta_{bi}}$: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
$\boldsymbol{\lambda}$: Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı
$\boldsymbol{\theta_p}$: Plastik dönme
$\boldsymbol{\varphi_1\varphi_2}$: Plastik mafsal dönmeleri
$\boldsymbol{\varphi}$: Kesitin dönmesi
$\boldsymbol{\varphi_p}$: Plastik mafsalın dönmesi
$\mathbf{maks}\boldsymbol{\varphi_p}$: Plastik mafsalın dönme kapasitesi
$\boldsymbol{\mu}$: Süneklik oranı, mekanik donatı oranı
$\boldsymbol{\rho}$: Çekme donatısı oranı
$\boldsymbol{\rho'}$: Basınç donatısı oranı

ρ_b : Dengeli donatı oranı

ρ_{sm} : Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı

σ : Gerilme

σ_e : Akma gerilmesi

σ_p : Orantı sınırı

σk : Kopma gerilmesi

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

ω_B : İvme spektrumundaki karakteristik periyoda karşı gelen doğal açısal frekans

ÖZET

Mevcut yapıların kuvvet esasına dayalı yöntemler yerine, doğrusal olan ve olmayan yöntemler kullanılarak performansının incelenmesi sonucunda; sismik yükler altındaki yapının elastik ötesi davranışı belirlenebilmektedir. Bunun sonucunda yapıda meydana gelebilecek mekanizma durumları, deprem sonrasında gözlenebilecek kapasite kayıpları ve gerekebilecek uygun güçlendirme stratejisinin elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, bu yöntemlere ait özet bilgiler verildikten sonra bir yapının deprem performansının doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle belirlenerek, bu iki yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tezin birinci bölümü konuya giriş ve konuyla ilgili bilgileri içermektedir.

İkinci bölümde, yapı sistemlerinin deprem yükleri altında doğrusal olmayan davranışının göz önüne alınma nedenleri anlatılmış ve ilgili analiz yöntemleri açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, yapı sistemlerinin performans ve kapasitelerini belirlemede kullanılan statik itme yöntemi açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramının açıklaması yapılmıştır.

Beşinci bölümde, yapıların güçlendirilmesi ve bununla ilgili yöntemler yer almaktadır.

Altıncı bölümde, betonarme yapıların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla, düzlem bir çerçeve örneğinin iki farklı yöntemle hesabı yapılmıştır.

Yedinci bölümde, örnek betonarme bir yapının doğrusal analiz yöntemiyle performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

Sekizinci bölümde, aynı yapının doğrusal olmayan yöntemle performansının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Dokuzuncu bölümde, bu iki yöntemle yapılan performans değerlendirmesinin karşılaştırılması ve sonuçları yer almaktadır.

SUMMARY

Instead of conventional linear elastic methods, the nonlinear pushover analysis method possible to analyze the elastoplastic behavior of the structure under seismic loading. Moreover, it's possible to obtain mechanism states, to determine the approximate capacity degradation after an earthquake, and to choose the most efficient strengthening strategy which may be necessary.

The first chapter of the present thesis consists of an introduction to the problem and gives general information about the seismic evaluation of the existing building by using linear and nonlinear methods as described in the Seismic Code (2007).

In the second chapter assumptions related to linear and nonlinear evaluation of structures are explained in detail. The methods used for the linear and nonlinear analysis are defined.

In the third chapter the pushover method used for determining structure's performance and capacity of a structure is explained.

The fourth chapter is devoted to the seismic performance evaluations of existing structures as well as the performance based design of structures.

In the fifth chapter the general method of strengthening of structures are explained briefly, the information is given following Seismic Code (2007).

In the sixth chapter a plane concrete frame example is given, to present the methods in detail. The evaluation is carried out by employing the both method as given in Seismic Code (2007).

In the seventh chapter a concrete structure is investigated to determine the seismic performance by using linear evaluation method.

In the eighth chapter the same example is considered and evaluation is done by using nonlinear method.

1.GİRİŞ

Yönetmeliklerde yer alan ve yapıların yatay yükler altındaki analizleri için kullanılmakta olan yöntemler, genel olarak yapıların deprem etkileri altında doğrusal-elastik davranış göstereceği esasına dayanmaktadır. Deprem etkilerine göre taşıyıcı sistem analizinde, malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını dikkate almak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı kullanılmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı olarak bir deprem yükü azaltma katsayısı ile küçültülmektedir. Doğrusal elastik ötesi davranış tek bir katsayı ile göz önüne alınmaktadır. Dolayısıyla doğrusal-elastik analiz yöntemlerinde yapının davranışı hesaplanan katsayıya bağlı kılınmaktadır. “Doğrusal-elastik davranış” kabulü, analizleri önemli miktarda kolaylaştırmasına ve yapının elastik kapasitesini iyi bir şekilde belirlemesine karşı, yapının göçme mekanizmasının belirlenmesi ve elastik ötesi kapasitesinin devreye sokulması konusunda biraz yetersiz kalmaktadır. Ayrıca doğrusal-elastik analiz yöntemleri ile yapı sisteminin deprem etkileri altındaki performansının anlaşılması belirli bir yaklaşıklıkla mümkün olmaktadır.

Doğrusal olan yöntemde, boyutlamada olduğu gibi elastik ötesi davranışı temsil eden tek bir katsayı yerine her eleman için farklı davranış katsayısı söz konusu olmaktadır.

Son yıllarda meydana gelen depremlerde oluşan hasarın ve ekonomik kayıpların çok büyük miktarda olması, depreme dayanıklı yapı tasarımında hasar kontrolünün, dolayısıyla performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin önemini ortaya çıkarmıştır. Yapı sistemlerinin deprem etkileri altında performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesinde, yapının doğrusal olmayan davranışının belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla kullanılan yöntemler, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri ve doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri ile yapının doğrusal olmayan davranışı gerçeğe yakın bir şekilde belirlenebilmektedir. Ancak doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerini oldukça karmaşık, zaman alıcı olması ve çok fazla sayıda yerel deprem kaydı gerektirmesi, uygulama açısından bu yöntemleri pratik kılmamaktadır.

Bu durumda da doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri önem kazanmaktadır. Yapıların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi, yapının deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden, yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimleri bakımında doğrusal olmayan teoriye (ikinci mertebe elasto-plastik teori) göre elde edilmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinde, yapı deprem yüklerini temsil eden ve kat seviyelerine etki eden yatay yükler ile zorlanmaktadır. Yöntemin uygulanmasında, yatay yükler aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmakta ve belirli bir yerdeğiştirme veya göçme durumuna erişilinceye kadar, yapıya ait yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisi belirlenmektedir.

Taşıyıcı sistem geometrisi ve malzeme değerleri ile ilgili olan kapasite eğrisi olarak adlandırılan yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisi sayesinde, elemanlarda veya yapıda oluşabilecek hasar, kısmi veya toptan göçme durumları elde edilebilmekte, yapının zayıf kesitleri ve bunların oluşma yerleri, yapının göçme durumuna ait limit yük değeri ve göçme anındaki yerdeğiştirme miktarı, yapı sisteminin ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir. Ayrıca dikkate alınan deprem etki seviyesi için, yapının deprem etkileri altında kendisinden istenen performans seviyesini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir.

Genel olarak, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri yapının yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi konusunda basit bir yaklaşımdır ve doğrusal-elastik analiz yöntemlerindeki yetersizlikler ile doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerinin karmaşıklıkları ve uygulamadaki zorlukları arasında bir ara kesit oluşturmaktadır.

2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı

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

1. Malzemenin (beton ve donatı) doğrusal-elastik olmaması nedeniyle, gerilme-şekildeğiştirme (σ-ε) bağıntılarının doğrusal olmaması.
2. Geometri değişimleri nedeniyle, denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Yerdeğiştirmelerin denge denklemlerindeki etkisinin terk edilemeyecek mertebeye ulaştığı sistemlerde, denge denklemleri şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır.

Yerdeğiştirmelerin geometrik uygunluk koşullarındaki etkisinin terk edilemeyecek mertebeye ulaştığı sistemlerde ise, geometrik süreklilik denklemlerinin de şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir.

Malzemenin doğrusal olmayan davranışının ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerine etkisinin dikkate alındığı bu teori İkinci Mertebe Elastoplastik Teori olarak adlandırılmaktadır [1].

2.2 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Teoriye Göre Hesabı

Yapı sistemlerinin yatay kuvvet etkisindeki analizlerinde, genel olarak basitleştirilmiş statik yöntemler kullanılmaktadır. Yönetmeliklerde de yer alan bu yöntemlere göre yapılan analizler, yapıların deprem etkilerine karşı elastik sınırlar içinde davranacağı esasına dayanmaktadır. Doğrusal davranışı esas alan bu yöntemlerde, malzemeye ait gerilme-şekil değiştirme (σ-ε) bağıntıları doğrusal-elastik alınmakta ve yerdeğiştirmelerin sınırlı olduğu varsayılmaktadır. Deprem etkilerine göre yapı sistemlerinin analizinde, malzemenin doğrusal-elastik sınır

ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, yönetmeliklerde taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem yükü azaltma katsayısı ile küçültülmektedir. Dolayısıyla doğrusal-elastik analiz yöntemleri davranış katsayısına bağlıdır ve hesaplanan katsayıya göre bir davranış beklenmektedir. Tek bir katsayı ile elastik ötesi davranış gözönüne alınmaktadır.

Elastik analiz yöntemleri, yapının elastik kapasitesinin iyi bir şekilde belirlenmesine ve ilk elastik ötesi davranışın nerede olabileceğini göstermesine karşı, yapının göçme mekanizmasını belirleyememekte ve elastik ötesi davranışlar sonucu oluşan kuvvet dağılımlarını da dikkate almamaktadır.

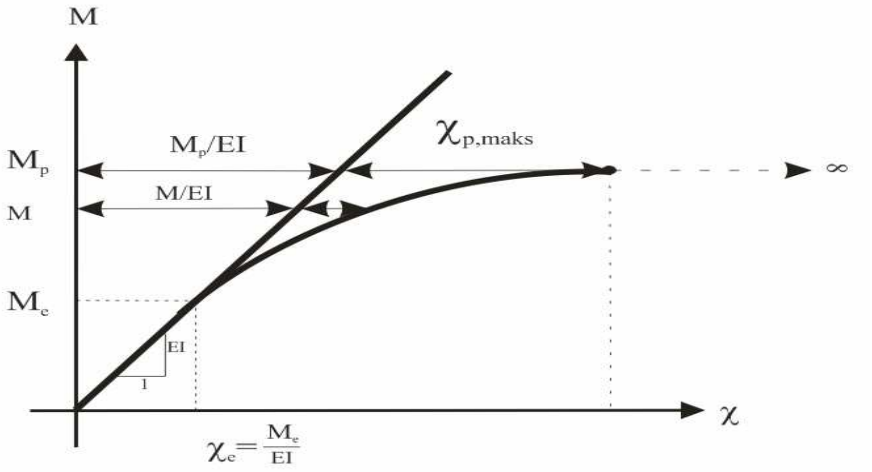
Yapının ömrü boyunca karşılaşması ihtimali düşük olan deprem yüklerinin, sürekli olarak yapı sistemi üzerinde yer alan düşey yükler gibi elastik sınırlar içinde hesaplanması ekonomik olmamaktadır. Bu durumda deprem etkileri altında yapının elastik ötesi kapasitesinin devreye sokulması gerekmektedir ve bu kapasitenin hesaplanabilmesi için doğrusal olmayan analizin daha gerçekçi göz önüne alınması uygundur.

Yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitelerini göz önüne almak, çok küçük olmayan yerdeğiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarını daha yakından izlemek ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler üretmek mümkündür. Ayrıca doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden faydalanarak, deprem etkileri altında yapı sistemlerinin performansları belirlenebilir.

Yapı sistemlerinin malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan analizinde hesap yöntemleri, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin sistem üzerinde sürekli olması durumunun dikkate alındığı yöntemler ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsal (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davrandığı kabulünün yapıldığı plastik mafsal (plastik kesit) hipotezine dayanan yöntemler olarak ayrılmaktadır [1].

2.3 Plastik Mafsal Hipotezi

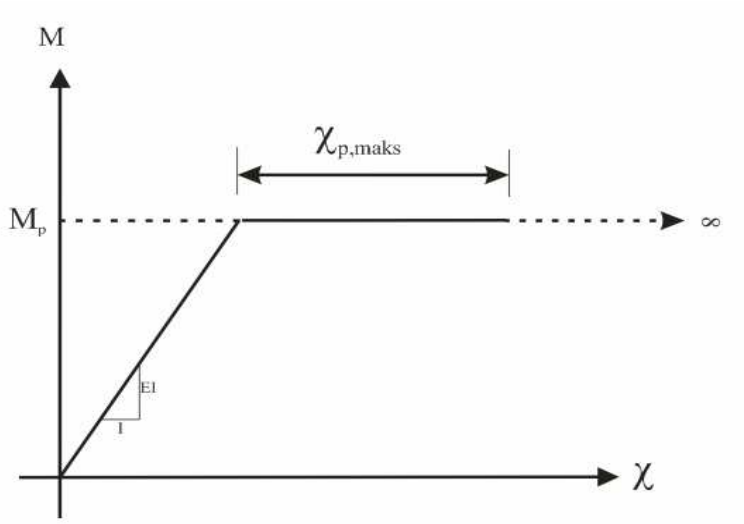
Betonarme kesitlerde moment etkisi altında dönme meydana gelir. Yeterli sünekliğe sahip betonarme kesitleri eğilme momenti-eğrilik (M-χ) ilişkileri incelendiğinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntılarının esas olarak iki farklı bölgeden oluştukları gözlenmektedir. Birinci bölgede, eğilme momentinin düşük değerleri için, betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik bağıntıları doğrusal-elastik olarak kabul edilebilir. Bu bölgede, kesitteki beton ve donatı çeliği de doğrusal davranış bölgesinde kalmaktadır. Eğilme momentinin artan değerleri için, sırasıyla kesitte çatlama ve donatıda akma meydana gelmektedir. Kesitteki gerilmelerin artmasıyla birlikte, betonda ve donatı çeliğinde doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin kesitin davranışında hakim olmaya başlaması, kesitin eğilme momenti-eğrilik bağıntısının doğrusal davranışı terk etmesine neden olmaktadır. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde, eğri yataya yakın olmaktadır. Plastik davranışın hakim olduğu bu bölgede, kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük artımlar meydana gelirken kesit dönmeleri ve eğrilik hızlı bir şekilde artmakta ve eğriliğin sınır değerine erişmesi ile kesitte güç tükenmesi meydana gelmektedir [2].



Şekil 2.1: Eğilme Momenti – Eğrilik Diyagramı

Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge, biri yatay olmak üzere iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir. Bu iki nokta kesin bir nokta ile birbirinden ayrılmamasına rağmen, çekme donatısının akmaya erişmesi ve betondaki birim kısalmanın ε_{co} sınır değerine ulaşması, bu iki doğrusal davranışı birbirinden ayıran nokta olarak kabul edilebilmektedir [3].

Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsal (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davrandığı varsayılabilir. Plastik dönmelerin bu şekilde belirli bir bölgede toplanması plastik mafsal (plastik kesit) olarak adlandırılmaktadır. Plastik mafsallarda kesit dönmeleri eğilme momentinin en büyük değerine (M_p) ulaşması ile ortaya çıkmaktadır. Plastik mafsalı, adi mafsaldan ayıran en önemli özellik, kesitte sabit bir momentin bulunmasıdır.



Şekil 2.2: İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı

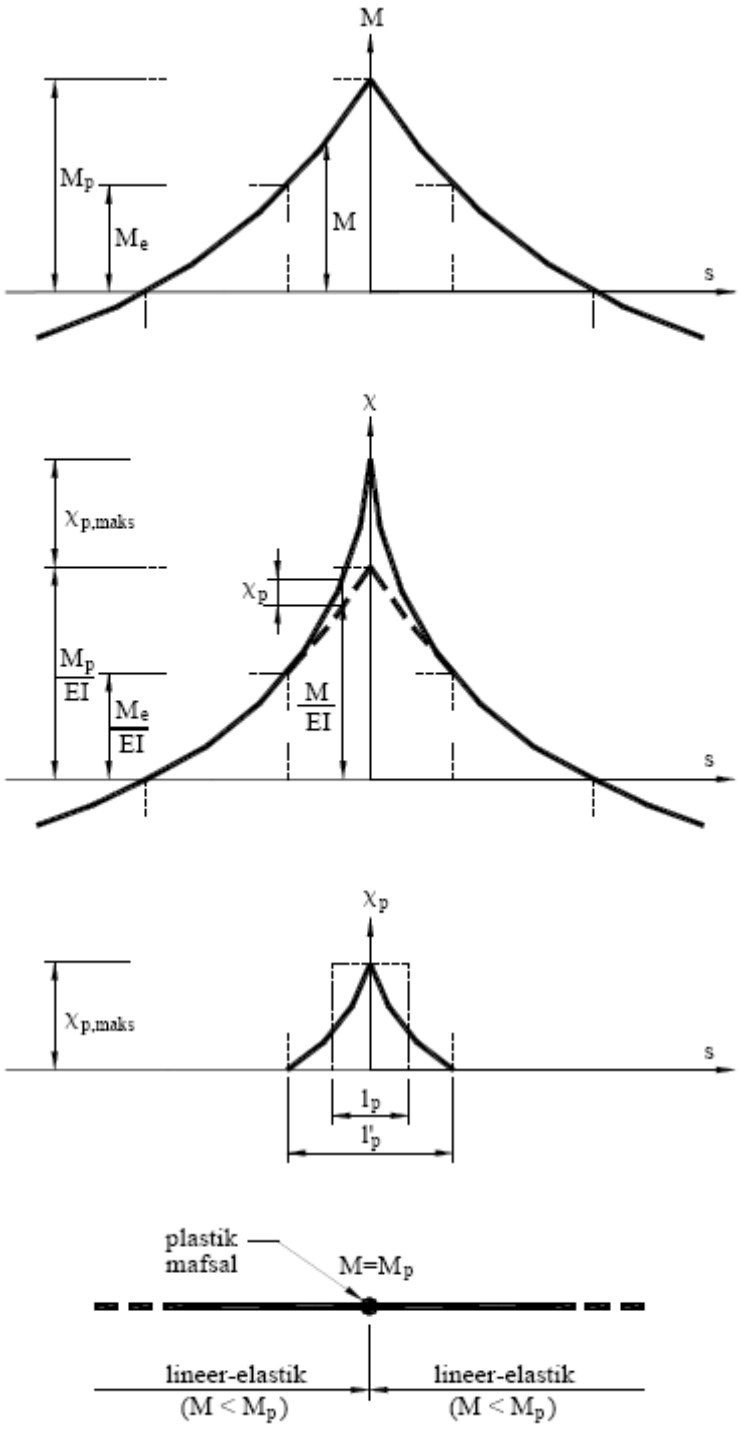
Plastik mafsal hipotezinin uygulanmasında, gerçek eğilme-eğrilik bağıntısı

$M < M_p$ için $\chi = \frac{M}{EI}$ (2.1)

$M = M_p$ için $\chi \longrightarrow \chi_{p,maks}$ (2.2)

şeklinde iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir (Şekil 2.2).

Artan dış yükler altında, plastik mafsal dönmelerinin artarak dönme kapasitelerine ulaşması durumunda meydana gelen büyük plastik şekil değiştirmeler nedeniyle kesitteki plastik şekil değiştirmeler (hasar) kabul edilemez duruma gelmektedir. Sistemin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsal dönmelerinin dönme kapasitelerine erişmesi, elemanın kullanılamaz hale gelmesine, fiili olarak göçme meydana gelmese de teknik açıdan yapının göçmesine neden olmaktadır.



Şekil 2.3: Doğrusal Olmayan Şekil Değiştirmeler

Gerçek eğilme momenti-eğrilik ilişkisi Şekil 2.1'de verilen bir düzlem çubuk elemanının belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekil değiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri Şekil 2.3'de verilmektedir.

Şekil 2.3'de de görüldüğü gibi, plastik şekil değiştirmeler, eleman üzerinde 1_p uzunluğunda bir bölgede toplanmakta ve en büyük eğrilik $\chi_{p,maks}$ değerine eşit

olmaktadır. Plastik mafsal hipotezinde, çubuk elemanı üzerinde $1_p'$ uzunluğundaki bir bölgede sürekli olarak yayılmış olan plastik şekil değiştirmelerin

$$\theta_p = \chi_p l_p = (\chi-\chi_e) l_p \tag{2.3}$$

şeklinde, plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Verilen bağıntıda θ_p plastik mafsal dönmesini göstermektedir.

Plastik mafsalın dönme kapasitesi ise ,

$$\theta_{p,maks} = \int_{1_p'} \chi_p ds \qquad (\chi_p \longrightarrow \chi_{p,maks}) \tag{2.4}$$

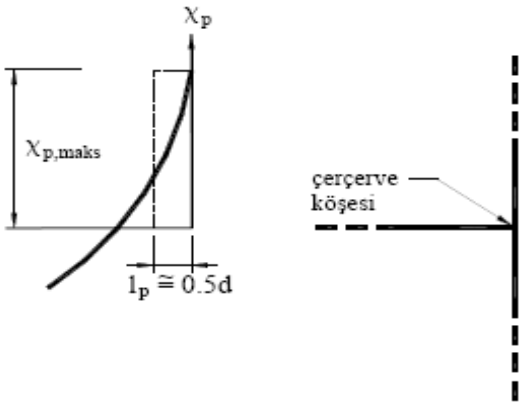
şeklinde elde edilmektedir. Maksimum plastik mafsal dönmelerine ait yukarıdaki bağıntıya alternatif olarak dönme kapasiteleri aşağıda verilen yaklaşık bağıntı ile de elde edilebilmektedir.

$$\theta_p = l_p \chi_{p,maks} \tag{2.5}$$

Burada 1_p plastik bölge uzunluğunu (plastik mafsal boyunu)göstermekte ve moment-eğilme momenti dağılımına ve kesit yüksekliğine bağlı olup yaklaşık olarak ;

$$1_p \approx 0.5h \tag{2.6}$$

şeklinde hesabı önerilir. Yukarıdaki ifade de, h enkesit yüksekliğine eşittir. Plastik mafsal bölgesi uzunluğu, moment-eğrilik diyagramına, eleman boyunca eğilme momentinin değişimine, kesit yüksekliğine ve kesitteki normal kuvvete bağlıdır.



Şekil 2.4: Plastik Mafsal Boyu

Betonarme yapı sistemlerinde, plastik mafsalların dönme kapasiteleri aşağıdaki etkenlere bağlı olarak değişmektedir:

a) Betonun ve beton çeliğinin σ-ε diyagramlarını belirleyen ε_{cu} ve ε_{su} sınır birim boy değişimi değerleri

b) Betonun ε_{cu} birim kısalmasını etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni

c) Plastik bölge uzunluğunu etkileyen enkesit boyutları

d) Eleman boyunca eğilme momentinin değişimi

e) Kesitteki normal kuvvet değeri

Yukarıda ayrıntılı olarak açıklaması yapılan plastik mafsal hipotezinin esaslarını şu şekilde vermek mümkündür:

1) Bir kesitte artan dış yüklerle birlikte, eğilme momenti de artarak M_p plastik moment değerine erişince, o kesitte plastik mafsal oluşmaktadır. Artmaya devam eden dış yükler altında, plastik mafsal gerçek bir mafsal gibi serbestçe dönmekte ve kesitteki eğilme momenti $M=M_p$ olarak sabit kalmaktadır. Plastik mafsaldaki θ_p plastik dönme değeri artarak $\theta_{p,maks}$ dönme kapasitesine erişince sistem kullanılamaz hale gelmekte, yani göçmektedir.

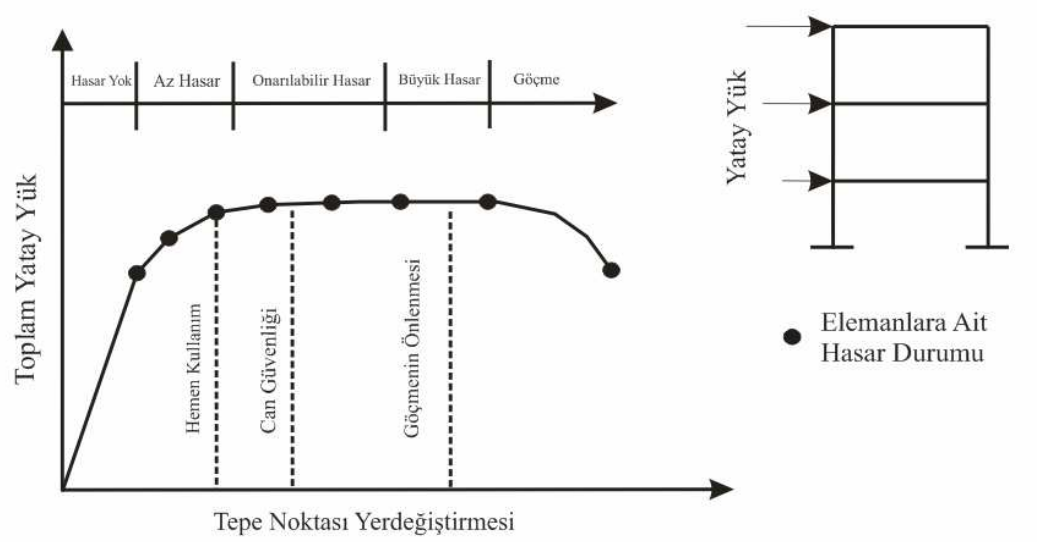
2) Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal elastik davranmaktadır.

3) Kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi durumunda, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvet değerine bağlı olarak akma koşulundan (karşılıklı etki diyagramı) elde edilen indirgenmiş plastik moment (M_p') değeri kullanılmaktadır.

3. YAPI SİSTEMLERİNİN KAPASİTESİNİ BELİRLEMEDE DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ARTIMSAL İTME ANALİZİ YÖNTEMİ

Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinde, yapı sistemleri iki veya üç boyutlu analitik modellerle temsil edilmektedir. Yapıların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri, yapının deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimleri bakımında doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinde, yapı dinamik atalet kuvvetlerini temsil etmek üzere, kat seviyelerine etki eden yatay yükler ile zorlanmaktadır. Yatay yüklerin uygulanması esnasında, yapıda düşey yükler de yer almaktadır. Statik yatay yükler, her adımda aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmakta ve belirli bir yerdeğiştirme veya göçme durumuna erişilinceye kadar yapıya ait yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisi belirlenmektedir. Statik itme analizi olarak da bilinen doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi, yapının elastik ötesi şekildeğiştirme yeteneği ve hasar durumunu belirlemek üzere, artımsal doğrusal olmayan statik itme analizlerden ibarettir.

Yatay yükler aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmaya devam ederken, kesitlerin biri veya birkaçı taşıma kapasitelerine erişmekte ve bu kesitlerde plastik mafsal oluşmaktadır. Plastik mafsal oluşan kesitler, taşıma güçlerinde değişme olmaksızın dönmeye devam etmektedir. Plastik mafsallar arasında sistem, doğrusal-elastik davranmaktadır. Yatay yükler arttırılmaya devam edilerek, yapının bir bölümünü veya tamamını mekanizma durumuna getiren göçme yüküne (limit yük) ulaşılmaktadır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinden elde edilen tipik bir yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisi Şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.1: Doğrusal Olmayan Statik Analizden Elde Edilen Tipik Performans Eğrisi

Kapasite eğrisi olarak adlandırılan yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisi sayesinde yapıda veya elemanlarda oluşabilecek hasar, kısmi veya toptan göçme durumları elde edilebilmekte; yapının zayıf elemanlar ve bunların oluşma yerleri, yapı sisteminin göçmesine ait limit yük ve göçme anındaki yerdeğiştirme değeri, yapı sisteminin ve elemanların şekildeğiştirme talepleri belirlenebilmektedir. Ayrıca belirli bir deprem tehlike seviyesi için, yapının kendisinden istenen performans seviyesini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilebilmektedir [4].

Değişik yük dağılımları, değişik yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisi vereceğinden, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yönteminde uygulanacak yatay yük dağılımının seçimi çok önemli olmaktadır. Bu noktadaki zorluk, atalet kuvvetlerinin eşdeğer statik kuvvetlerle temsil edilmesinde ortaya çıkmaktadır. Genel olarak birinci mod etkilerinin hakim olduğu düzgün yapılarda, yatay yük dağılımı bu mod şekline benzer bir dağılım olarak seçilebilmektedir. Yüksek mod etkilerinin önemli olabileceği yapılarda ise, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinde kullanılacak yatay yük dağılımları, yüksek modların katılımını da içermelidir. Bu yöntemler yüksek mod esaslı yöntemler olarak bilinmektedir (doğrusal olmayan statik modal artımsal itme analizi yöntemi).

Genel olarak, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi yapının yatay yük dağılımını belirlemek için basit bir yaklaşımdır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi, doğrusal-elastik analiz yöntemlerindeki yetersizlikler ve doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerinin karmaşıklıkları ve uygulamadaki

zorlukları arasında bir ara kesit oluşturmaktadır. Unutulmaması gereklidir ki, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinden elde edilecek sonuçların hassasiyeti, yapının modellenmesindeki başarıya ve bu modelin değişik elemanların elastik ötesi özelliklerini yansıtmasındaki hassasiyete bağlıdır.

4. YAPI SİSTEMLERİNİN PERFORMANSA DAYALI TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Deprem bölgelerinde bulunan mevcut binaların ve bina türündeki yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarının alınmasında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen binaların güçlendirme tasarımı ilkeleri 2007 Deprem Yönetmeliği Bölüm 7'de verilmiştir.

Aşağıdaki bölümlerde, söz konusu temel ilkeler ve hesap kuralları ile betonarme binaların deprem performanslarının değerlendirme ve güçlendirme yöntemleri açıklanmıştır.

4.1 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 verilmiştir.

Tablo 4.1: Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayılar

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

4.2 Performansa Dayalı Tasarım Ve Değerlendirmenin Temel İlkeleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirmesi 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 lineer teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanının sünekliğini gözönüne alan, eleman esasına dayanan 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 lineer olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları sünek ve gevrek olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanlarının kapasitelerine hangi kırılma türünde ulaştığı ile ilgilidir. Buna göre, betonarme elemanlar kırılma türleri eğilme ise sünek olarak sınıflandırılırlar. Kırılma türleri eksenel basınç veya çekme olan elemanlar ise gevrek olarak sınıflandırılmaktadır.

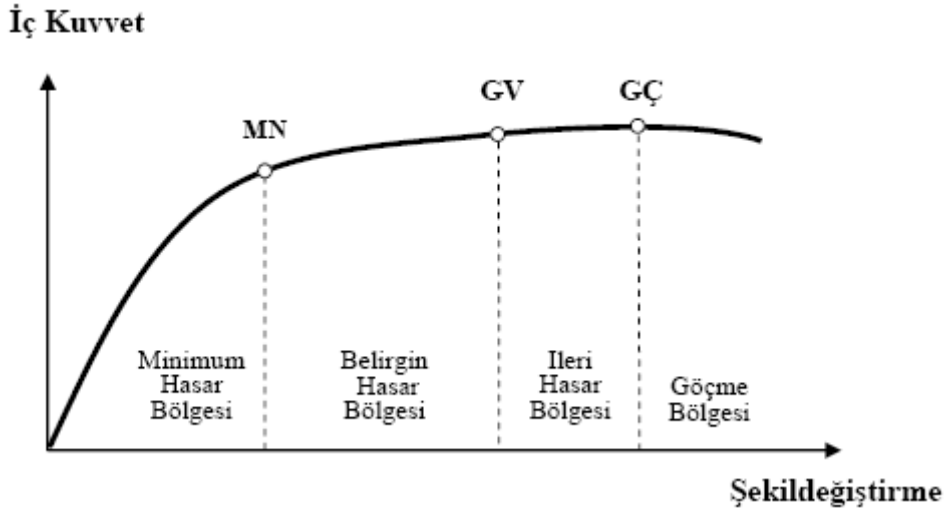
4.2.1 Kesit Hasar Sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durumu tanımlanmaktadır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı'dır (GÇ). Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcı, güvenlik sınırı

kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırı, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışın oluşmasına izin verilmez.

4.2.2 Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitleri Minimum Hasar Sınır'ına (MN) ulaşmayan elemanlar minimum hasar bölgesinde, Minimum Hasar Sınırı (MN) ile Güvenlik Sınırı (GV) arasında kalan elemanlar belirgin hasar bölgesinde, Güvenlik Sınırı (GV) ile Göçme Sınırı (GÇ) arasında kalan elemanlar ileri hasar bölgesinde, Göçme Sınır'ını aşan elemanlar ise göçme bölgesinde kabul edilmektedir. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

4.3 Bina Deprem Performans Seviyeleri

Yapıların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarın durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Deprem geçirmiş binaların deprem sonrası hasar durumlarının belirlenmesi için de aynı tanımlar kullanılabilir.

4.3.1 Hemen kullanım durumu

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 çatlamalar görülebilir, ancak bunlar onarılabilir düzeylerdedir.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesine geçiyor, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü minimum hasar bölgesinde kalıyorsa bina Hemen Kullanım Durumu'nda kabul edilir. Güçlendirilmesine gerek yoktur.

4.3.2 Can güvenliği durumu

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 duvarlar 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'si 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 bina Can Güvenliği Durumu'nda kabul edilir. Can güvenliği durumunun 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 düşey elemanların 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.

4.3.3 Göçmenin önlenmesi durumu

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli bir kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü yitirmişlerdir. Düşey elemanlar düşey yükleri taşımada yeterlidir; ancak bazıları eksenel kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır,

dolgu duvarların bir bölümü yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelemeler oluşmuştur. Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı göçme bölgesine geçebilir. Ancak göçme bölgesindeki kolonların, tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır ve bu elemanların durumu yapının kararlılığını bozmamalıdır.

Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi veya ileri hasar bölgesindedir. Bu durumda bina Göçmenin Önlenmesi Durumu'nda kabul edilir. Göçmenin önlenmesi durumunun 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 kat kesme kuvvetine oranının %30'u asmaması gerekir. En üst katta göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve bina güçlendirilmelidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

4.3.4 Göçme Durumu

Yapı uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşır. Düşey 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. Binanın güçlendirme uygulanmadan, mevcut durumu ile kullanılması can güvenliği bakımından sakıncalıdır. Bununla beraber, güçlendirme çoğu zaman ekonomik olmayabilir.

4.4 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesapta her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katında kolon veya perdelerin göreli kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için Tablo 4.2'de verilen değeri aşmayacaktır. Aksi durumda yapılan hasar değerlendirilmeleri göz önüne alınmayacaktır.

Tablo 4.2: Göreli Kat Ötelemesi Sınırları

Göreli Kat Ötelemesi Oranı	Performans Düzeyi		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
$(\delta_{ji})/h_{ji}$	0.01	0.03	0.04

Tablo 4.2'de. (δ_{ji}) i'inci katta j'inci kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasında yerdeğiştirme farkı olarak hesaplanan göreli kat ötelemesini, h_{ji} ise ilgili elemanın yüksekliğini göstermektedir.

4.5 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 ortalama zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilirler.

1) 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.
2) Tasarım depremi: 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 475 yıldır. Bu deprem 1998 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliklerinde esas alınmaktadır.
3) 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.

4.6 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans, 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 güvenliklerinin belirlenmesinde esas alınacak çok seviyeli performans hedefleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3: Binalar İçin Hedeflenen Çok Seviyeli Performans Düzeyleri

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

HK: Hemen Kullanım; **CG**: Can Güvenliği; **GÖ**: Göçmenin Önlenmesi

4.7 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

Binaların deprem performanslarının belirlenmesinde 4.8 ve 4.10 da tanımlanan yöntemler kullanılmaktadır. Ancak teorik olarak farklı yaklaşımları esas alan bu yöntemler sonucu yapılana performans değerlendirilmelerinin birebir aynı sonucu vermeleri beklenmemektedir. Aşağıda tanımlanan kurallar her iki yöntemde de geçerlidirler.

Deprem etkisinin tanımında elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacak fakat farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde 4.5'e göre yapılan değişiklikler göz önüne alınmalıdır. Ayrıca deprem hesabında tanımlanan bina önem katsayısı uygulanmayacaktır (I=1.0)

Binaların deprem performansları, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirecektir. Hareketli düşey yükler, göz önüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanacaktır. Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak ve

ayrıca ek dışmerkezlik uygulanmayacaktır. Mevcut binaların taşıyıcı sistemindeki belirsizlikler, binadan toplanan verilerin kapsamına göre 4.1 de tanımlanan bilgi düzeyi katsayıları ile hesaplanacaktır.

Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanmasında,

a) Analizde beton ve donatı çeliğinin 4.1 de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınacak,

b) Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi ise 0.01 alınabilir,

c) Etkileşim diyagramlarını uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemli diyagramlar olarak modellenebilirler.

Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılabilir:

a) Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40\ EI_o$

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

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

Yukarıdaki bağıntılarda yer alan eksenel basınç kuvveti N_D, düşey yükler altında hesaplanacaktır. N_D'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. N_D deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait $(EI)_0$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenecektir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, etkin eğilme rijitliği kullanılarak $(EI)_e$ deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılacaktır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılacaktır.

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

4.8 Depremde Bina Performansının Belirlenmesi

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi istem (talep) ve kapasitedir. İstem yapıya etkiyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir. Mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesi için uygulanan yöntemler doğrusal elastik hesap yöntemleri ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleridir.

4.9 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri

Doğrusal (lineer) elastik yöntemlerde yapı elemanlarının kapasiteleri elemanın taşıma kapasitelerine ve süneklik özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Buna karşılık, deprem istemi için elastik deprem etkileri altında lineer teoriye göre hesap yapılır. Elastik hesap yöntemleri Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi' dir.

a) 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. Bu yöntemde, toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) hesabında, deprem yükü azaltma katsayısı $R_a=1$ olarak alınır ve denklemin sağ tarafı λ katsayısı ile çarpılır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 değerini almaktadır.

b) Mod Birleştirme Yönteminin kullanılmasında $R_a=1$ alınacak, diğer bir deyişle, elastik deprem spektrumları azaltılmadan, aynen kullanılacaktır.

4.10 Betonarme Yapıların Yapı Elemanlarında Hasarın Değerlendirilmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesinde kiriş, kolon ve perde elemanların kritik kesitlerinin etki/kapasite oranları (r) cinsinden ifade edilen sayısal değerleri kullanılmaktadır. Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranı, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilmektedir. Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin

farkı olarak hesaplanmaktadır. Eğilme etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınacaktır.

Etki/kapasite oranlarının sınır değerleri Tablo 4.4, 4.5 ve 4.6'da sünek ve gevrek kiriş, kolon ve perde elemanlar için ayrı ayrı verilmektedir. Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranları elemanlar için verilen ilgili sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde bulunduğuna karar verilmektedir. Eleman hasarını, elemanın en fazla hasarlı kesiti belirlemektedir.

Tablo 4.4: Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite (r_s) Oranları

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

Tablo 4.5: Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite (r_s) Oranları

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

Tablo 4.6: Betonarme Perdeler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite (r_s) Oranları

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

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

Kırılma türü kesme olan gevrek kiriş, kolon ve perdelerin etki/kapasite oranları, kritik kesitlerde hesaptan elde edilen kesme kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan kesme kuvveti dayanımına bölünmesi ile elde edilir. Kırılma türü basınç olan gevrek kolonların etki/kapasite oranları da, hesaptan elde edilen basınç kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan basınç dayanımına bölünmesi ile elde edilir. Kesit kesme kuvveti dayanımı ve basınç dayanımı hesabında, Tablo 4.1'de verilen bilgi düzeyi katsayısı ile çarpılmış mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılacaktır.

Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranları, Tablo 4.4-4.6'da verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir. Tablo 4.4-4.6'daki ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır. Betonarme binalarda kolon ve perdelerin eksenel yükleri, düşey yükler ve söz konusu eleman için hesaplanan (r) katsayısı ile azaltılmış deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanacaktır. Eksenel yüklerin hesabı için ardışık yaklaşım gerekebilir.

4.11 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, bu bölümde tanımlanmış

bulunan şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılır. 2007 Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir.

4.11.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemin'de yapısal kapasite, kapasite eğrisi ile temsil edilir. Bu eğri, genellikle taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmektedir. Kapasite eğrisinin elde edilmesi için, yapı sistemi sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay kuvvetler altında, sistemin taşıma kapasitesinin sona erdiği limit duruma kadar hesaplanır. Daha sonra, kapasite eğrisi spektral formata dönüştürülerek modal kapasite eğrisi elde edilir.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik mafsal oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, taşıyıcı sistemin başlangıçtaki doğrusal elastik davranışı için hesaplanan birinci (hakim) titreşim modu ile orantılı olacak şekilde tanımlanır.

Daha kesin bir sonuç için, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre değişken olarak gözönüne alınabilir. Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik mafsallar gözönüne alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim modu ile orantılı olarak tanımlanır.

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum kat üzerindeki toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması gerekmektedir. Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde, deprem istem limitine (performans noktasına) kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında, doğrusal olmayan itme analizi yapılır. Analizde ardışık iki plastik mafsal oluşumu arasındaki her bir itme adımında taşıyıcı sistemde meydana

gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değerler ve son itme adımında deprem istemine karsı gelen maksimum değerler hesaplanır.

4.11.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Artımsal Mod birleştirme yönteminde, deprem istem limitine kadar her bir titreşim modunda monotonik olarak arttırılan modal yerdeğiştirmelere göre mod birleştirme yöntemi, ardışık iki plastik mafsal oluşumu arasındaki her bir itme adımında artımsal olarak uygulanır. Bu itme adımlarında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değerler ve son itme adımında deprem istemine karsı gelen maksimum değerler hesaplanır. Artımsal Mod birleştirme yöntemi tüm binalara uygulanabilmektedir.

4.11.3 Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında artımsal hesap yönteminde, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı gözönüne alınarak, sistemin hareket denklemi artımsal olarak entegre edilir ve her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karsı gelen maksimum değerleri hesaplanır. Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi tüm binalara uygulanabilir.

4.12 Plastik Davranışın İdealleştirilmesi

2007 Deprem Yönetmeliğinde doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli'nin (plastik kesit kavramı) kullanılması öngörülmüştür. Basit eğilme durumunda plastik mafsal hipotezi'ne 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 şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Basit eğilme durumunda plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesi'nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınmaktadır, ($L_p = 0.5\ h$).

Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır. Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesitin, teorik olarak yukarıda tanımlanan plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmeler yapılabilir:

a) Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönüne alınmalıdır.

b) Betonarme perdelerde, plastik kesitler her katta perde kesiminin alt ucuna konulabilir. U, T, L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır.

Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisinde plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeylerinin (etkileşim diyagramlarının) tanımlanmasında, beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyi katsayısı ile çarpılan mevcut dayanımları esas alınır.

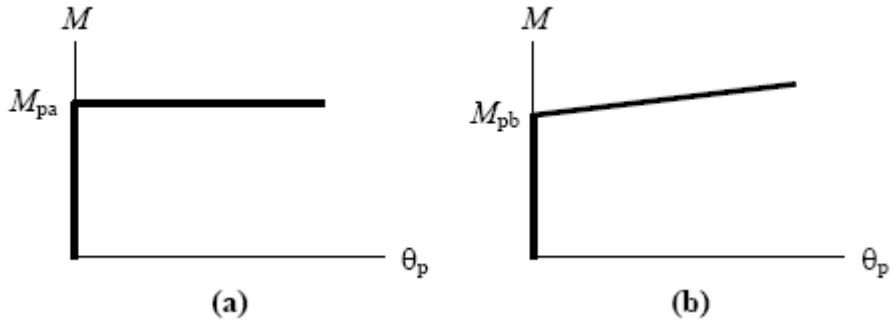
Betonarme kesitlerin akma yüzeyleri uygun biçimde doğrusallaştırılarak, iki boyutlu davranış durumunda akma çizgileri, üç boyutlu davranış durumunda ise akma düzlemleri olarak modellenebilir.

İtme analizi modelinde kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntıları ile ilgili olarak aşağıdaki idealleştirmeler yapılabilir:

a) İç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir (Şekil 4.2a). Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine dik olması koşulu gözönüne alınır.

b) Pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumunda (Sekil 4.2b), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme

adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekildeğiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanmalıdır.



Şekil 4.2: Eğilme Momenti - Plastik Dönme Bağıntıları

4.13 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle İtme Analizi

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde yapısal kapasite, koordinatları "tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti" olan itme eğrisi ile temsil edilir. Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, gözönüne alınan x deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisinin elde edilmesi için, yapı sistemi sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan eşdeğer deprem yükleri altında, sistemin taşıma kapasitesinin sona erdiği limit duruma kadar hesaplanır.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik mafsal oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, taşıyıcı sistemin başlangıçtaki doğrusal elastik davranışı için hesaplanan birinci (hakim) titreşim modu ile orantılı olacak şekilde tanımlanır. Daha kesin bir sonuç için, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre değişken olarak gözönüne alınabilir. Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik mafsallar gözönüne alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim modu ile orantılı olarak tanımlanır.

İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, koordinatları "modal yerdeğiştirme modal ivme" olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

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

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \tag{4.1}$$

Burada, $V_{x1}^{(i)}$ deprem doğrultusunda (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci (hakim) moda ait taban kesme kuvvetini, M_{x1} x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütleyi göstermektedir.

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

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1}\,\Gamma_{x1}} \tag{4.2}$$

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

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_{x1}} \tag{4.3}$$

İtme analizi sonucunda yukarıda açıklandığı şekilde elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, elastik davranış spektrumu gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer deyişle modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır.

Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi,$d_1^{(p)}$,doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} değerine eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \tag{4.4}$$

Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak Denk.(4.5) ile elde edilir:

$$S_{di1} = C_{R1}\, S_{de1} \tag{4.5}$$

Doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1}, itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} 'den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \tag{4.6}$$

Denk.(4.5)'de yer alan spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1}, başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$' in değerine $(T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)})$ bağlı olarak aşağıdaki şekilde belirlenir.

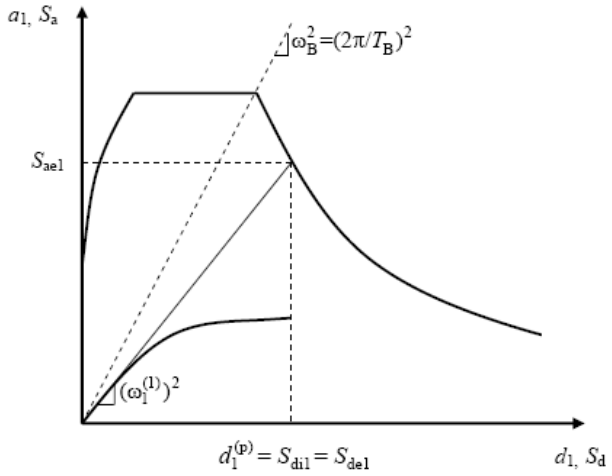
$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B' ye eşit veya daha uzun olması durumunda $(T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2)$ doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1}, eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan eşlenik doğrusal elastik sistem'e ait lineer elastik spektral yerdeğiştirme eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca S_{de1} değerine eşit alınacaktır. Buna göre Denk.(4.5)'deki spektral yerdeğiştirme oranı:

$$C_{R1} = 1 \tag{4.7}$$

değerini almaktadır.

Şekil 4.3'de ve onu izleyen Şekil 4.4'de birinci (hakim) titreşim moduna ait ve koordinatları (d_1, a_1) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları "spektral yerdeğiştirme (Sd) – spektral ivme (Sa)" olan davranış spektrumu bir arada çizilmiştir.

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B' den daha kısa olması durumunda $(T_1^{(1)} < T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 > \omega_B^2)$ ise, Denk.(4.5)'deki spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1}, ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

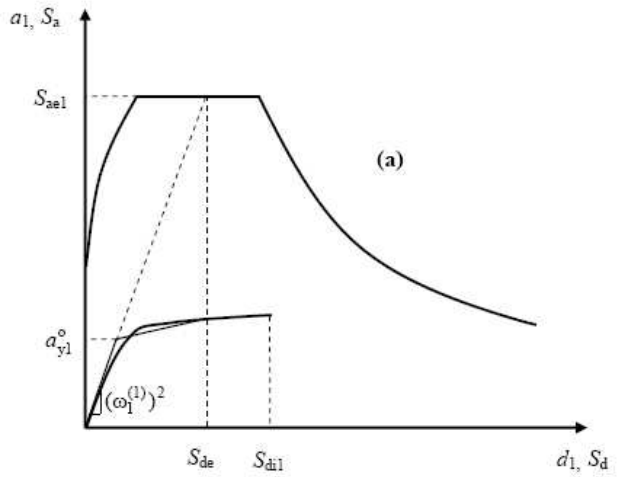


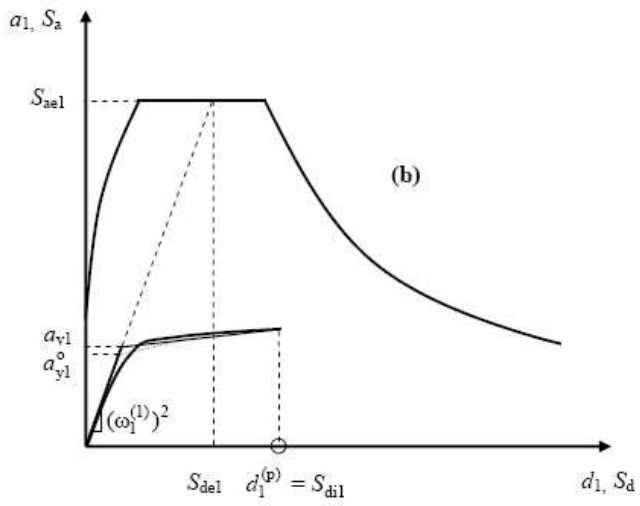
Şekil 4.3: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T^{(1)} \geq T_B$)

a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 4.4(a)'da gösterildiği üzere, yaklaşık olarak iki doğrulu bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki (i=1) doğrunun eğimi olan birinci moda ait öz değere, $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$).

b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ kabulü yapılarak, diğer deyişle Denk. (4.7) kullanılarak eşdeğer akma noktası'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 4.4(a)'da görülen a_{y1}^{o} esas alınarak C_{R1} aşağıda şekilde tanımlanır:

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)\, T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \qquad (4.8)$$





Şekil 4.4: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T^{(1)} \leq T_B$)

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir:

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \tag{4.9}$$

c) Denk.(4.5)'e göre hesaplanan S_{di1} esas alınarak eşdeğer akma noktası'nın koordinatları, Şekil 4.4(b)'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1},R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.

Son itme adımı i = p için Denk.(4.4)'e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$'nin Denk.(4.10)'de yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir:

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1}\, \Gamma_{x1}\, d_1^{(p)} \tag{4.10}$$

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

4.14 Birim Şekildeğiştirme Talebinin Belirlenmesi

İtme analizi sonucunda herhangi bir kesitte elde edilen θp plastik mafsal dönmesine bağlı olarak plastik eğrilik istemi, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \tag{4.11}$$

Beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak elde edilen iki doğrulu eğilme momenti-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, yukarıda tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilir:

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \tag{4.12}$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekil değiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemi, yukarıda tanımlanan toplam eğrilik istemine göre, ilgili kesitte verilen beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak elde edilen eğilme momenti-eğrilik ilişkisinden hesaplanır.

Beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit bazında taşıyıcı sistem performansı belirlenir.

4.15 Betonarme Elemanlarının Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, performans düzeylerine göre izin verilen şekil değiştirme sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır:

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

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad , \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 \tag{4.13}$$

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

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01(\rho_s + \rho_{sm}) \le 0.0135 \quad , \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \tag{4.14}$$

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

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.0035 + 0.014(\rho_s + \rho_{sm}) \le 0.018 \quad , \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \qquad (4.15)$$

Yukarıdaki bağıntılarda ε_{cg} sargılanmış beton bölgesinin sınırındaki, ε_{cu} ise kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesini göstermektedir.ε_s donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme, ρ_s kesitte mevcut bulunan ve sargı etkisi sağlayabilen (135^o kancalı) enine donatının hacimsel oranı,ρ_{sm} ise kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranıdır.

4.16 Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının İç Kuvvet Kapasiteleri

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarda performans düzeylerine göre izin verilen iç kuvvet kapasiteleri de ayrıca kontrol edilecektir.

5. BİNALARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

Binaların güçlendirilmesi, deprem hasarlarına neden olacak kusurlarının giderilmesi, deprem güvenliğini arttırmaya yönelik olarak yeni elemanlar eklenmesi, kütle azaltılması, mevcut elemanlarının deprem davranışlarının geliştirilmesi, kuvvet aktarımında sürekliliğin sağlanması türündeki işlemleri içermektedir.

5.1 Güçlendirmenin Temel İlkeleri

Yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan mevcut binalara uygulanacak güçlendirme işlemlerinin, yeni deprem yönetmeliği taslağı çerçevesinde dayandığı temel ilkeler aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

a) Güçlendirme amacıyla mevcut binaya eklenecek olan betonarme ve çelik yapı elemanları, yönetmeliğin yeni inşa edilecek depreme dayanıklı binaların tasarımı ile ilgili esaslarına uygun olarak boyutlandırılacaktır.

b) Bu şekilde güçlendirilen yapı sistemi, daha sonra, yönetmeliğin mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesine ilişkin bölümü çerçevesinde değerlendirilecektir. Bu değerlendirme sonucunda, güçlendirilmiş yapı sisteminin deprem performansı belirlenerek öngörülen hedef performans ile karşılaştırılacaktır.

5.2 Güçlendirmede İzlenecek Yol

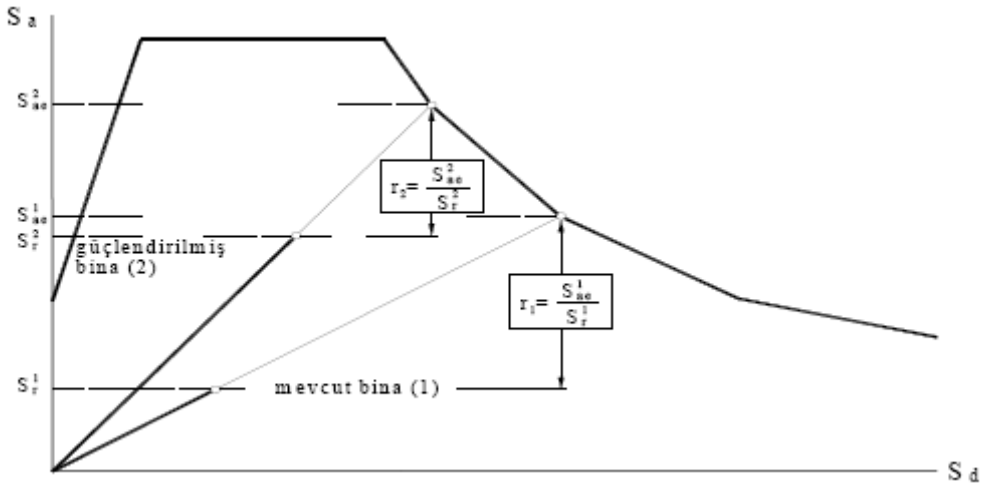
Görüldüğü gibi, yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan bir yapı sisteminin güçlendirilmesi, birbirini izleyen tasarım ve değerlendirme aşamalarından oluşan bir ardışık yaklaşım yönteminin izlenmesini gerektirmektedir. Ardışık yaklaşımın her tasarım aşamasında, bir önceki adımda boyutlandırılan yapının deprem performans ve güvenliğindeki yetersizlikler gözönüne alınarak, gerekli güçlendirme önlemlerine karar verilmektedir.

5.3 Güçlendirilen Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi

Yukarıda açıklandığı şekilde, güçlendirmenin değerlendirme aşamasında, bir önceki adımda güçlendirilen yapı sisteminin deprem performansının belirlenmesi gerekmektedir. Mevcut yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesini amaçlayan yöntemler, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde başlıca iki grupta toplanmaktadır.

a) Dayanım esaslı doğrusal yöntemler: Bu yöntemlerin amacı, verilen bir deprem etkisi altında, deprem yükü azaltma katsayısının $R_a = 1$ değeri için hesaplanan etkiler (S_{ae}) ile yapı elemanlarının artık kapasiteleri (S_r) arasındaki (r) etki/kapasite oranları 'nın hesaplanması ve bu değerlerin ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle yapı elemanlarının içinde bulunduğu kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi, böylece bina düzeyinde performans değerlendirmesinin yapılmasıdır.

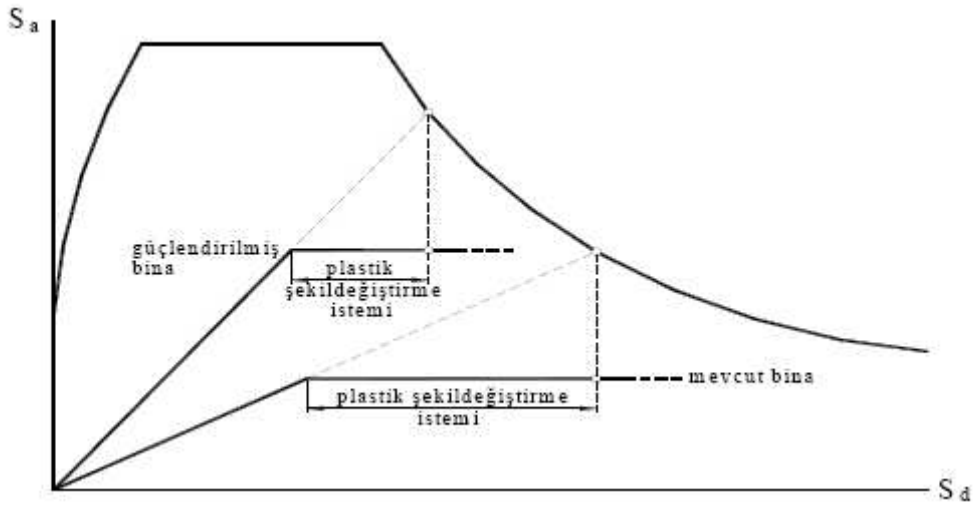
Şekil 5.1 de, dayanım bazlı doğrusal yöntemlerin esas alındığı bir güçlendirme işlemi şematik olarak açıklanmıştır. Şekilden görüldüğü gibi, elastik ivme spektrumu kullanılarak hesaplanan deprem etkileri ile yapı sisteminin elastik artık kapasitesini ifade eden kapasite değerleri arasındaki (r) etki/kapasite oranları, güçlendirmeye paralel olarak azalmakta ve böylece hedeflenen performans düzeyine ulaşılabilmektedir.



Şekil 5.1: Mevcut Bina ve Güçlendirilmiş Binada Etki/Kapasite Oranları

b) Şekil değiştirme esaslı doğrusal olmayan yöntemler: Bu yöntemlerin amacı, verilen bir deprem için, sünek davranışa ait plastik şekil değiştirme istemleri ile

gevrek davranışa ait iç kuvvet istemlerinin hesaplanması ve bu istem büyüklüklerinin kesitlerin şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılması suretiyle, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirilmesinin yapılmasıdır. Örnek olmak üzere, şekil değiştirme esaslı doğrusal olmayan yöntemlerin esas alındığı bir güçlendirme işlemi, Şekil 5.2 deki diyagram üzerinde şematik olarak açıklanmıştır. Şekilde, koordinatları spektral yerdeğiştirme ve spektral ivme olan davranış spektrumu ile incelenen sisteme ait, koordinatları modal yerdeğiştirme ve modal ivme olan modal kapasite diyagramları görülmektedir. Şekildeki şematik gösterimden izlenebildiği gibi, güçlendirme sonucunda sistemin plastik şekil değiştirme istemi azalmakta ve buna bağlı olarak deprem performans düzeyi yükselmektedir.



Şekil 5.2: Mevcut Bina ve Güçlendirilmiş Binada Plastik Şekil değiştirme İşlemleri

5.4 Güçlendirme Türleri

Güçlendirme uygulamaları, eleman ve bina düzeyinde olmak üzere, iki grupta incelenebilir. Bu güçlendirme türleri yalnız başlarına kullanılabildikleri gibi birlikte de uygulanabilirler.

a) Taşıyıcı sistem elemanlarının tekil olarak güçlendirilmesi ve iyileştirilmesi: Binanın kolon, kiriş, perde, eleman birleşim bölgeleri ve dolgu duvarları gibi deprem

yüklerini karşılayan elemanlarının ve birleşimlerinin, tekil olarak dayanımlarının ve şekil değiştirme kapasitelerinin (sünekliklerinin) arttırılması şeklinde uygulanan güçlendirme işlemleridir. Bu güçlendirmede amaç, yapının genel dayanım ve rijitlik özelliklerinden bağımsız olarak, eleman düzeyindeki yetersizliklerin giderilmesidir.

b) Yapı sisteminin tümünün güçlendirilmesi: Deprem etkileri altında yeterli bir dayanım kapasitesine sahip olmayan veya şekil değiştirmeleri ve yerdeğiştirmeleri öngörülen performans düzeyi için verilen sınır değerleri aşan yapı sistemleri için tümsel güçlendirme önlemlerinin uygulanması gerekli olabilir. Bu amaçla, çok kere mevcut yapı sistemine yeni elemanlar eklenir. Bu elemanlar, çerçeve düzlemi içinde veya çerçeve düzlemine bitişik olan betonarme perdeler, merkezi ve dışmerkez çelik çaprazlı çerçeveler veya eğilme çerçeveleri olabilir.

Aşağıda, tekil ve tümsel güçlendirme önlemlerinden başlıcaları ele alınarak, bunlara yönelik esaslar kısaca gözden geçirilmiştir.

5.5 Eleman Düzeyindeki Güçlendirme Önlemleri

Tekil yapı elemanlarına uygulanan güçlendirme önlemleri arasında, sık olarak kullanılanların başlıcaları,

a) kolonların sargılanması

b) kolon kesitlerinin büyütülmesi

c) kirişlerin sarılması

d) bölme duvarlarının güçlendirilmesi

olarak sıralanabilir.

5.5.1 Kolonların Sargılanması

Kolonların sargılanması çeşitli nedenlerle gerekebilir. Bunların başlıcaları, kolonların eksenel tasıma kapasitesinin arttırılması, kesme kapasitesinin arttırılması, donatı ek bölgelerindeki bindirme boyu yetersizliklerinin giderilmesi ve süneklik düzeyinin arttırılmasıdır. Sargılama ile kolonların eğilme kapasiteleri arttırılamaz. Sargılamada betonarme manto uygulanması elemanın rijitliğini arttırmakta ve bu durum sistemde iç kuvvet dağılımının değişmesine neden olabilmektedir. Tasarımda bu husus göz önünde tutularak gerekli önlemler alınmalıdır. Pratikte uygulanabilecek baslıca sargılama yöntemleri arasında

i) betonarme sargı

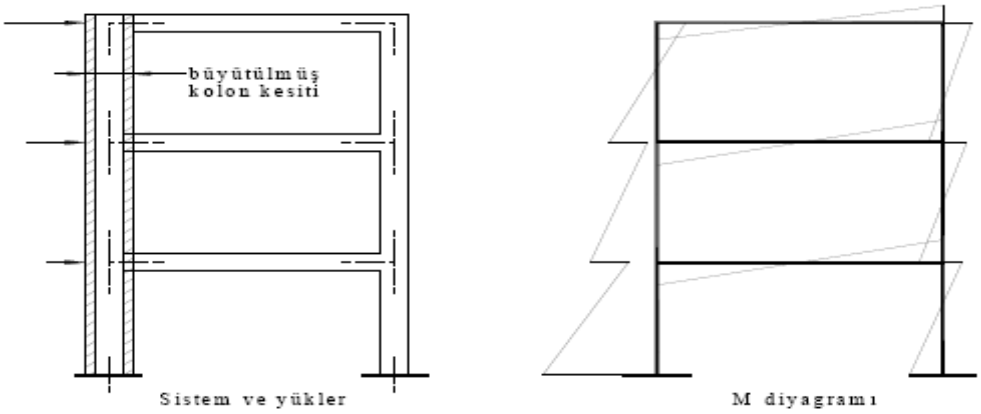
ii) çelik sargı

iii) lifli polimer (LP) sargı

sayılabilir. Bu sargı yöntemlerinin uygulanmasına yönelik ayrıntılar 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nin ilgili bölümlerinde yer almaktadır.

5.5.2 Kolon Kesitlerinin Büyütülmesi

Kolonların eğilme kapasitelerini arttırmak için kolon kesitleri büyütülür. Bu işlem ile, aynı zamanda kolonun kesme kuvveti ve eksenel yük tasıma kapasiteleri de arttırılabilir. Büyütülen kolona eklenen boyuna donatının katlar arasında sürekliliği sağlanır. Bu amaçla, boyuna donatı kat döşemelerinde açılan deliklerden geçirilir. Büyütülmüş kolon kesiti enine donatı ile sarılır. Enine donatı birleşim bölgesinde kirişlerde açılan yatay deliklerden geçirilir. Büyütülen kolon kesitinin paspayı, eklenen düşey ve yatay donatıyı örtmek için yeterli kalınlıkta olmalıdır. Yeni ve eski betonun aderansının sağlanması için mevcut kolonun yüzeyindeki sıva tabakasının sıyrılması ve beton yüzeylerinin pürüzlendirilmesi gerekir.



Şekil 5.3: Kolon Kesitlerinin Büyütülmesi

Kolon kesitinin büyütülmesi işlemi, kolonun bağlandığı düğüm noktalarını da kapsamadığı sürece, güçlendirme sadece kolon kesitinin eğilme momenti tasıma kapasitesinin arttırılması ile sınırlı kalmaktadır. Sekil 5.3'teki örnekte, kolon kesitinin büyütülmesi sonucunda, yatay yüklerden oluşan eğilme momenti dağılımı şematik olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, bu işlem ile sadece söz konusu kolonun dayanımı arttırılabilmekte, diğer bir deyişle, bu güçlendirme işlemi mevcut yapı sistemine bir konsol kolon eklenmesine karsı gelmektedir.

5.5.3 Kirişlerin Sarılması

Kesme dayanımı yetersiz olan kirişlerin kesme dayanımlarının arttırılması ve kirişlerin süneklik düzeylerinin yükseltilmesi amacıyla bu yöntem uygulanabilir.

Kirişlere uygulanan baslıca sarma yöntemleri, dıştan etriye ile sarma ve lifli polimer (LP) ile sarmadır. d) Bölme Duvarlarının Güçlendirilmesi Binada mevcut olan ve temelden itibaren yapı yüksekliği boyunca süreklilik gösteren yığma bölme duvarları güçlendirilerek yapı taşıyıcı sistemine katılabilir. Bu amaçla, söz konusu duvarın yüzüne hasır çelik donatılı harç tabakası veya benzeri amaçlı malzemeler uygulanır. Güçlendirilen bölme duvarlarının rijitlik ve dayanım özellikleri tanımlanır ve bu duvarlar yapı modeli içinde basınç kuvveti alan eşdeğer çubuk elemanlar ile temsil edilir.

5.6 Yapı Sistemlerinin Tümsel Güçlendirilmesi

Yapı sisteminin, yeni elemanlar eklemek suretiyle, tümsel güçlendirilmesinde uygulanan yöntemlerden başlıcaları,

i) çerçeve düzlemi içinde betonarme perde eklenmesi

ii) çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde eklenmesi

iii) betonarme sisteme yeni çerçeveler eklenmesi

iv) çelik taşıyıcı sistemler ve elemanlar ile güçlendirme

olarak sıralanabilir.

5.6.1 Güçlendirme Perdeleri

Betonarme binaların sistem bazında güçlendirilmesi amacıyla taşıyıcı sisteme betonarme perdeler eklenmesi, ülkemiz koşullarında tercih edilebilen güçlendirme önlemlerinin basında gelmektedir. Aşağıda, mevcut bir yapı sisteminin betonarme perdeler eklenerek güçlendirilmesi halinde göz önünde tutulması gereken temel ilkeler ve güçlendirme perdelerinin hesap esasları açıklanacaktır.

5.6.2 Güçlendirme Perdelerinin Tasarım Prensipleri

Güçlendirme perdelerinin tasarımında göz önünde tutulması gereken temel ilkeler ve bu ilkeler doğrultusunda oluşturulan öneriler aşağıda sıralanmıştır.

a) Güçlendirme perdelerinin konumları binanın mimari tasarımı ile uyumlu olmalı, fonksiyonlarını engellememeli, tesisatın yoğun olarak bulunduğu duvarların güçlendirme perdesine dönüştürülmesinden sakınılmalıdır.

b) Güçlendirme perdelerinin sayısı ve plandaki yerleşimi yapıya yeterli düzeyde dayanım ve burulma rijitliği sağlayabilmelidir.

c) Perdelerin düzenlenmesinde, perde temellerinin gerçekçi ve ekonomik olarak tasarımı da göz önünde tutulmalıdır.

d) Yapı sistemine eklenecek betonarme perdelerin mevcut taşıyıcı sistem ile bütünleşmesi ve mevcut yapıdan bu güçlendirme elemanlarına kuvvet aktarılması sağlanmalıdır. Bu amaca yönelik olarak su önlemlerin alınması uygun olmaktadır.

1) Güçlendirme perdeleri, mümkün olduğu oranda, mevcut taşıyıcı sistemin çerçeve eksenlerine merkezi olarak yerleştirilmelidir. Güçlendirme perdelerinin dışmerkez olarak oluşturulmaları halinde, mevcut yapı sistemi ile güçlendirme perdesi arasındaki kuvvet aktarımını sağlamak amacıyla, gerekli ek önlemler alınmalıdır.

2) Yatay deprem etkilerinin bir bölümünün mevcut yapı sisteminden güçlendirme perdelerine aktarılmasına katkı sağlamak üzere, mevcut çerçeve kirişlerini perdeye bağlayan düşey ankraj çubuklarından yararlanılmalıdır. Böylece, perde uçlarındaki mevcut yapı kolonlarının düşey donatısı ile birlikte, bu ankraj çubuklarının sağladığı sürtünme kesmesi ile deprem etkilerinin güçlendirme perdesine aktarılması mümkün olabilmektedir.

3) Güçlendirme perdesinin uçlarındaki mevcut bina kolonlarının perde uç bölgesi olarak davranmalarını ve böylece perdenin mevcut bina taşıyıcı sistemi ile bütünleşmesini sağlamak amacıyla, perdeyi bu uç kolonlarına bağlamak üzere, yatay ankraj çubukları kullanılmalıdır. Bu ankraj çubukları, ölü yüklerden oluşan kolon eksenel kuvvetinin ve kolon düşey donatısının sağladığı eksenel kuvvet kapasitesinin güçlendirme perdesine aktarılması için yeterli olmalıdır.

4) Güçlendirme perdesinin uç bölgesi konumundaki mevcut yapı kolonlarının eksenel basınç kuvvetinin ve mevcut boyuna donatısının, perde eğilme momentinden oluşan uç kuvvetlerinin dengelenmesi için yeterli olmaması durumunda, söz konusu kolonların çevresinde bir manto oluşturulmalı ve artık çekme kuvvetlerinin aktarılması için gerekli olan ek donatı bu manto betonu içine yerleştirilmelidir.

e) Güçlendirme perdelerinin, temelden başlayarak perde üst kotuna kadar sürekli olması sağlanmalıdır. Bu amaçla, perde uç donatıları perde yüksekliği boyunca sürekli olarak devam ettirilmelidir.

f) Perde temeli, güçlendirme perdesinden ve perde ucundaki mevcut yapı kolonlarından aktarılan düşey yükleri ve eğilme momentlerini güvenle temel zeminine aktaracak şekilde boyutlandırılmalıdır. Perde temelinin mevcut yapı temelleri ile bütünleşmesi için gerekli önlemler alınmalıdır. Büyük dışmerkezlik etkisindeki perde temellerinin ekonomik olarak tasarımı için, perde dolaylarındaki mevcut yapı kolonlarının perde temeli ile bütünleşmesi ve böylece söz konusu kolonların eksenel yüklerinin de perde temeline aktarılması sağlanmalıdır.

5.6.3 Güçlendirme Perdelerinin Hesap Esasları

Yukarıda belirtilen tasarım prensipleri doğrultusunda, güçlendirme perdelerinin boyutlandırma hesapları baslıca üç asamadan oluşmaktadır.

a) Deprem etkilerinden oluşan kat kesme kuvvetlerinin mevcut yapı sisteminden güçlendirme perdelerine aktarılmasını sağlayan düşey ankraj çubuklarının hesaplanır. Sürtünme kesmesi prensibine dayanan bu hesapta perde uç kolonlarından aktarılan kesme kuvveti de hesaba katılabilir.

b) Perde deprem momenti ve düşey yüklerden dolayı, perde uç bölgelerinde oluşan çekme ve basınç kuvvetleri altında, çekme bölgesi donatı hesapları ve basınç bölgesi dayanım kontrolleri yapılır. Bu hesabın sonucuna dayanarak, uç bölgesindeki betonarme manto ve boyuna donatı gereksinimi belirlenir.

c) Güçlendirme perdesi ile uç kolonları arasındaki kuvvet aktarımını sağlayan yatay ankraj çubuklarının sürtünme kesmesi prensibi ile hesabı yapılır. Nervürlü beton çeliğinden yapılabilen ve mevcut yapı sistemine ankrajı epoksi veya benzeri bir madde ile sağlanan bu çubukların kesme kuvveti aktarma gücü, çubuğun çekme dayanımına, mevcut betonun karakteristik basınç dayanımına, ankraj çubuklarının yerleşimine ve mevcut beton ile ilave beton arasındaki sürtünme katsayısına, dolayısıyla ortak yüzeyin pürüzlülüğüne bağlı olarak hesaplanmalıdır.

5.6.4 Diğer Güçlendirme Önlemleri

Yukarıda açıklanan, eleman ve sistem düzeyindeki standart güçlendirme önlemlerinin yerine veya onlara ek olarak diğer bazı güçlendirme yöntemlerine de başvurulabilir. Bunlardan başlıcaları aşağıda açıklanmıştır.

a) Mevcut düzensizliklerin azaltılması veya giderilmesi: Yapı sistemindeki düzensizliklerin yapının deprem performansını önemli ölçüde etkilemesi halinde,

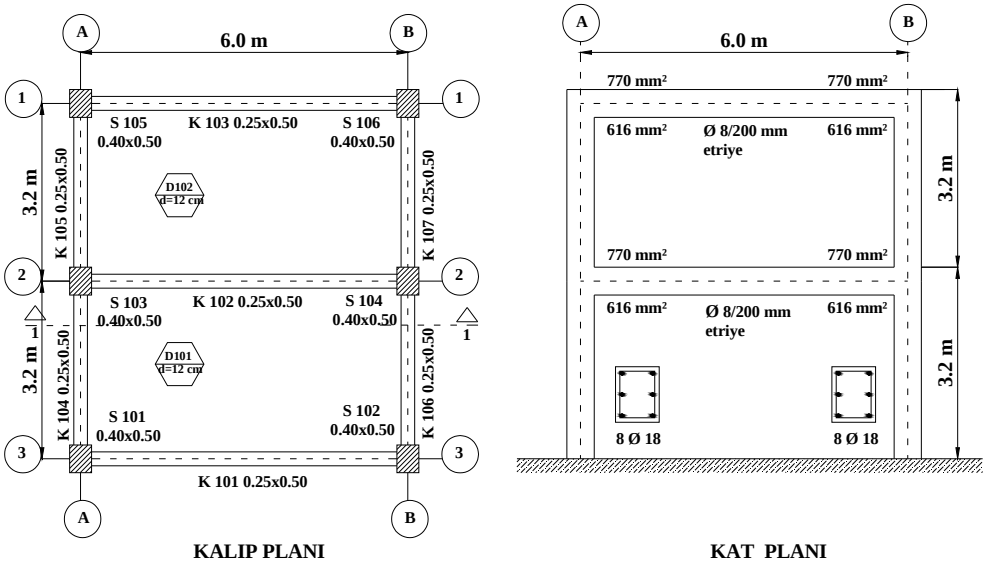
hedeflenen performans düzeyine erişilebilmesi için, bu düzensizliklerin azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması gerekli olabilir. Bu kapsamda alınabilecek iyileştirme önlemlerinden başlıcaları, yapı sistemine ilaveler yapmak veya gerekli olan durumlarda yapı sisteminin bazı bölümlerini kaldırmak suretiyle, zayıf kat ve yumuşak kat düzensizliklerinin giderilmesi, burulma düzensizliğinin azaltılması ve taşıyıcı sistemdeki süreksizliklerin ortadan kaldırılmasıdır.

b) Kütle azaltılması: Deprem etkileri altında yeterli bir performans düzeyine sahip olmayan yapı sistemlerinde, bina kütlesinin azaltılması suretiyle deprem isteminin azaltılması ve böylece binanın performans düzeyinin yükseltilmesi mümkün olabilir. Bina kütlesinin azaltılması, genellikle kat kaldırılması, binanın kullanım amacını değiştirerek hareketli yük azaltılmasının sağlanması, ağır balkonların, parapetlerin, bölme duvarlarının ve cephe kaplamalarının kaldırılması veya daha hafif elemanlar ile değiştirilmesi suretiyle gerçekleştirilir.

c) Taban yalıtımı ve enerji sönümleyici aygıtlar kullanılması: Mevcut yapı sisteminin uygun bölgelerine izolatörler konularak taban izolasyonunun sağlanması ve/veya enerji sönümleyici aygıtlardan (damperler) yararlanarak deprem enerjisinin sönümlendirilmesi suretiyle deprem isteminin azaltılması, yapı taşıyıcı sisteminin deprem performansını arttıran önlemler arasında yer almaktadır.

6. BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE ÖRNEK İNCELEME

Bu bölümde, betonarme bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının ve performans düzeylerinin belirlenmesi amacıyla iki katlı ve tek açıklıklı basit bir betonarme çerçeve modeli kullanılarak yapılan sayısal inceleme yer almaktadır.



Şekil 6.1: Betonarme Çerçeve Sistemin Kalıp ve Kat Planı

Örnek olarak yapılan bu sayısal incelemede taşıyıcı sistem ve malzeme özellikleri aşağıda verilmiştir.

Kolonlar : 0.40m×0.50m

Kirişler : 0.25m×0.50m

Döşeme : 20cm

Malzeme : C 20 f_{cm}=20 N/mm^2 S 220 f_{ym}=220 N/mm^2

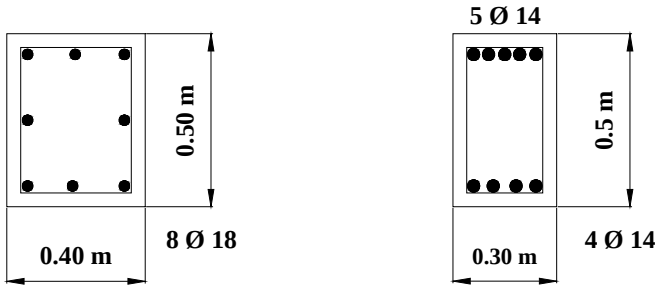
f_{ctm}=1.6 N/mm^2 E_c=28000 N/mm^2

Deprem Bölgesi : A_o=0.4

Zemin Sınıfı : Z2, T_A=0.15, T_B=0.40

Düşey Yükler : g=7.5 kN/m, q=5 kN/m

Kiriş=0.40 EI_o Kolon=0.40 EI_o



Şekil 6.2: Kolon - Kiriş Enkesit Boyutları ve Boyuna Donatıları

6.1 Sistemin Kirişlerinin Eğilme Momenti Kapasitelerinin Bulunması

Çerçeve sistemdeki kirişlerin kesit özellikleri ve mevcut donatıları,

b=300 mm h=500 mm d=460 mm d'=40 mm

A_s=616 mm^2 As'=770 mm^2 dir.

Sistemin ilk önce negatif ve pozitif eğilme momenti kapasitelerinin hesaplanması gerekmektedir. Eğime momenti kapasiteleri Denklem 6.1 ve 6.2 yi kullanarak taşıma gücü formülleri ile hesaplanabilir.

Kiriş mesnet kesitinde negatif moment kapasitesi:

$$0.85\, f_{cm}\, b_w\, a = A_s\, f_{ym} \qquad (6.1)$$

$0.85\times20\times300\times a=770\times220 \Rightarrow a=33$ mm

$$M_r = A_s\, f_{ym}\,(d-0.5a) \qquad (6.2)$$

$=770\times10^{-6}\times220\times10^{3}(0.46-0.5\times0.33) \Rightarrow Mr=75.11$ kNm

Kiriş mesnet kesitinde pozitif moment kapasitesi:

$0.85\, f_{cm}\, b_w\, a = A_s\, f_{ym}$ $0.85\times20\times300\times a=616\times220 \Rightarrow a=26$ mm

$M_r = A_s\, f_{ym}\,(d-0.5a) = 616\times10^{-6}\times220\times10^{3}(0.46-0.5\times0.26) \Rightarrow Mr=60.54$ kNm olarak bulunur.

Sistemde mevcut olan kirişler ve donatıları aynı oldukları için eğilme momenti kapasiteleri de eşittir.

6.1.1 Çerçeve Sistemdeki Elemanların Kesme Kuvveti Kapasitelerinin Belirlenmesi

Kirişlerin kesme kuvveti kapasitesi:

$$V_r = 0.8V_{cr} + V_w = 0.80 \times 65 f_{ctm} b_w d + A_s f_{ywm} \frac{d}{s} \quad (6.3)$$

$0.85 \times 0.65 \times 1.6 \times 300 \times 460 + 50 \times 2 \times 220 \times 460/200 = 165420$ N

V_r=165.42 kN olarak bulunur.

$V_{rmax}=0.22 f_{cm} b_w d$ (6.4)

$V_{rmax} = 0.22 \times 20 \times 300 \times 460 = 607200$ N

V_{rmax}=607.2 kN

Kolon Kesiti Kapasitesi ise,

b=400 mm h=500 mm d=460 mm d'=40 mm

Kesme Kuvveti (normal kuvvet etkisi ihmal edilerek) Denklem (6.3) ile hesaplanarak

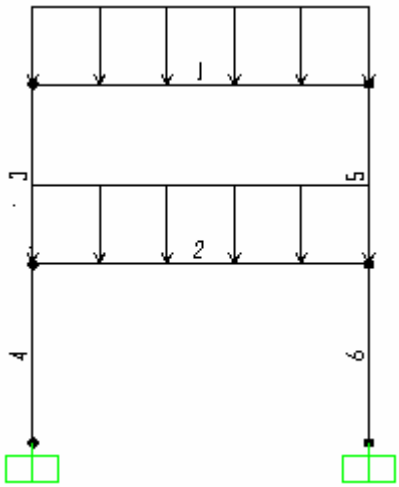
V_r=203.7 kN olarak bulunur.

Normal Kuvvet:

$N_{rmax}=0.5 f_{cm} bh$ (6.5)

$N_{rmax} = 0.5 \times 20 \times 400 \times 500 = 2000000$N

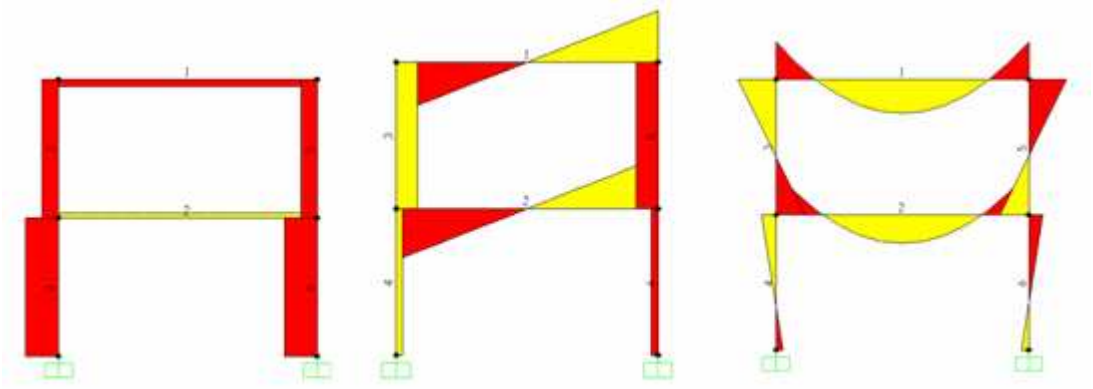
N_{rmax}=2000 kN



g=7.5 kN/m

q=5 kN/m

Şekil 6.3: Oluşturulan Çerçeve Sistemin Hesap Modeli ve Yükleme Durumu



Şekil 6.4: Sistemin Düşey Yükler Altında Normal Kuvvet, Kesme Kuvveti ve Moment Diyagramı

Tablo 6.1: Sistemde Düşey Yükler Altında Oluşan İç Kuvvetler

Düşey Yükler Altında İç Kuvvetler (G+Q)				
Eleman	Uç	Normal Kuvvet (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Eğilme Momenti (kNm)
Kiriş 1	Sol-Sağ	-	± 37.50	- 29.70
Kiriş 2	Sol-Sağ	-	± 37.50	-34.00
Kolon 1	Alt-Üst	-37.50	-16.41	-22.82/29.70
Kolon 2	Alt-Üst	-75.00	-5.24	-5.58/11.18
Kolon 3	Alt-Üst	-37.50	16.41	22.82/-29.70
Kolon 4	Alt-Üst	-75.00	5.24	5.58/-11.18

6.1.2 Doğrusal Elastik Hesap (Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi)

Sistem düşey yükler altında analiz edildikten sonra 1.titreşim mod şekli T_1=0.252 s olarak hesaplanmıştır. Toplam eşdeğer deprem yükünün hesabında, deprem yükü azaltma katsayısı (R_a=1) ve bina önem katsayısı da uygulanmaz (I=1).

A_o= 0.4 λ=1 S(T_1=0.252)= 2.5

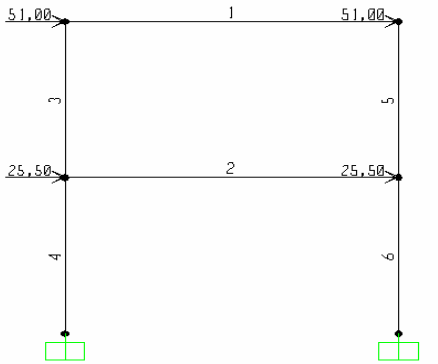
$$A(T_1) = A_0 I S(T_1) \tag{6.6}$$

A(T_1)= 0.4×1×2.5=1

$$V_t = \frac{\lambda W A(T_1)}{R_a} \tag{6.7}$$

V_t=1×153×1/1=153 kN

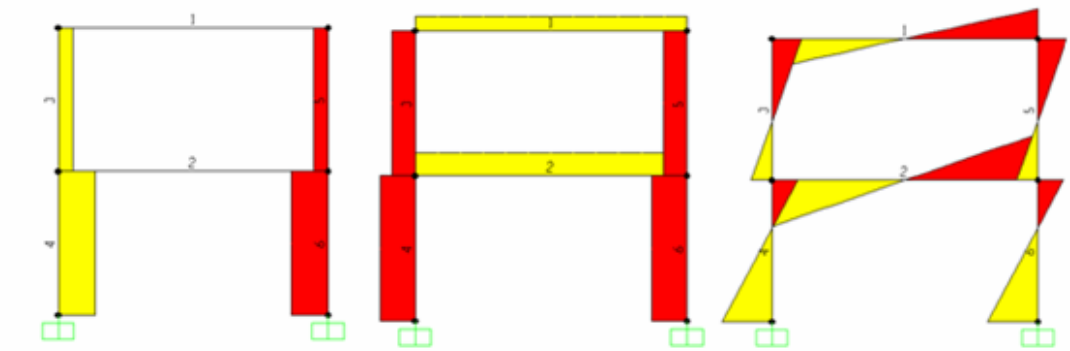
F_1=51 kN ve F_2=102 kN olarak eşdeğer deprem yükleri hesaplanarak sisteme etkitilmiştir.



Şekil 6.5: Sisteme Etkitilen Eşdeğer Deprem Kuvveti ve Yükleme Durumu (kN)

Tablo 6.2: Sistemde Deprem Yükleri Altında Oluşan İç Kuvvetler

Deprem Yükleri Altında İç Kuvvetler (E)				
Eleman	Uç	Normal Kuvvet (kN)	Kesme Kuvveti (kN)	Eğilme Momenti (kNm)
Kiriş 1	Sol-Sağ	-	31.97	± 95.92
Kiriş 2	Sol-Sağ	-	41.79	± 149.36
Kolon 1	Alt-Üst	31.97	51.00	67.28/-95.92
Kolon 2	Alt-Üst	81.76	76.50	162.72/-82.08
Kolon 3	Alt-Üst	-31.97	51.00	67.28/-95.92
Kolon 4	Alt-Üst	-81.76	76.50	162.72/-82.08



Şekil 6.6: Sistemin Deprem Yükleri Altında Normal Kuvvet, Kesme Kuvveti ve Moment Diyagramı

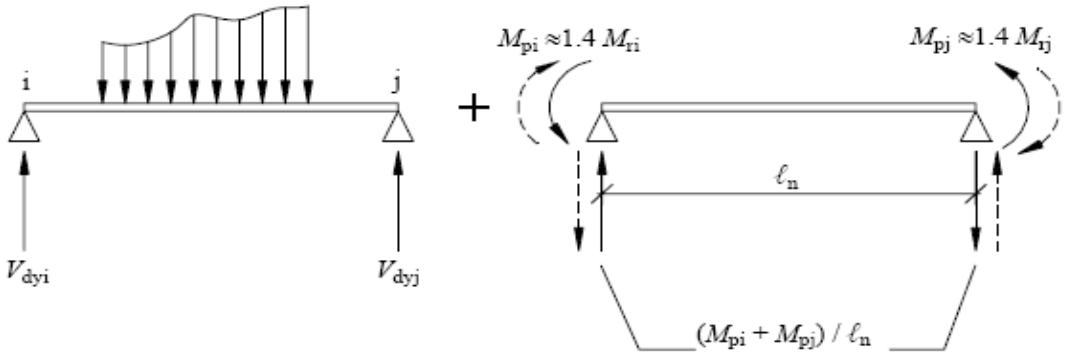
Kiriş ve kolonların etki kapasite oranları (r), uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınarak, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit eğilme momentinin

kesitin artık eğilme momenti kapasitesine bölünmesi ile elde edilir Tablo 6.3 ve Tablo 6.6

Tablo 6.3: Kirişlerin Etki/Kapasite Oranları

Kiriş Mesnet Tepkileri				
Kiriş ve Yükleme	M_r (kNm)	$M_d=M_{g+q}$ (kNm)	M_e (kNm)	$r=\frac{M_e}{M_r-M_d}$
Kiriş 1 (+)	60.54	-29.70	95.92	95.92/(60.54+29.70)=1.06
Kiriş 1 (-)	-75.11	-29.70	-95.92	95.92/(75.11-29.70)=2.11
Kiriş 2 (+)	60.54	-34.00	149.36	1.60
Kiriş 2 (-)	-75.11	-34.00	-149.36	3.63

6.1.3 Kirişlerde Eğilme Momenti Kapasitelerine Karşı Gelen Kesme Kuvveti:



Şekil 6.7: Kirişlerin Kesme Güvenliği

Kiriş 1 ve 2 eğilme momenti kapasitelerine karşı gelen kesme kuvveti tahkikinin yapılması gerekmektedir. Bu sebeple Denklem 6.8 kullanılarak Denklem 6.4 ile elde edilen V_{rmax} değeriyle kontrol edilir.

$$\frac{M_{rsol}+M_{rsağ}}{l_n}+V_{dy} \tag{6.8}$$

=(60.54+75.11)/5.6+37.50=61.72 kN

61.72 kN < V_r=165.42 kN

Çerçeve sistemdeki kirişler sünek eleman olarak davranmaktadırlar.

Tablo 6.4: Kirişlerde Donatı Oranı

Kesit	A_s (mm^2)	A_s' (mm^2)	ρ_b (%)	ρ (%	ρ' (%)	$\frac{(\rho-\rho')}{\rho_b}$
1	770	616	4.806	0.558	0.447	0.0230
2	616	770	4.806	0.447	0.558	-0.0230

Tablo 6.5: Kirişlerde Kesme Kuvveti Etkisi Oranı

Kiriş	V_{g+q} (kN)	V_e (kN)	$\frac{V_{g+q+e}}{(b_w d f_{ctm})}$
1	37.50	31.97	0.315
2	37.50	49.79	0.395

6.1.4 Kolon Uçlarındaki Moment Kapasitelerinin Hesaplanması

Çerçeve sistemdeki 40cmx50cm lik kolonların N_{g+q+e} eksenel yükleri altındaki moment kapasitelerini elde edebilmek için o elemanlara ait karşılıklı etki diyagramlarını modellenmesi gerekmektedir.

Fakat karşılıklı etki diyagramını bir den fazla noktadan oluştuğu için, çerçeve sistem örneğinde bazı varsayımlara gidilmiştir. Bunlar, karşılıklı etki diyagramında ilk önce kolaylıkla bulabileceğimiz noktalardan başlamak olmuştur. (Eksenel basınç, Eksenel Çekme, Basit Eğilme ve Dengeli Durum, Denklem 6.9-6.10 ve 6.11). Çerçeve sistem örneğinde ise gerekli kesit ve donatı özellikleri (Şekil 6.2) kullanılarak etki diyagramında bu noktalar bulunup, bulunan değerlerden elemanların bulundukları kat ve al-üst uçları için etki diyagramı modellenmiştir (Şekil 6.9).

$$N_o \text{ basınç} = 0.85 f_{cm} bh + A_s f_{ym} \quad (6.9)$$

$$= 0.85 \times 20 \times 400 \times 500 + 2036 \times 220 = 3048 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_o \text{ çekme} = A_s f_{ym} \quad (6.10)$$

$$= 2036 \times 220 = 448 \times 10^3 \text{ N}$$

Karşılıklı etki diyagramının eksenel basınç ve eksenel çekme altındaki değerlerini hesapladıktan sonra, betonarme kesitte oluşan kuvvetler yardımıyla dengeli duruma ait değerleri elde edebiliriz.

Dengeli Durum

$$\frac{x}{d}=\frac{\varepsilon_{cu}}{(\varepsilon_{cu}+\varepsilon_{yd})}=\frac{3}{3+1.1}=0.732$$

x=0.732×460=337 mm

a=0.85×337=286 mm

$$\varepsilon_s^{'}=\frac{0.003\times(337-40)}{337}=0.0026$$

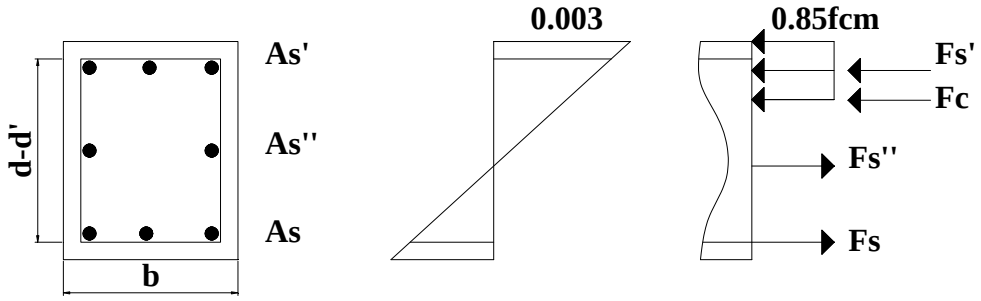
F_s'=763×220=168×10^3 N

$$\varepsilon_s^{''}=\frac{0.003\times(337-250)}{337}=0.0008$$

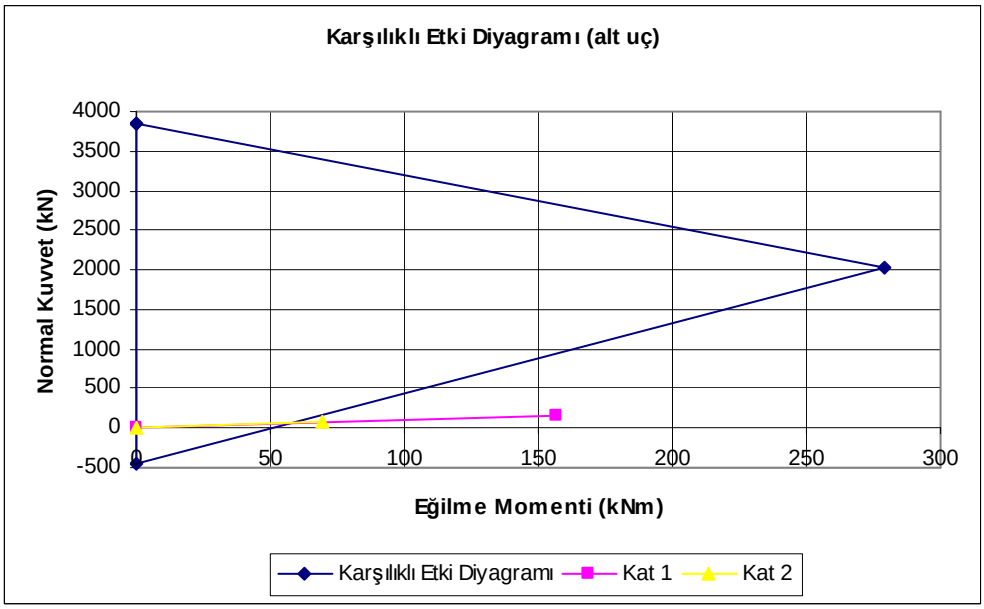
F_s''=509×160=81.4×10^3 N

N_r=0.85×20×400×286+81400=2026×10^3 N (6.11)

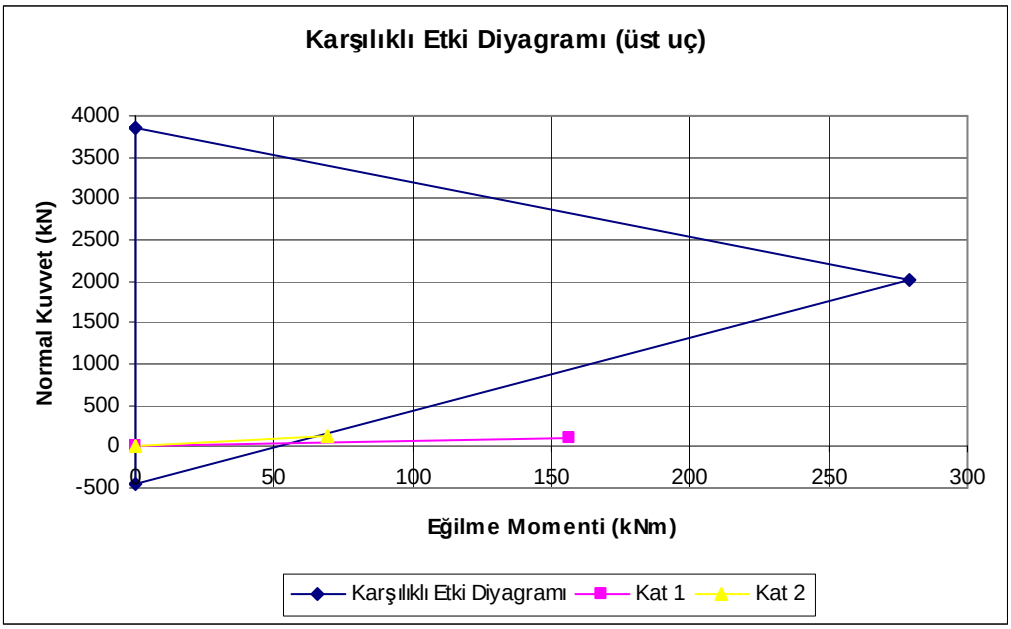
M_r=168× (0.5-0.08)+1945× (0.25-0.143)=279 kNm



Şekil 6.8: Betonarme Kesitte Oluşan Kuvvetler



Şekil 6.9: 40cm×50cm lik Kolonun Alt Uçu İçin Etkileşim Diyagramı



Şekil 6.10: 40cm×50cm lik Kolonun Üst Uçu İçin Etkileşim Diyagramı

Oluşturulan karşılıklı etki diyagramında M_{g+q} ve M_{g+q+e} noktaları işaretlenerek oluşturulan iki doğrunun karşılıklı etki diyagramını kestiği yerin koordinatları elde edilir ve Nr ve Mr kapasiteleri bulunur.

Tablo 6.6: Kolonların/Etki Kapasite Oranları

Kat 1-2 (Kolon Üst Uç)				
Eleman	M_r (kNm)	$M_d=M_{g+q}$ (kNm)	M_e (kNm)	$r = \frac{M_e}{M_r - M_d}$
Kolon 4-6	54.50	11.18	82.08	82.08/(54.50-11.18)=1.90
Kolon 3-5	62.01	29.70	95.92	95.92/(62.01-29.70)=2.97
Kat 1-2 (Kolon Alt Uç)				
Kolon 4-6	56.13	5.58	162.72	3.22
Kolon 3-5	60.20	22.82	67.28	1.80

Tablo 6.7: Kolonlarda Normal Kuvvet Etkisi Oranı

Kolon	N_{g+q} (kN)	N_e (kN)	$\frac{N_{g+q+e}}{(A_c f_{cm})}$
Kat 1	75.00	81.76	0.039
Kat 2	37.50	31.97	0.017

6.1.5 Kolonlarda Eğilme Momenti Kapasitelerine Karşı Gelen Kesme Kuvveti:

Kat 1 ve 2 deki kolonların eğilme momenti kapasitelerine karşı gelen kesme kuvveti tahkiki Denklem 6.12 ile yapılarak Denklem 6.4 ile karşılaştırılır.

$$\frac{M_{ralt} + M_{rüst}}{l_n} \tag{6.12}$$

Kat 1=(54.50+56.13)/2.7=40.97 kN < Vr=165.42 kN

Kat 2=(62.01+60.20)/2.7=45.26 kN < Vr=165.42 kN

6.1.6 Birleşim Bölgesi Kontrolü (Kuşatılmamış)

Çerçeve sistemdeki kolon ve kiriş bölgesi kontrolleri:

$$V_r=0.45b_w h_c f_{cm} \tag{6.13}$$

$=0.45\times300\times500\times20=1350\times10^3$ N

$$V_r=1.25A_s f_{ym} \tag{6.14}$$

$=1.25\times770\times220=212\times103$ N < 1350×10^3 N

Yapılan kontrolde birleşim bölgeleri gerekli koşulları sağlamaktadır.

6.1.7 Yatay Yer değiştirme Kontrolü

$\frac{\delta_1}{h_1}$ =60.12/3200=0.019

$\frac{\delta_2}{h_2}$ =(130.02-60.12)/3200=0.0218

Kiriş ve kolonlar için hesaplanan etki/kapasite oranlarının ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle bu elemanların kesit hasar bölgeleri belirlenir.

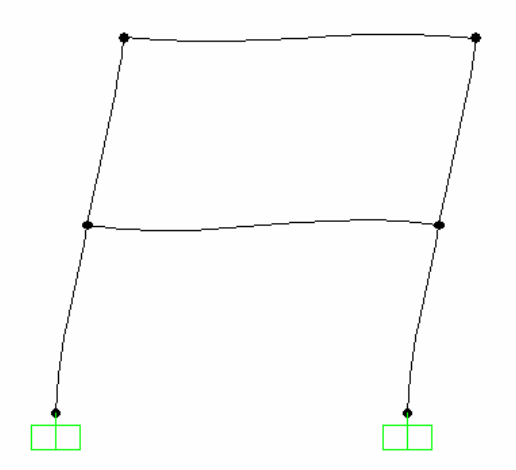
6.2 Doğrusal Olmayan Analiz (Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi)

Sistem düşey işletme yükleri altında hesaplanarak kolon normal kuvvetleri bulunur. Bu değerler beton enkesit alanına ve mevcut beton dayanımına bölünerek DBYBHY 2007 de tanımlanan sınır değerler ile karşılaştırılır ve kolonların çatlamış kesit eğilme rijitlikleri bulunur.

Taşıyıcı sistem çözümünde çatlamış kesit atalet momentleri:

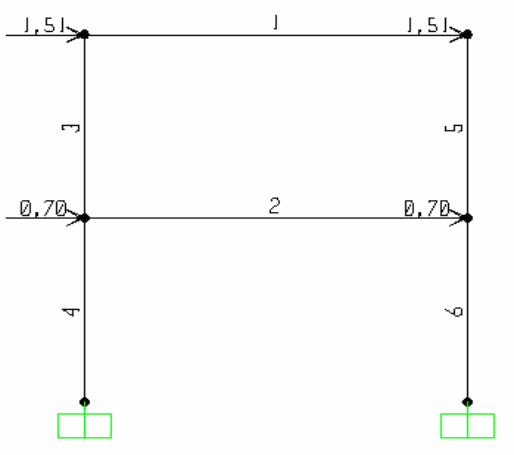
Kiriş=0.40 EI_o

Kolon=0.40 EI_o olarak hesaplanmıştır (kolon normal kuvveti düşük olduğu için).



Şekil 6.11: Sistemin Birinci Titreşim Mod Şekli (T_1=0.252 s)

Kolon ve kirişlerin her iki ucunda da plastik mafsallar tanımlanır. Daha sonra sisteme etkitilecek olan eşdeğer deprem yükü dağılımı, her katta deprem doğrultusundaki hakim doğal titreşim mod şekil genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Eşdeğer deprem yükündeki kuvvetler, sadece göz önüne alınan deprem doğrultusundaki kuvvetlerden oluşur. İncelenen çerçeve sistem modeli düzlem çerçeve olduğu için sadece tek bir doğrultu göz önüne alınmıştır.

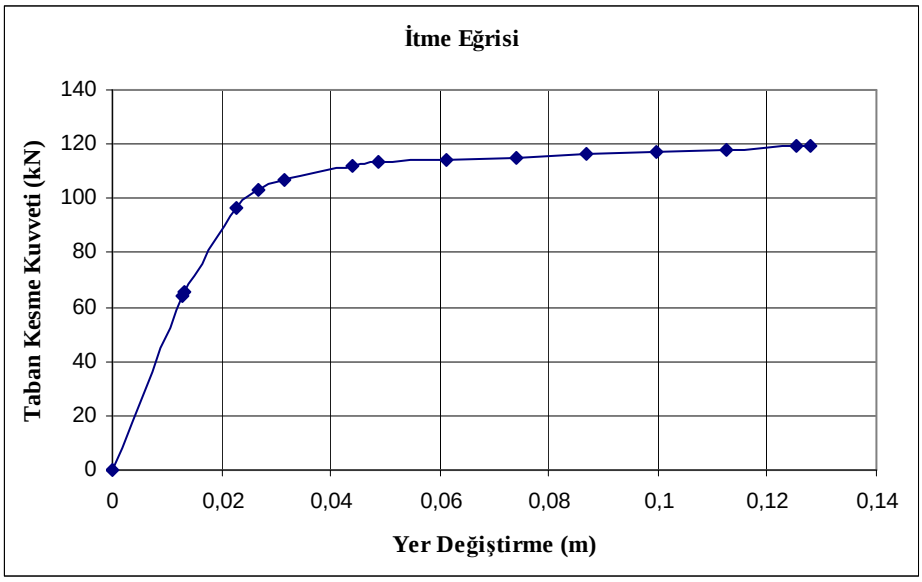


Şekil 6.12: Sisteme Etkitilen Yatay Yükler (kN)

Kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı doğrusal olmayan statik analiz tekrarlanır. Daha sonra belirlenmiş olan eşdeğer deprem yüklerinin monotonik olarak adım adım artırılması ile doğrusal olmayan itme analizi yapılır ve sistemin ‘tepe yer değiştirmesi’-‘taban kesme kuvveti’ değerleri elde edilir Tablo 6.8.

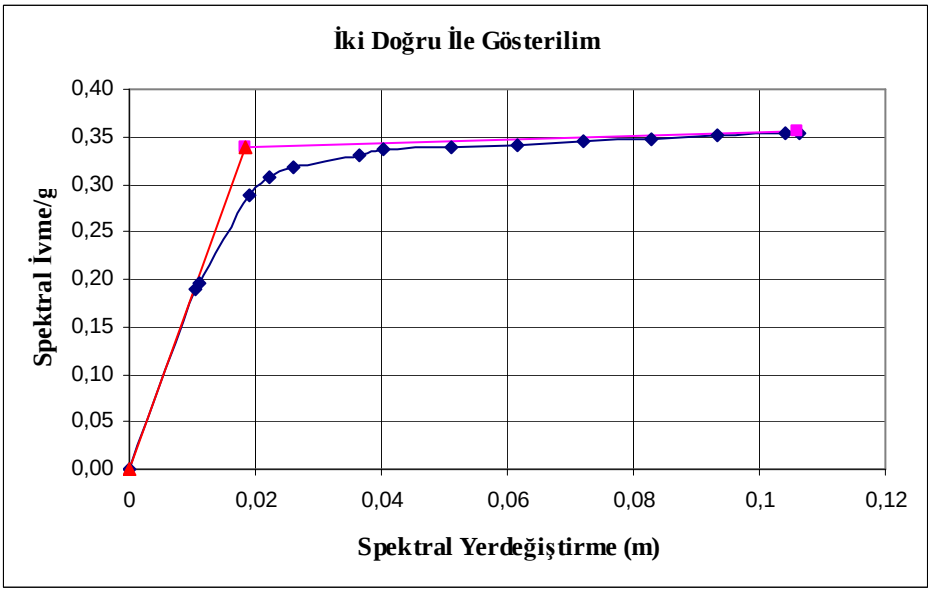
Tablo 6.8: Statik İtme Çözümü Sonucunda Elde Edilen Değerler

Adım	Yerdeğiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Plastik Mafsal Sayısı
1	0.013	63.83	0
2	0.013	65.79	1
3	0.023	96.88	3
4	0.027	103.49	4
5	0.031	107.19	5
6	0.044	111.64	5
7	0.049	113.18	6
8	0.061	114.19	6
9	0.074	115.20	6
10	0.087	116.20	6
11	0.100	117.21	6
12	0.113	118.21	6
13	0.125	119.22	6
14	0.128	119.42	6



Şekil 6.13: Statik İtme Eğrisi

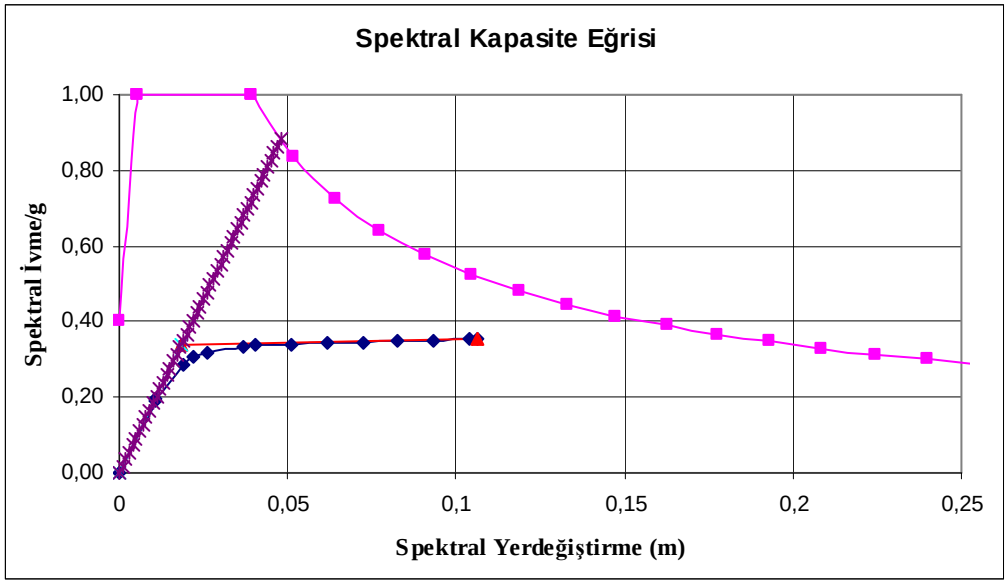
Tablo 6.8 deki değerlerden yararlanılarak statik itme eğrisi (Şekil 6.10) çizildikten sonra iki doğrulu bir diyagrama dönüştürülür. Bu dönüştürmede, iki doğrulu diyagram ve statik itme eğrisinin altında kalan alanların yaklaşık olarak birbirlerine eşit olması sağlanır Şekil 6.11.



Şekil 6.14: Statik İtme Eğrisinin İki Doğrulu Diyagrama Dönüştürülmesi

İtme eğrisine koordinat dönüşümü uygulanarak Denklem 4.1 ve 4.2, koordinatları 'modal yerdeğiştirme'-'modal ivme' olan modal kapasite diyagramı elde edilir. Elde edilen bu diyagramda zemin sınıfına ait ivme spektrum eğrisi de gösterilir.

Spektral ivme –spektral yerdeğiştirme değerlerinin oluşturacağı iki doğrulu diyagramın birinci doğrusunun ivme spektrumu eğrisini kestiği noktanın x ekseni üzerindeki izdüşümü alınarak doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme değeri bulunur (Şekil6.15).



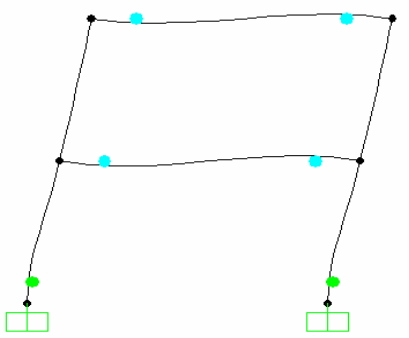
Şekil 6.15: Spektral İvme-Spektral Yerdeğiştirme Grafiği

$S_{ae1}/g=0.882$ ve $S_{de1}=0.048$ m olarak bulunur. Bulunan bu değerlerden yararlanılarak çerçeve sistem için göz önüne alınan deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirme istemi hesaplanır.

$$u_1 = \phi_{xN1}\Gamma_{x1}d_1 \qquad (6.12)$$

$=0.387\times3.113\times0.048=0.058$ m $u_1=58$ mm

olarak bulunur ve yapı bu değere kadar itilir.



Şekil 6.16: Statik İtme Analizi Sonucunda Oluşan Plastik Mafsallar

Tablo 6.9: Statik İtme Analizi Sonucunda Oluşan Plastik Mafsal Dönmeleri

Eleman	Uç	P (kN)	M (kNm)	Plastik Dönme (Radyan)
Kiriş 1	Sol	-	90.15	0.00146
Kiriş 1	Sağ	-	-91.72	-0.00584
Kiriş 2	Sol	-	91.18	0.00434
Kiriş 2	Sağ	-	-92.86	-0.00901
Kolon 3	Alt	3.31	-90.15	-
Kolon 3	Üst	3.31	35.88	-
Kolon 4	Alt	6.99	117.79	0.00593
Kolon 4	Üst	6.99	-55.30	-
Kolon 5	Alt	-57.31	32.88	-
Kolon 5	Üst	-57.31	-91.72	-
Kolon 6	Alt	-114.99	134.64	0.00499
Kolon 6	Üst	-114.99	-59.98	-

6.2.1 Kiriş Kesitlerinin Akma Eğrilikleri

Toplam eğriliklerin hesaplanabilmesi için akma eğriliklerinin de bulunması gerekmektedir. Kiriş kesitinde akma eğrilikleri ,

Negatif Eğilme Momenti

A_s=770 mm^2 ρ=0.00558 d=460 mm

A_s'=616 mm^2 ρ'=0.00447 d'=40 mm

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 200/28 = 7.14 \tag{6.13}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_{ym}}{E_s} = 220/2\times10^5 = 0.0011 \tag{6.14}$$

$$k_x = \left[(\rho+\rho')^2 n^2 + 2(\rho+\rho' d'/d)n\right]^{1/2} - (\rho+\rho')n \text{; } k_x = 0.228 \tag{6.15}$$

x= k_xd=0.228×460=105 mm

$$\phi_y = \frac{\varepsilon_y}{(d-x)} = 0.0011/(0.46-0.105) = 3.099\times10^{-3} \text{ rad/m} \tag{6.16}$$

Pozitif Eğilme Momenti

A_s=616 mm^2 ρ=0.00447 d=460 mm

A_s'=770 mm^2 ρ'=0.00558 d'=40 mm

k_x=0.204 x=94 mm

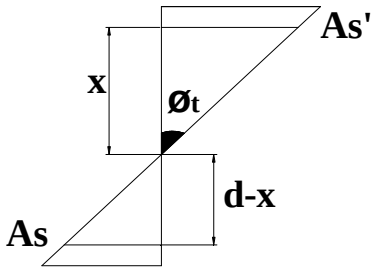
$\phi_y = \frac{\varepsilon_y}{(d-x)}$ =0.0011/(0.46-0.094)=3×10^{-3} rad/m ;

olarak bulunurlar ve plastik eğriliklerle toplanarak toplam eğrilikler elde edilir (Tablo 6.10).

Tablo 6.10: Toplam Eğrilikler

Eleman	Uç	Plastik Dönme (rad×1000	Plastik Eğrilik (1/m×1000)	Akma Eğriliği (1/m×1000)	Toplam Eğrilik (1/m×1000)
Kiriş 1	Sol	1.46	5.84	3.10	8.94
Kiriş 1	Sağ	-5.83	23.35	3.00	26.35
Kiriş 2	Sol	4.34	17.35	3.10	20.45
Kiriş 2	Sağ	-9.01	36.04	3.00	39.04
Kolon 3	Alt	-	-	-	-
Kolon 3	Üst	-	-	-	-
Kolon 4	Alt	5.93	23.72	3.14	26.86
Kolon 4	Üst	-	-	-	-
Kolon 5	Alt	-	-	-	-
Kolon 5	Üst	-	-	-	-
Kolon 6	Alt	4.99	19.96	3.33	23.29
Kolon 6	Üst	-	-	-	-

Kolon ve kirişlerdeki toplam eğrilik değerlerini bulduktan sonra donatı ve betonun eksenel kuvvet etkisi altındaki birim boy değişimlerinin hesaplanması gerekmektedir.



Şekil 6.17: Kesitte Toplam Eğrilik Sonucu Oluşan Şekildeğiştirme Durumu

$$N = 0.85baf_{cm} - A_s\sigma_s + A_s^{'}\sigma_s^{'} - A_s^{''}\sigma_s^{''}$$
$$N = 0.85b\frac{x}{k}f_{cm} - A_s\phi(d-x)E_s + A_s^{'}\phi(x-d^{'})E_s \qquad (6.17)$$

Tablo 6.11: Donatıdaki ve Betondaki Birim Boy değişimler

Eleman	Uç	Toplam Eğrilik (1/mx1000)	X (mm)	ε_{cu}x1000	ε_{su}x1000
Kiriş 1	Sol	8.94	67	5.93	3.52
Kiriş 1	Sağ	26.35	125	3.28	8.84
Kiriş 2	Sol	20.45	89	1.81	7.60
Kiriş 2	Sağ	39.04	118	4.58	13.38
Kolon 4	Alt	26.86	128	3.42	8.94
Kolon 6	Alt	23.29	126	2.92	7.79

Öngörülen Sınırlar;

$(\varepsilon_{cu})_{MN}=0.0035$ $(\varepsilon_{su})_{MN}=0.010$

$(\varepsilon_{CG})_{GV}=0.0035+0.01(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135$ $(\varepsilon_{su})_{GV}=0.040$

$(\varepsilon_{CG})_{GÇ}=0.004+0.014(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018$ $(\varepsilon_{su})_{GÇ}=0.060$

Bulunan beton ve donatı birim kısalma ve uzama değerleri ilgili sınırlarla kıyaslanarak elemanların hasar bölgeleri belirlenir.

Her iki yöntemde de bu değerlerden binanın performans durumu yönetmelikteki şartlar kullanılarak tespit edilir.

7. DOĞRUSAL YÖNTEMLE PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİNE YAPI ÖRNEĞİ

7.1 Genel Yapı Bilgileri

İncelenen yapı, planda boyutları 29.00m × 15.90m olan, zemin kat ve iki normal kat olmak üzere üç katlı betonarme bir hastane binasıdır. Kat yükseklikleri zeminde 3.5m, diğer katlarda ise 3.2m dir. Yapıda uzun doğrultuda sekiz, kısa doğrultuda ise dört adet eksen mevcuttur. Taşıyıcı sistem 50cmx50cm boyutlarında kolonlar, 30cmx50cm boyutlarında kirişler ve 20cm kalınlığında plak döşemeden oluşmaktadır. Yapıda perde eleman bulunmamaktadır. Kalıp planları ise kat için Ek A da verilmiştir.

İncelenen yapı 1998 Deprem Yönetmeliğine göre inşa edilmiş ve projesi mevcut olan bir yapıdır. Yapının projesi ve hesap sonuçları alınarak mevcut olan yapı üzerinde bir inceleme yapılmıştır.

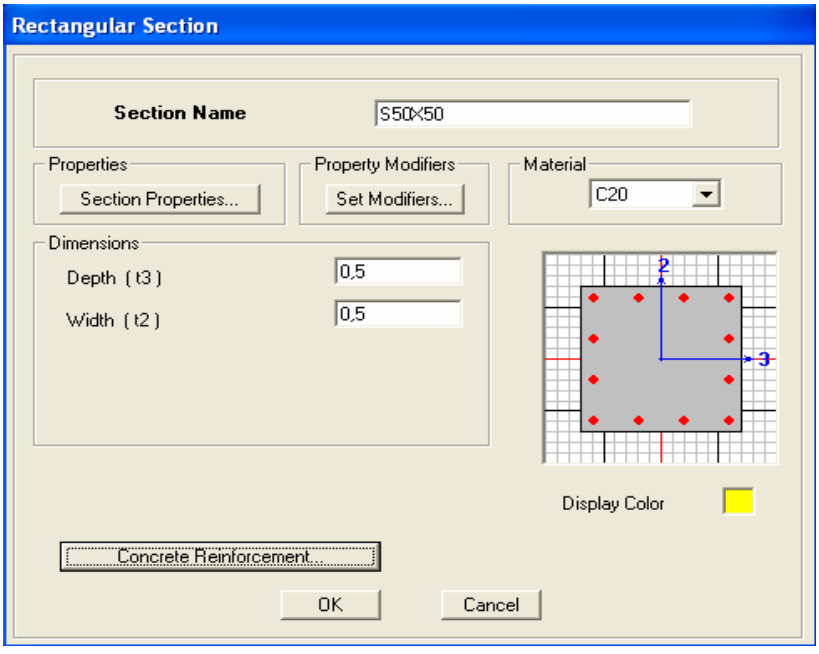
Yapı projesine göre SAP2000 programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Döşemeler modellenmediği için döşemelerden gelen yükler TS500 e göre belirlenip üçgen ve yamuk şeklinde kirişlere dış yük olarak etkitilmiştir. Ayrıca her katta döşemelerin düzlemleri içinde rijit diyafram olarak davrandığı kabulü yapılmıştır ve rijit diyafram tanımlanması yapılmıştır.

Yapı analizinde kullanılan birimler	: kN, m
Kat sayısı	: Zemin + 2 Kat
Kat yüksekliği	: 3.5m (zemin) , 3.2m (normal katlar)
Döşeme kalınlığı	: 0.20 m
Döşeme tipi	: Kirişli plak döşeme
Hareketli yük katılım katsayısı	: 0.3
Deprem bölgesi	: 1.Deprem bölgesi

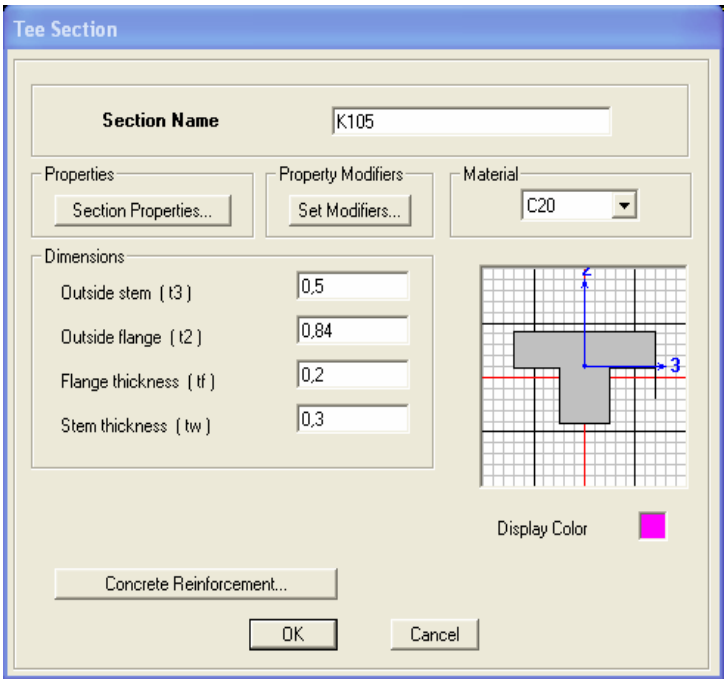
Etkin yer ivmesi katsayısı	: A_0=0.4
Zemin sınıfı	: Z2
Spektrum karakteristik periyotları	: T_A=0.15 s , T_B=0.40 s
Beton sınıfı	: C20
Çelik sınıfı	: S220
Bilgi düzeyi	: Kapsamlı
Kullanım Türü	: Hastane

7.2 Yapının Bilgisayar Programında Modellenmesi

Yapı modellenirken ilk önce sistemin eksenleri tanımlanarak çubuk elamanlar atanmıştır. Beton ve donatı çeliğine ait malzeme özellikleri, kolon ve kirişlere ait kesit geometrileri tanımlanarak ilgili elemanlara atanmıştır. Daha sonra tanımlanan kesitler ilgili çubuk elemanlara atanarak sistemin geometrik şekli oluşturulmuştur. Buradaki en önemli unsur kesitler tanımlanırken mevcut donatılarında tanımlanması gerektiğidir. Mevcut donatılar da yapının projesinden alınmıştır.

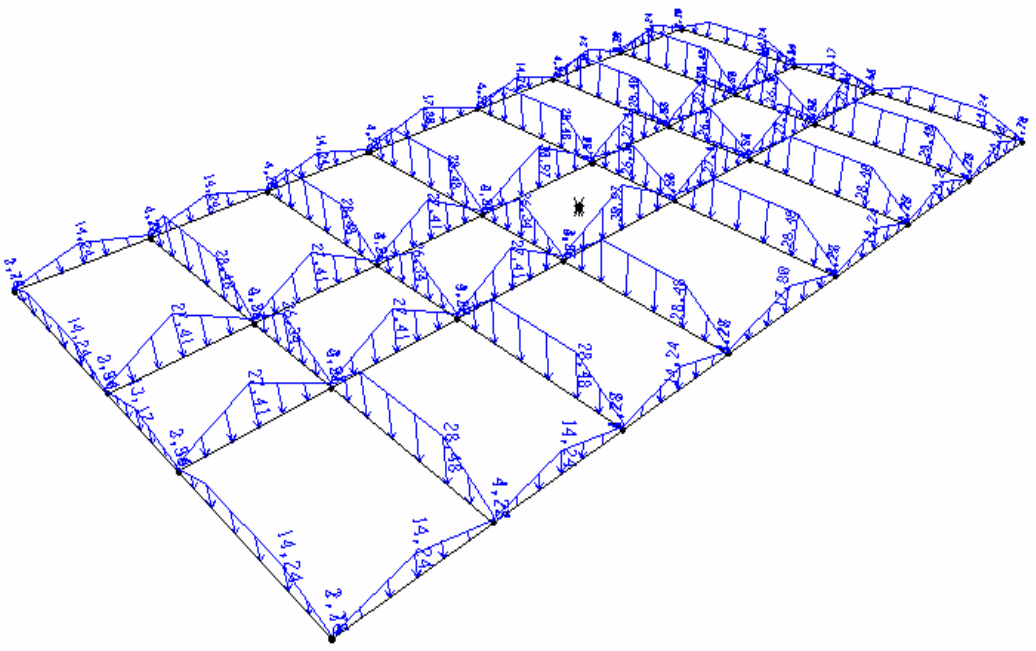


Şekil 7.1: SAP2000 Programında Tanımlanan Kolon Bilgisi

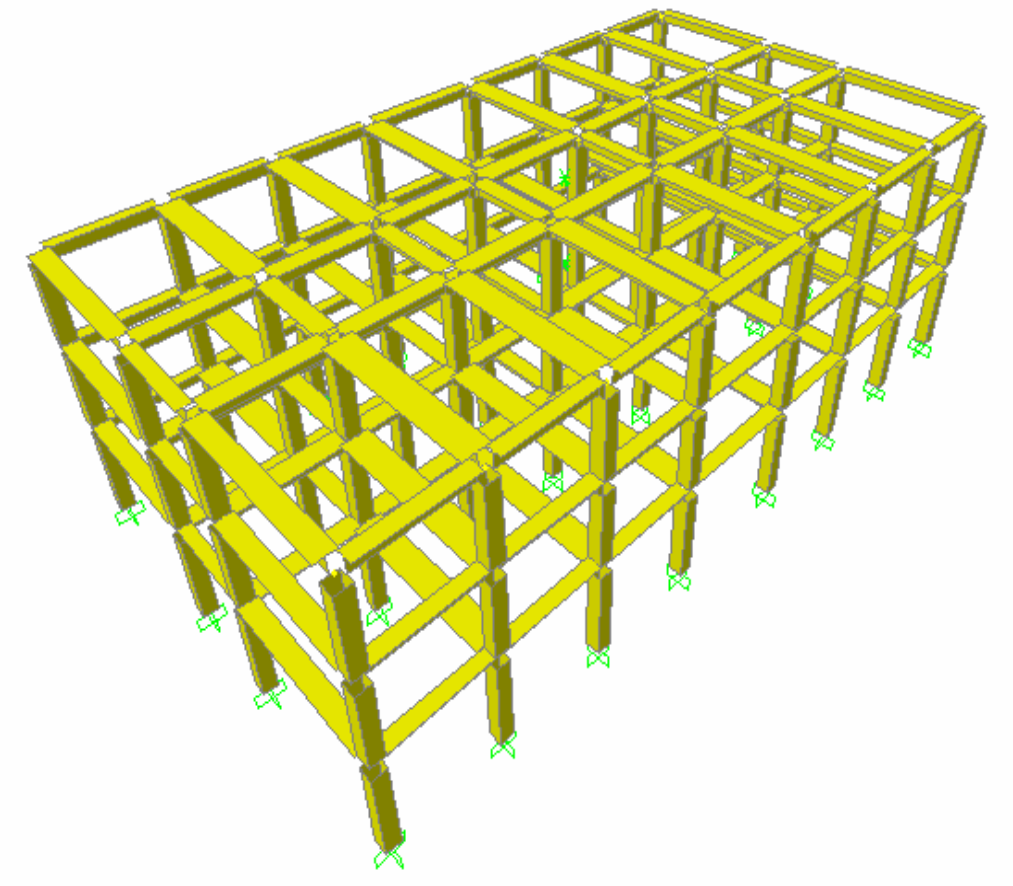


Şekil 7.2: SAP2000 Programında Tanımlanan Kiriş Bilgisi

Çalışmada döşemeler modellenmediği için döşemelerden gelen yükler dış yük olarak kirişlere aktarılmıştır. Kirişlerdeki yükler de üçgen ve yamuk yayılı yük şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil 7.3: Tipik Kat Kiriş Yüklemesi



Şekil 7.4: Yapının Üçboyutlu Görünüşü

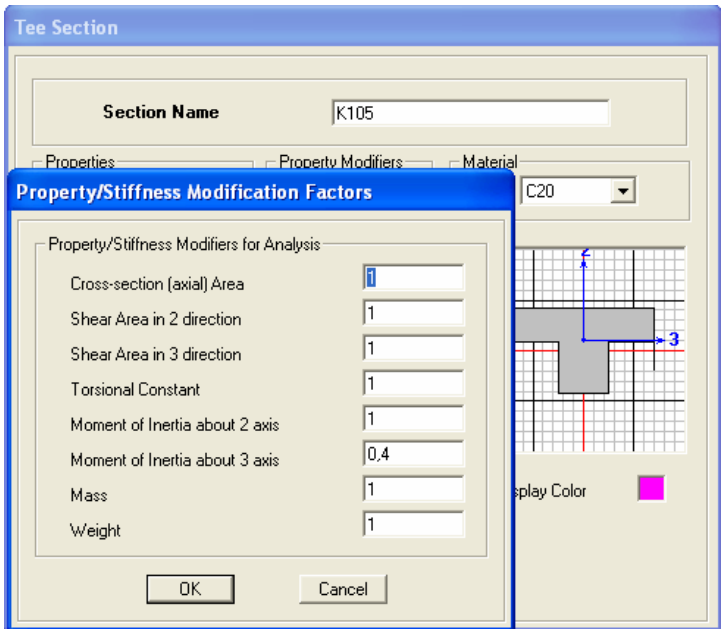
7.3 Mod Şekillerinin Belirlenmesi

İncelenen yapı sistemi modellenip yapıya etkiyen düşey yükler tanımlandıktan sonra, yapı ilk önce düşey yükler altında analiz ettirilmiştir. Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri tanımlanmalıdır. Bu amaçla kirişler için $0.40EI_0$ olarak dikkate alınmıştır. Kolonlar için ise düşey yükler altında okunan eksenel yüklere bağlı olarak,

$N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda: $0.40\ EI_0$

$N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda: $0.80\ EI_0$

değerleri kullanılmıştır. N_D nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılarak çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri tüm sistem için tanımlanmıştır.



Şekil 7.5: Kirişler İçin Rijitlik Azaltılması

Bütün taşıyıcı sistem elemanlarının rijitlikleri tanımlandıktan sonra modal analiz yapılıp her iki doğrultu için bulunan doğal titreşim periyotları T_x, T_y Tablo 7.1'de ve kat ötelenmeleri Φ_{xi}, Φ_{yi} Tablo 7.2 de verilmiştir.

Tablo 7.1: Yapının Doğal Titreşim Periyotları

Doğal Titreşim Periyodu	T_x (s)	T_y (s)
	0.640	0.692

Tablo 7.2: Birinci ve İkinci Mod Kat Ötelemeleri

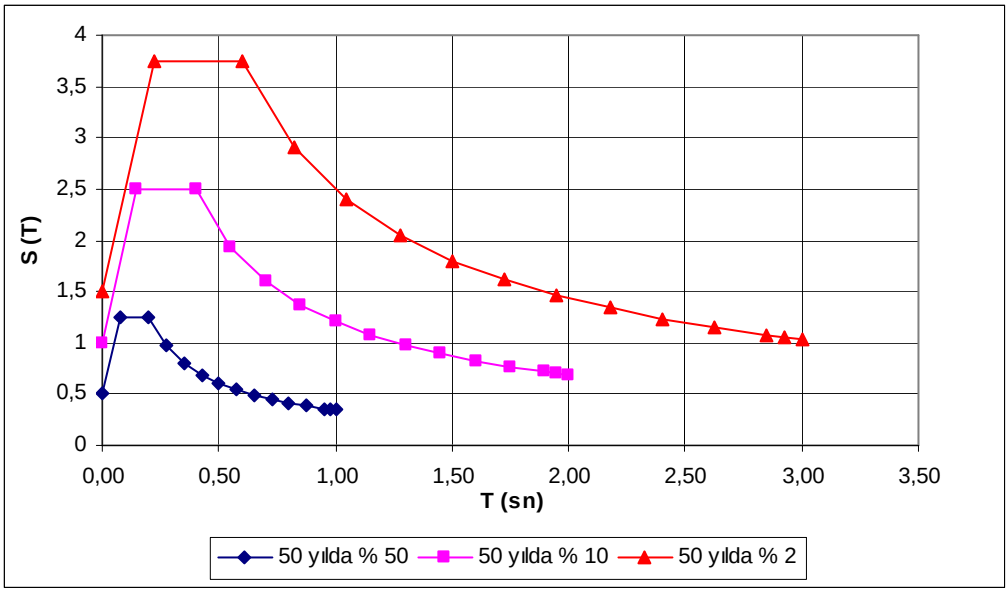
Kat No	Φ_{xi}	Φ_{yi}
2.Kat	0.0299	0.0303
1.Kat	0.0227	0.0225
Zemin Kat	0.0110	0.0105

7.4 Kullanılan Yöntem

Yeni yapılacak binalar da deprem yüklerinin hesabı için tanımlanan ivme spektrumu 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremini esas almaktadır. Fakat bu depreme ek olarak mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere farklı deprem düzeyleri tanımlanmıştır (Şekil 7.5). İncelenen yapı hastane binası olduğu için minimum performans hedefi 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan deprem de hemen kullanım performans hedefini ve 50

yılda aşılma olasılığı % 2 olan deprem de ise can güvenliği performans hedefini sağlaması istenmektedir.

Öncelikle yapının tasarım depremi altında X ve Y doğrultuları için kesit hasar bölgeleri belirlenmiş ve bu deprem etkisi altında hasarın kabul edilip edilemeyeceği ayrıntılı bir şekilde kontrol edilmiştir. Daha sonra 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan en büyük deprem için de kontroller yapılmış ve iki performans hedefinin karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 7.6: Farklı Deprem Etkileri İçin İvme Spektrumu

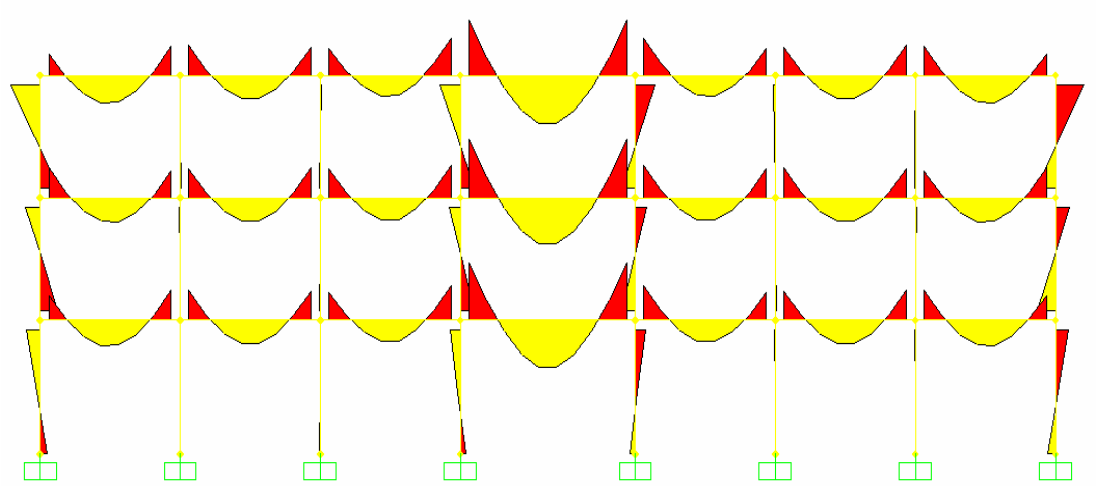
7.4.1 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Yapılan çalışmada öncelikle tasarım depremi altında binanın hemen kullanım performans düzeyini sağlaması istendiği için tasarım depremi ivme spektrumu kullanılarak deprem yükleri hesaplanmıştır (Tablo 7.3). Deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılan formüllerdeki (Denklem (6.6)-(6.7)) deprem yükü azaltma katsayısı R_a=1 ve bina önem katsayısı I=1 olarak alınmıştır. Ayrıca binaya yatay yükler altındaki analizinde ek dışmerkezlik uygulanmamıştır.

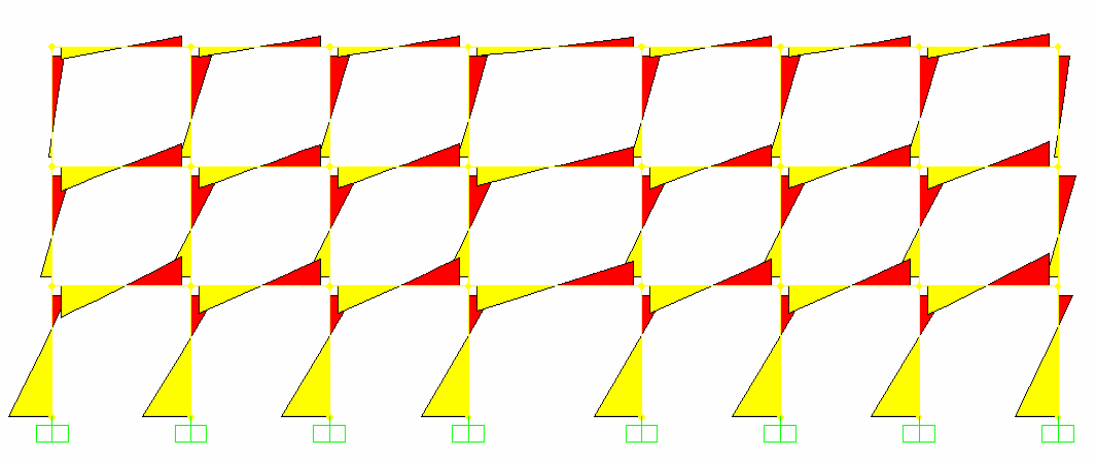
Tablo 7.3: Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri

Hemen Kullanım Performans Düzeyi						
KAT	**h (m)**	**H_i (m)**	**W_i (kN)**	**$W_i \times H_i$**	**F_i-X (kN)**	**F_i-Y (kN)**
3	3.2	9.9	9550	94545	9700.04	9112.40
2	3.2	6.7	9550	63985	6564.68	6166.98
1	3.5	3.5	9620	33670	3454.44	3245.17
TOPLAM			28720	192200	19719.16	18524.55

Sistem bu deprem yükleri altında hesaplanarak tüm kesitlerdeki eğilme momentleri elde edilmiş olur.



Şekil 7.7: D-D Ekseninin Düşey Yük Moment Diyagramı (M_d)



Şekil 7.8: D-D Ekseninin HK Performans Seviyesi İçin Hesaplanan Deprem Yüklemesinden Elde Edilen Yatay Yük Moment Diyagramı (M_{ex})

7.4.2 Kiriş ve Kolonların Moment Kapasitelerinin Hesabı (M_r)

Yapıdaki kirişlerin eğilme momenti kapasiteleri Denklem (6.1) ve (6.2) ile hesaplanabilmektedir. Bu kapasite hesabı, kirişlerdeki mevcut donatılar kullanılarak kirişin her iki ucu için negatif ve pozitif moment kapasitesi şeklinde yapılmıştır.

Fakat yapıdaki kiriş sayısının fazla olmasından dolayı bütün katlardaki kesitlerdeki donatıları ayrı ayrı modellemek yerine sadece zemin kat kirişlerindeki donatılar tanımlanmış ve bütün katlardaki donatıların aynı oldukları varsayılmıştır (Tablo 7.3).

Tablo 7.4: Kat Kirişlerinin Moment Kapasiteleri

	Kiriş Uçları	**M_r^- (kNm)**	**M_r^+ (kNm)**	**As (mm^2)**	**As' (mm^2)**	
K102	Sol uç	101.12	136.50	1051	1447	**K102**
K102	Sağ uç	89.09	127.97	920	1350	
K102-A	Sol uç	82.22	120.69	846	1268	**K102-A**
K102-A	Sağ uç	83.06	122.03	855	1283	
K102-B	Sol uç	84.27	122.65	868	1290	**K102-B**
K102-B	Sağ uç	83.89	127.88	864	1349	
K103	Sol uç	65.58	127.00	669	1339	**K103**
K103	Sağ uç	65.96	127.62	673	1346	
K104	Sol uç	101.76	150.72	1058	1611	**K104**
K104	Sağ uç	87.79	142.17	906	1512	
K104-A	Sol uç	80.07	136.06	823	1442	**K104-A**
K104-A	Sağ uç	81.10	137.72	834	1461	
K104-B	Sol uç	82.50	137.90	849	1463	**K104-B**
K104-B	Sağ uç	81.19	143.90	835	1532	
K105	Sol uç	77.36	148.65	794	1587	**K105**
K105	Sağ uç	77.83	149.69	799	1599	
K106	Sol uç	82.31	157.73	847	1693	**K106**
K106	Sağ uç	79.79	153.12	820	1639	
K107	Sol uç	113.80	149.43	1191	1596	**K107**
K107	Sağ uç	113.80	150.63	1191	1610	
K108	Sol uç	95.81	182.19	993	1985	**K108**
K108	Sağ uç	98.74	187.52	1025	2050	
K109	Sol uç	105.58	159.69	1100	1716	**K109**
K109	Sağ uç	105.58	161.72	1100	1740	

Kiriş moment kapasitelerinin hesabı için isimlendirmesi yapılırken benzer kirişleri ayırt etmek için yukarıdaki gibi bir isimlendirme yapılmıştır. Bu isimlendirme ayrıca kalıp planlarında gösterilmiştir. Diğer kesit hasar sınırlarını belirlerken genel kalıp planındaki isimlendirme kullanılmıştır.

Yapıdaki kolonların eğilme momenti kapasitelerini hesaplayabilmek için kolon elemanlarının mevcut donatı düzenine göre eksenel yük altındaki karşılıklı etki diyagramlarının elde edilmesi gerekmektedir. Fakat incelenen yapıda kolon sayısının fazla olması ve her elemanın alt ve üst uçları için eksenel yük değerlerinin farklı olmasından dolayı varsayım yoluna gidilmiştir.

Kolonlardaki normal kuvvetin değişmediği kabul edilmiştir. Depremden gelen normal kuvvetlerin, N_{g+q} yanında küçük değerler olduğu için ihmal edilebileceği varsayımı yapılmıştır.

$$n = \frac{N_d}{bhf_{ck}} \tag{7.1}$$

$$m_x = \frac{M_{cap}}{bh^2 f_{ck}} \tag{7.2}$$

$$\mu = \frac{A_s}{bh}\frac{f_{yk}}{f_{ck}} \tag{7.3}$$

1) $n < 0.2$ durumu için

$$m = (\mu - 2.92n^2 + 1.48n)/2.86 \tag{7.4a}$$

2) $0.2 \leq n \leq 0.3$ durumu için

$$m = (\mu + 0.192)/2.92 \tag{7.4b}$$

3) $n > 0.3$ durumu için

$$m = (\mu - 0.62n^2 - 0.254n + 0.32)/2.92 \tag{7.4c}$$

Sonrasında da sistemin kolonlarının eğilme momenti kapasiteleri Denklem (7.1)-(7.4c) formülleri kullanılarak elde edilmiştir. Tek eksenli bileşik eğilme etkisindeki dikdörtgen betonarme kolonların eğilme momenti kapasitelerinin hesabında bu taşıma gücü formüllerinden yararlanılır. Fakat bu formüller betonarme betonu için 1.50, beton çeliği için 1.15 değerindeki malzeme güvenlik katsayılarını içerdiğinden, formüllerin bu katsayılardan arındırılmasını sağlamak için, f_{ck} ve f_{yk} karakteristik dayanımlarının sırasıyla 1.50 ve 1.15 katsayıları ile arttırılarak kullanılması gerekmektedir.

Bu formüllerdeki *b* ve *h* dikdörtgen kolon kesitinin enkesit boyutlarını, A_s toplam boyuna donatı alanını göstermektedir.

Tablo 7.5: D-D Eksenindeki Kolonlardaki Moment Kapasiteleri

Kolonların Moment Kapasiteleri (Alt-Üst Uç)					
ELEMAN	**Uç**	**n**	**μ**	**m**	**M_r (kNm)**
S1	Alt uç	0.0523	0.1030	0.0603	226.14
S1	Üst uç	0.0496	0.1030	0.0592	221.94
S2	Alt uç	0.0925	0.1030	0.0752	281.86
S2	Üst uç	0.0898	0.1030	0.0743	278.50
S3	Alt uç	0.0918	0.1030	0.0749	280.90
S3	Üst uç	0.0890	0.1030	0.0740	277.52
S4	Alt uç	0.0998	0.1030	0.0775	290.61
S4	Üst uç	0.0971	0.1030	0.0766	287.40
S5	Alt uç	0.0998	0.1030	0.0775	290.61
S5	Üst uç	0.0971	0.1030	0.0766	287.40
S6	Alt uç	0.0918	0.1030	0.0749	280.90
S6	Üst uç	0.0890	0.1030	0.0740	277.52
S7	Alt uç	0.0925	0.1030	0.0752	281.86
S7	Üst uç	0.0898	0.1030	0.0743	278.50
S8	Alt uç	0.0523	0.1030	0.0603	226.14
S8	Üst uç	0.0496	0.1030	0.0592	221.94
S9	Alt uç	0.0768	0.1030	0.0698	261.59
S9	Üst uç	0.0741	0.1030	0.0688	257.90

Kiriş ve kolonların etki/kapasite oranları (r), uygulanan deprem yönü dikkate alınarak, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit eğilme momentinin kesitin artık eğilme momenti kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesitlerin artık eğilme momenti kapasiteleri, kesitlerin eğilme momenti kapasiteleri ile düşey yükler altında bu kesitlerde hesaplanan eğilme momentlerinin farkları alınarak elde edilir. Kiriş ve kolonlar için hesaplanan etki/kapasite oranlarının ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle bu elemanların kesit hasar bölgeleri belirlenir.

Tablo 7.6: Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s)

Sünek Kirişler			**Hasar Sınırı**		
$\frac{\rho-\rho'}{\rho_b}$	**Sargılama**	$\frac{V}{b_w d\ f_{ctm}}$	**MN**	**GV**	**GÇ**
≤0.0	Var	≤0.65	3	7	10
≤0.0	Var	≥1.3	2.5	5	8
≥0.5	Var	≤0.65	3	5	7
≥0.5	Var	≥1.3	2.5	4	5

Yapıdaki kiriş ve kolon elemanlarında sargı donatısı yerinde mevcut olduğu kabul edilerek etki/kapasite oranlarının belirlenmesinde sargılı durum göz önüne alınmıştır.

Aşağıdaki tabloda ise sadece yapının D-D ekseninin 1.kat kirişleri için hasar durumları yer almaktadır.

Tablo 7.7: D-D Ekseni 1.Kat Kirişleri İçin X Yönündeki Deprem Kuvveti Sonucunda Oluşan Hasar Durumları

ELEMAN	$\frac{\rho-\rho'}{\rho_b}$	**Sargılama**	$\frac{V_{ex}}{b_w d f_{ctm}}$	$\mathbf{r_{üst}}$	**Hasar Sınırı**	$\mathbf{r_{alt}}$	**Hasar Sınırı**
K1 Sol uç	-0.0598	Var	2.27	7.32	**GÇ**	5.63	**GÇ**
K1 Sağ uç	-0.0649	Var	2.27	7.14	**GÇ**	5.26	**GÇ**
K2 Sol uç	-0.0637	Var	2.03	7.08	**GÇ**	5.14	**GÇ**
K2 Sağ uç	-0.0646	Var	2.03	7.11	**GÇ**	5.14	**GÇ**
K3 Sol uç	-0.0637	Var	2.06	7.17	**GÇ**	5.22	**GÇ**
K3 Sağ uç	-0.0732	Var	2.08	6.99	**GÇ**	4.95	**GV**
K4 Sol uç	-0.1016	Var	1.56	6.37	**GÇ**	4.00	**GV**
K4 Sağ uç	-0.1016	Var	1.56	6.37	**GÇ**	3.99	**GV**
K5 Sol uç	-0.0637	Var	2.08	6.97	**GÇ**	5.13	**GÇ**
K5 Sağ uç	-0.0732	Var	2.06	7.20	**GÇ**	5.03	**GÇ**
K6 Sol uç	-0.0637	Var	2.03	7.17	**GÇ**	5.19	**GÇ**
K6 Sağ uç	-0.0646	Var	2.03	7.03	**GÇ**	5.09	**GÇ**
K7 Sol uç	-0.0598	Var	2.27	6.43	**GÇ**	4.97	**GV**
K7 Sağ uç	-0.0649	Var	2.27	8.16	**>GÇ**	5.96	**GÇ**

Kirişlerde enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti V_e, depremin soldan sağa veya sağdan sola etkimesi durumları için ayrı ayrı ve elverişsiz sonuç verecek şekilde Denklem (7.5) ile hesaplanmıştır.

$$V_e = V_{dy} + \frac{(M_{Ki} + M_{Kj})}{l_n} \tag{7.5}$$

Her kat için kesme kuvvetine maruz olan kirişlerde sargılı durum için kontrol yapılmış ve kirişlerin kesme kuvveti kapasitelerinin aşılmadığı görülmüştür. Tablo 7.6 da ise sadece D-D eksenindeki 1.kat kirişleri için yapılan kontroller yer almaktadır.

Tablo 7.8: D-D ekseni 1.Kat Tasarım Depremi Etkisinde Kiriş Kesme Tahkiki

ELEMAN	**V** **(G+Q)**	$\mathbf{M_r}^-$	$\mathbf{M_r}^+$	$V_e = V_{dy} + \frac{(M_{Ki} + M_{Kj})}{l_n}$	$V_r = 0.8V_{cr} + V_w$	√ ×
K1 Sol uç	-33.71	101.12	136.50	97.08	182	√
K1 Sağ uç	35.45	89.09	127.97	93.33	182	√
K2 Sol uç	-34.71	82.22	120.69	88.82	182	√
K2 Sağ uç	34.46	83.06	122.03	89.14	182	√
K3 Sol uç	-33.33	84.27	122.65	88.51	182	√
K3 Sağ uç	35.83	83.89	127.88	92.31	182	√
K4 Sol uç	-52.04	65.96	127.00	92.66	182	√
K4 Sağ uç	52.04	65.96	127.62	92.79	182	√
K5 Sol uç	-35.83	84.27	122.65	91.01	182	√
K5 Sağ uç	33.33	83.89	127.88	89.80	182	√
K6 Sol uç	-34.46	82.22	120.69	88.56	182	√
K6 Sağ uç	34.71	83.06	122.03	89.40	182	√
K7 Sol uç	-35.45	101.12	136.50	98.81	182	√
K7 Sağ uç	33.71	89.09	127.97	91.60	182	√

Tablo 7.9: Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s)

Sünek Kolonlar			**Hasar Sınırı**		
$\frac{N}{A_c f_c}$	**Sargılama**	$\frac{V}{b_w d\ f_{ctm}}$	**MN**	**GV**	**GÇ**
≤0.1	Var	≤0.65	3	6	8
≤0.1	Var	≥1.3	2.5	5	6
≥0.4 ve ≤0.7	Var	≤0.65	2	4	6
≥0.4 ve ≤0.7	Var	≥1.3	1.5	2.5	3.5

Yapıdaki kolon ve kiriş elemanları kritik kesitlerindeki eğilme momenti kapasiteleri ile hesaplanan kesme kuvveti V_e'nin, bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri ile uyumlu kesme kuvveti kapasitesi V_r'yi aşmamaktadır. Bu nedenle yapıdaki kolon ve kiriş elemanları sünek davranış göstermektedirler. Sünek kolonların etki/kapasite oranlarını hesaplarken deprem etkisi altında R_a=1 alınarak hesaplanan kesit momentinin kesit artık momentine bölünmesi ile elde edilmiştir. Etki/kapasite oranlarının hesabında her iki yönde uygulanan deprem kuvvetleri dikkate alınmıştır.

Tablo 7.10: D-D Ekseni 1.Kat Kolonları İçin X ve Y Yönündeki Deprem Kuvveti Sonucunda Oluşan Hasar Durumları

	X Yönü				Y Yönü			
ELEMAN	$\frac{N}{(A_c f_{cm})}$	$\frac{V_{ex}}{b_w d f_{ctm}}$	$\mathbf{r_x}$	**Hasar Sınırı**	$\frac{N}{(A_c f_{cm})}$	$\frac{V_{ey}}{b_w d f_{ctm}}$	$\mathbf{r_y}$	**Hasar Sınırı**
S1 Alt uç	0.1872	0.0752	5.35	**GÇ**	0.1303	0.0719	5.08	**GÇ**
S1 Üst uç	0.1845	0.0752	1.87	**MN**	0.1276	0.0719	1.31	**MN**
S2 Alt uç	0.1063	0.0937	4.93	**GV**	0.1803	0.0760	4.04	**GV**
S2 Üst uç	0.1036	0.0937	2.55	**GV**	0.1776	0.0760	1.11	**MN**
S3 Alt uç	0.0938	0.0924	4.90	**GV**	0.1796	0.0762	4.05	**GV**
S3 Üst uç	0.0911	0.0924	2.49	**MN**	0.1769	0.0762	1.12	**MN**
S4 Alt uç	0.1373	0.0907	4.62	**GV**	0.1876	0.0762	3.92	**GV**
S4 Üst uç	0.1346	0.0907	2.25	**MN**	0.1849	0.0762	1.08	**MN**
S5 Alt uç	0.1373	0.0907	4.62	**GV**	0.1876	0.0762	3.92	**GV**
S5 Üst uç	0.1346	0.0907	2.25	**MN**	0.1849	0.0762	1.08	**MN**
S6 Alt uç	0.0938	0.0924	4.90	**GV**	0.1796	0.0762	4.05	**GV**
S6 Üst uç	0.0911	0.0924	2.49	**MN**	0.1769	0.0762	1.12	**MN**
S7 Alt uç	0.1063	0.0937	4.93	**GV**	0.1803	0.0760	4.04	**GV**
S7 Üst uç	0.1036	0.0937	2.55	**GV**	0.1776	0.0760	1.11	**MN**
S8 Alt uç	0.1872	0.0752	5.35	**GÇ**	0.1303	0.0719	5.08	**GÇ**
S8 Üst uç	0.1845	0.0752	1.87	**MN**	0.1276	0.0719	1.31	**MN**
S9 Alt uç	0.2252	0.0781	4.65	**GV**	0.1575	0.0945	5.20	**GÇ**
S9 Üst uç	0.2225	0.0781	1.72	**MN**	0.1548	0.0945	2.40	**MN**

Tablo 7.11: D-D Ekseni 1.Kat Kolonları İçin Tasarım Depremi Etkisi Altında Kolon Kesme Tahkiki

ELEMAN	$\mathbf{M_{ka}}$	$\mathbf{M_{kü}}$	$V_e = \frac{(M_{ka} + M_{kü})}{l_n}$	$\mathbf{V_r}$	√ ×
S1	226.14	221.94	137.87	258.85	√
S2	281.86	278.50	172.42	258.86	√
S3	280.90	277.52	171.82	258.86	√
S4	290.61	287.40	177.85	258.87	√
S5	290.61	287.40	177.85	258.87	√
S6	280.90	277.52	171.82	258.86	√
S7	281.86	278.50	172.42	258.86	√
S8	226.14	221.94	137.87	258.85	√
S9	261.59	257.90	159.84	258.86	√

Yapıdaki mevcut diğer kolonların da kesme kuvveti kapasiteleri hemen kullanım performans seviyesi için aşılmamaktadır. Tablo 7.6 da sadece D-D ekseni 1.kat kolonları için elde edilen değerler yer almaktadır.

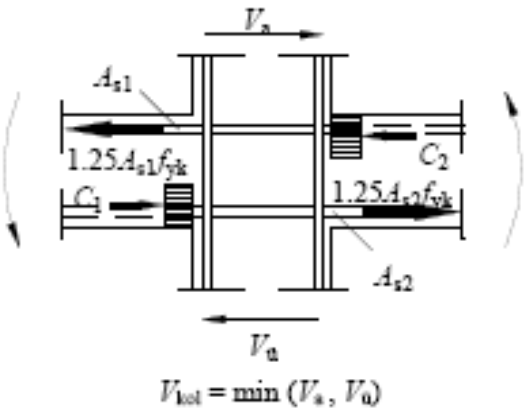
Tablo 7.12 Tasarım Depremi Etkisi Altında Kolon Birleşim Bölgesi Kesme Kontrolü

Eleman	**V_X**	**V_Y**	$V_{eX} = 1.25 f_{ym}(A_s^{'} + A_s) - V_x$	$V_r = 0.45bhf_{cm}$	√,×	V_{eY}	√,×
S1	514.08	481.61	803.10	2250	√	770.64	√
S2	646.36	499.28	1250.26	2250	√	1103.18	√
S3	637.62	499.98	1229.15	2250	√	1091.50	√
S4	622.35	500.01	1177.30	2250	√	1054.96	√
S5	622.35	500.01	1231.20	2250	√	1108.86	√
S6	637.62	499.98	1241.25	2250	√	1103.60	√
S7	646.36	499.28	1333.31	2250	√	1186.23	√
S8	514.08	481.61	885.33	2250	√	852.86	√
S9	531.06	642.36	822.01	2250	√	933.31	√

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kesme kuvveti, Denklem (7.6) ile hesaplanmıştır.

$$V_{eX} = 1.25 f_{ym}(A_s^{'} + A_s) - V_x \tag{7.6}$$

Kirişin kolona sadece bir taraftan saplandığı öbür tarafta devam etmediği durumlarda A_{s2}=0 alınmıştır. Her iki yönde tasarım depremi etkisi altında yapılan hesaplarda kolon-kiriş birleşim bölgelerinin kesme güvenliğini sağladığı görülmüştür.



Şekil 7.9: Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Kesme Güvenliği

7.5 Bulunan Performans Noktalarında Hasar Kontrolü ve Yönetmelik Karşılaştırılması

Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre doğrusal analizi yapılan hastane binasının, 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan tasarım depreminde hemen kullanım performans düzeyini sağlayacak şekilde karşılaması istenmektedir. Tasarım depremi için X ve Y

doğrultularında deprem yükü azaltma katsayısı R_a=1 alınarak analiz yapılmış ve oluşan hasar durumları Tablo 7.8 de kolon ve kirişler için verilmiştir.

Tablo 7.13: Tasarım Depremi Etkisinde X ve Y Doğrultusunda Kiriş ve Kolonların Hasar Durumları

			MN	GV	GÇ	> GÇ	Yönetmelik Sınırı (%)
X Doğrultusu	Kirişler (%)	2.Kat	92	8	0	0	10
		1.Kat	46	0	54	0	
		Zemin Kat	46	0	50	4	
	Kolonlar(%)	2.Kat	69	31	0	0	-
		1.Kat	31	69	0	0	
		Zemin Kat	44	50	6	0	
Y Doğrultusu	Kirişler (%)	2.Kat	93	7	0	0	10
		1.Kat	54	31	15	0	
		Zemin Kat	54	27	19	0	
	Kolonlar(%)	2.Kat	75	25	0	0	-
		1.Kat	50	50	0	0	
		Zemin Kat	50	38	13	0	

Tablo 7.8'den anlaşıldığı gibi X doğrultusunda zemin kat ve 1.kat'ta kirişlerin ve kolonların birçoğu minimum hasar bölgesini geçmektedir. Aynı durum Y doğrultusunda da mevcuttur.

Hemen kullanım performans düzeyinin sağlanabilmesi için hesap yapılan her bir deprem doğrultusunda kirişlerin en fazla % 10 u belirgin hasar bölgesine geçebilir ve diğer taşıyıcı sistem elemanlarının tamamının minimum hasar bölgesinde kalması gerekmektedir. İncelenen yapıda X ve Y doğrultuları için bu oran aşılmaktadır ve dolayısıyla 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan tasarım depremi etkisi altında hemen kullanım performans düzeyi sağlanmamaktadır.

Tablo 7.14: Maksimum Deprem Etkisinde X ve Y Doğrultusunda Kiriş ve Kolonların Hasar Durumları

			MN	GV	GÇ	> GÇ	Yönetmelik Sınırı (%)
X Doğrultusu	Kirişler (%)	2.Kat	46	53	1	0	30
		1.Kat	46	0	11	43	
		Zemin Kat	46	0	4	50	
	Kolonlar(%)	2.Kat	25	75	0	0	Bir Kısım
		1.Kat	11	75	14	0	
		Zemin Kat	0	50	31	19	
Y Doğrultusu	Kirişler (%)	2.Kat	54	46	0	0	30
		1.Kat	54	23	8	15	
		Zemin Kat	54	0	27	19	
	Kolonlar(%)	2.Kat	69	31	0	0	Bir Kısım
		1.Kat	25	69	6	0	
		Zemin Kat	25	25	38	13	

Tablo 7.9'den anlaşıldığı gibi X doğrultusunda zemin kat ve 1.katta kirişlerin ve kolonların birçoğu minimum hasar bölgesini geçmektedir. Aynı durum Y doğrultusunda da mevcuttur. Hatta zemin kat ve 1.katta elemanların bazıları göçme bölgesini dahi geçmektedir. Yani ağır hasarlar meydana gelmektedir.

Can güvenliği performans düzeyinin sağlanabilmesi için hesap yapılan her bir deprem doğrultusunda kirişlerin en fazla % 30 u belirgin hasar bölgesine geçebilir. İleri hasar bölgesindeki kolonların ise kattaki bütün kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı % 20'nin altında olmalıdır. En üst kattaki ileri hasar bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla % 40 olmalıdır.

Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi veye belirgin hasar bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranı % 30'u aşmamaması gerekir.

Dolayısıyla 50 yılda aşılma olasılığı % 2 maksimum deprem etkisi altında can güvenliği performans düzeyi de sağlanmamaktadır.

Her iki performans durumu için yapılan kolon, kiriş kesme kuvveti ve birleşim bölgeleri tahkikleri ayrı ayrı yapılmış ve her iki durum için de sağladığı görülmüştür.

Yukarıda ise sadece hemen kullanım performans düzeyi için 1. Kat D-D ekseninde bulunan elemanlara ait tahkikler verilmiştir.

İncelenen yapıda hemen kullanım ve can güvenliği performans düzeyleri için göreli kat ötelemeleri kontrollerinin sağlandığı görülmüştür Tablo 7.15-7.16.

Tablo 7.15: X Doğrultusunda Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

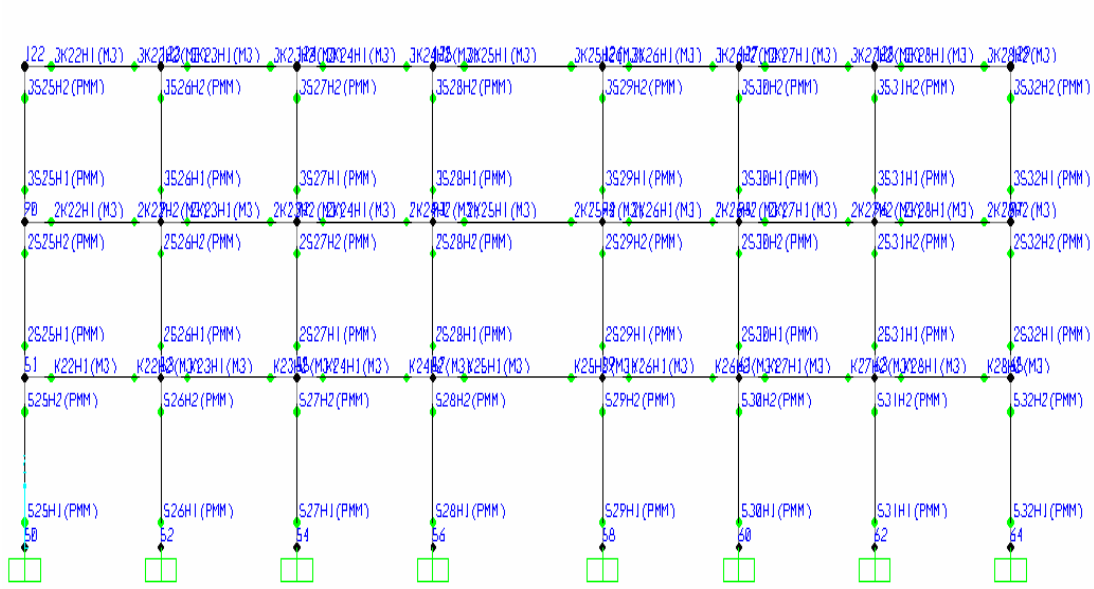
	Tasarım Depremi Hemen Kullanım		Maksimum Deprem Can Güvenliği	
X Doğrultusu	δ_{ji}/h_{ji}	Yönetmelik Sınırı	δ_{ji}/h_{ji}	Yönetmelik Sınırı
2.Kat	0.012	0.03	0.017	0.04
1.Kat	0.018	0.03	0.027	0.04
Zemin Kat	0.015	0.03	0.023	0.04

Tablo 7.16: Y Doğrultusunda Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

	Tasarım Depremi Hemen Kullanım		Maksimum Deprem Can Güvenliği	
Y Doğrultusu	δ_{ji}/h_{ji}	Yönetmelik Sınırı	δ_{ji}/h_{ji}	Yönetmelik Sınırı
2.Kat	0.014	0.03	0.020	0.04
1.Kat	0.020	0.03	0.031	0.04
Zemin Kat	0.016	0.03	0.025	0.04

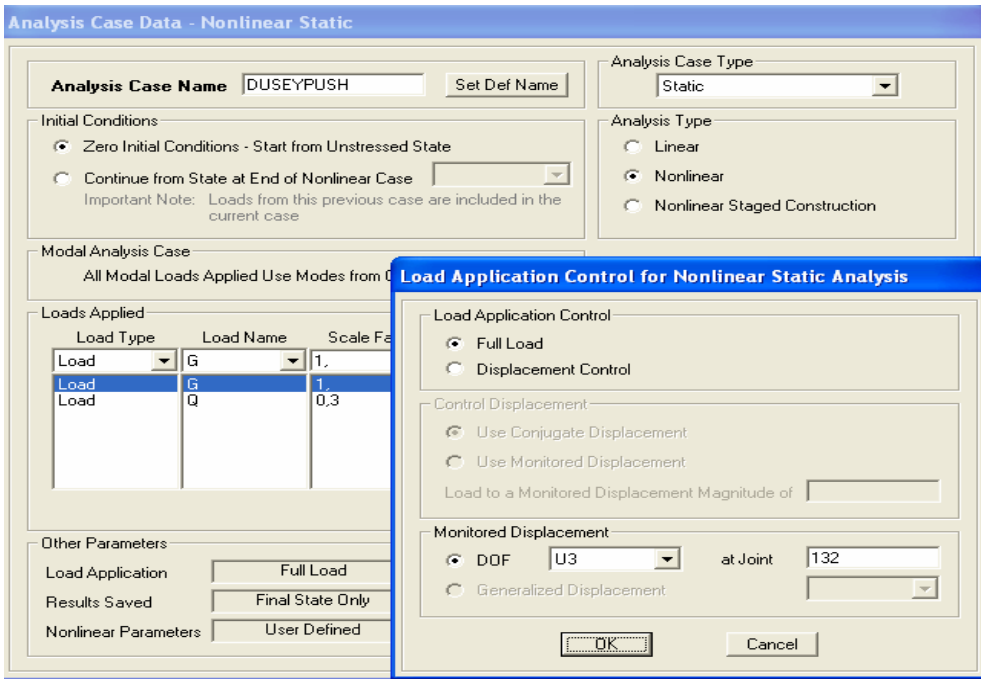
8.DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLE PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölüm de bölüm 7 de hesap modelinin oluşturulduğu aynı yapı kullanılarak, yapının doğrusal olmayan analizi ve performans değerlendirilmesi yapılacaktır. Fakat farklı olarak eşdeğer deprem yükleri yapıdan kaldırılacak onun yerine statik itme verileri tanımlanacaktır. Statik itme verilerinin tanımlanması için de kolon ve kiriş elemanlarına plastik mafsallar atanmıştır. Yapıdaki kolonlar için hem eğilme hem de normal kuvvet etkilerini dikkate alan PMM, kirişler için sadece eğilmeyi dikkate alan M3 mafsalları çubuk elemanların 0 ve 1 rölatif uçlarına tanımlanır (Şekil 8.1).



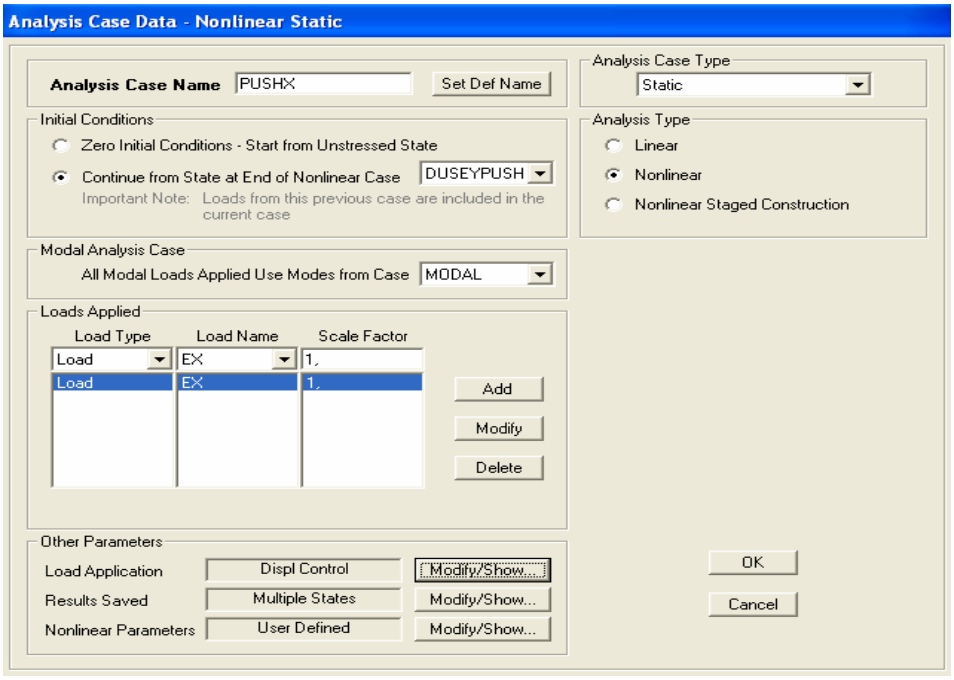
Şekil 8.1: D-D Ekseni Kolon ve Kiriş Elemanlarına Atanan Plastik Mafsallar

Statik itme analizi iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır. Bu aşama bina üzerine yüklerin girilmesi ve bu yüklerin oluşturacağı deplasman değerlerinin elde edilmesi ile son bulacaktır. Düşey yük kuvvet çarpanları girilerek tanımlama gerçekleştirilir ve ikinci adıma geçilir (Şekil 8.2).



Şekil 8.2: Kütlelerle Uyumlu Düşey Yüklerin Tanımlanması

İkinci aşama yanal ötelemenin yapılacağı aşamadır ve depremden dolayı oluşan yatay kuvvetler için oluşmaktadır. İkinci aşamada yapıya, program tarafından kütle merkezlerine yatay kuvvet uygulanmaktadır. Yatay yükler programa hangi oranda arttırılacağını tanımlayarak yapılır.



Şekil 8.3: X Yönü Statik İtme Yüklerinin Tanımlanması

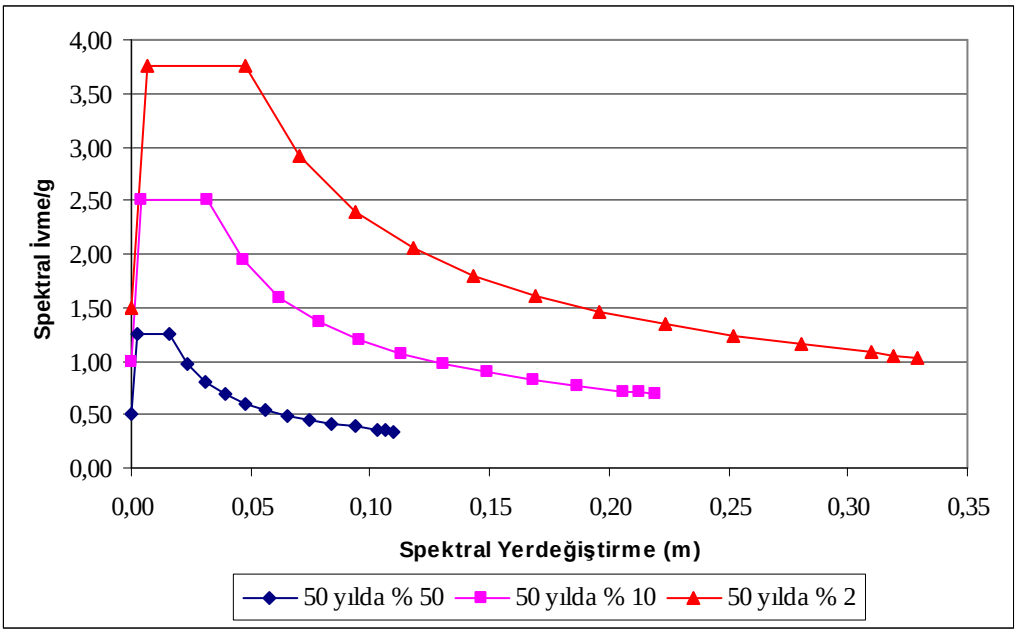
Eşdeğer deprem yükü dağılımı, her katta deprem doğrultusundaki hakim doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Eşdeğer deprem yükündeki kuvvetler, sadece göz önüne alınan deprem doğrultusundaki kuvvetlerden oluşur. Daha sonra programa ulaşabileceği maksimum yerdeğiştirme tanımlanır. Bu değer yaklaşık olarak bina yüksekliğinin % 4 'ü olarak alınmaktadır.

Uygulanan yatay yükler sonucunda yapı şekil değiştirme yapmakta ve plastik mafsallar oluşmaya başlamaktadır. Bu işlem yapı yük taşıyamaz hale gelene kadar, belirlenen maksimum şekil değiştirmeye ulaşana kadar veya yapıdaki herhangi bir eleman göçme durumuna gelinceye kadar devam etmektedir. Yapılan analiz sonucunda, her bir ötelenme adımı için binanın karşıladığı taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktası yer değiştirmesi değerleri program tarafından kaydedilir. Analizin sona erdiği noktadaki yatay kuvvet binanın dayanabildiği maksimum taban kesme kuvvetine ve oluşabilecek maksimum yer değiştirmeye karşılık gelmektedir.

Performans değerlendirmesi 50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan tasarım depremi, 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan tasarım depremi ve 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan maksimum deprem etki seviyeleri için yapılabilmektedir. DBYBHY 2007 de 2.4 de tanımlanan elastik ivme spektrumu, tasarım depremini esas almaktadır. Bu spektrum üzerinde yapılan değişikliklerle tanımlanan diğer spektrum eğrileri Şekil 8.4 de gösterilmiştir.

İncelenen yapı hastane binası olması nedeniyle performans değerlendirmesi yapılırken 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan tasarım depreminde hemen kullanım performans seviyesini, 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan maksimum depremde de can güvenliği performans seviyesini sağlaması istenmektedir.

Öncelikle yapının tasarım depremindeki performans seviyesi için yapılan hesaplar ayrıntılı bir şekilde gösterilmiş, maksimum deprem etkisi için de elde edilen performans değerleri karşılaştırmalı şekilde verilmiştir.

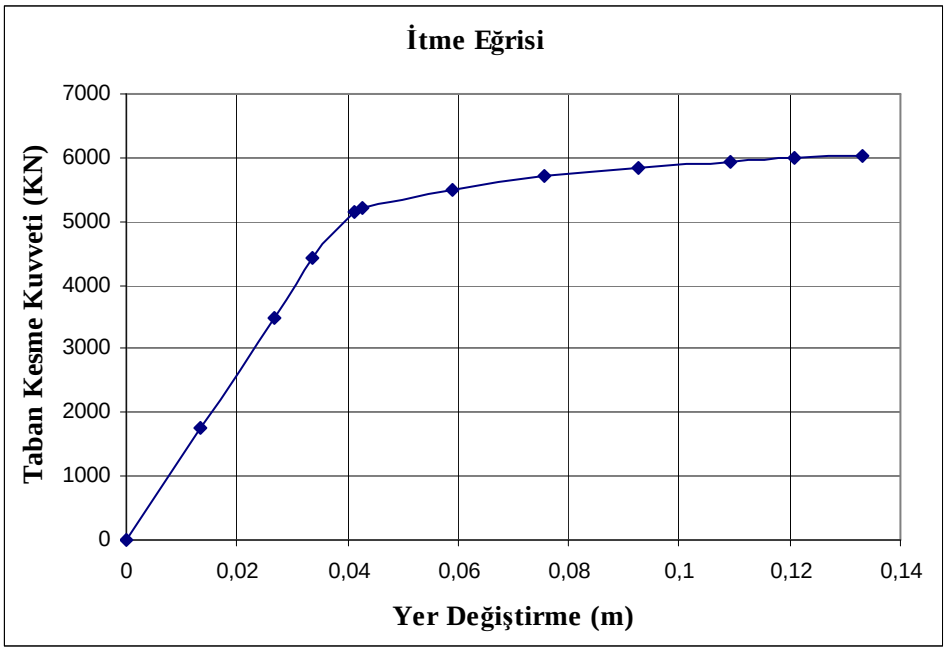


Şekil 8.4: Farklı Deprem Etkileri İçin İvme Spektrumu

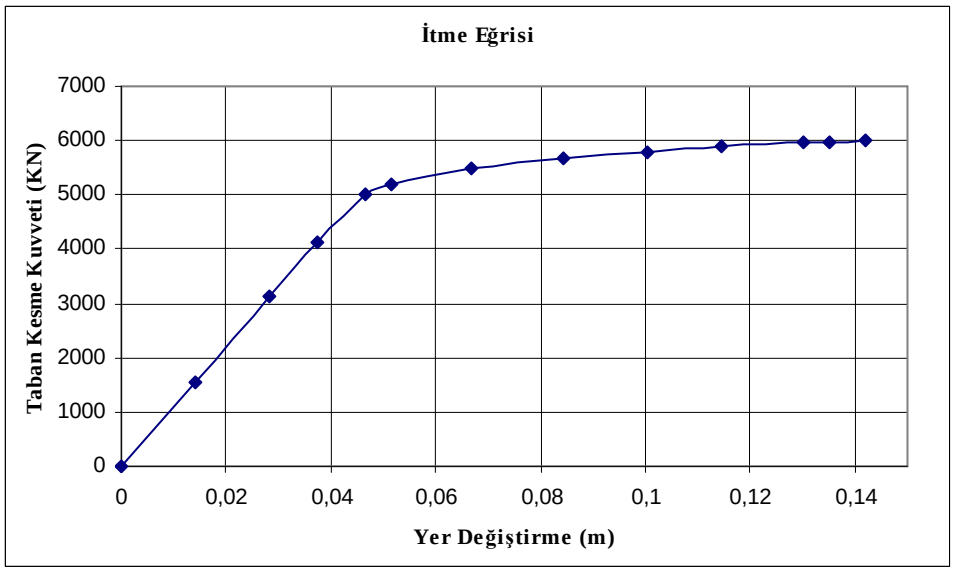
Sistem ilk önce sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında belirli bir değere kadar lineer olmayan statik itme analizi yapılarak eksenleri taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi olan statik itme eğrisi elde edilmiştir.

Tablo 8.1: X ve Y Doğrultularındaki Tepe Yer Değiştirmesi-Taban Kesme Kuvveti Değerleri

X Yönü			**Y Yönü**		
İtme Adımı	**u_n (m)**	**V_b (kN)**	**İtme Adımı**	**u_n (m)**	**V_b (kN)**
0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
1	0.013	1749.462	1	0.014	1563.166
2	0.027	3498.924	2	0.028	3126.333
3	0.034	4422.262	3	0.037	4110.943
4	0.041	5133.795	4	0.046	5002.897
5	0.043	5209.563	5	0.051	5178.895
6	0.059	5507.705	6	0.067	5480.866
7	0.076	5705.974	7	0.084	5676.975
8	0.093	5845.100	8	0.100	5802.250
9	0.109	5944.251	9	0.115	5880.469
10	0.121	5991.730	10	0.130	5964.034
11	0.133	6019.660	11	0.135	5983.433
			12	0.142	5997.710



Şekil 8.5: X Doğrultusundaki Statik İtme Eğrisi



Şekil 8.6: Y doğrultusundaki Statik İtme Eğrisi

Bundan sonraki aşamada statik itme eğrisine koordinat dönüşümü uygulanarak modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerleri Denklem 4.1 ve 4.2 ile hesaplanmıştır (Tablo 8.2). Bu tablo yardımı ile çizilen modal kapasite diyagramı tasarım depremi ile üst üste çizilip performans noktası belirlenmiştir (Şekil 8.6).

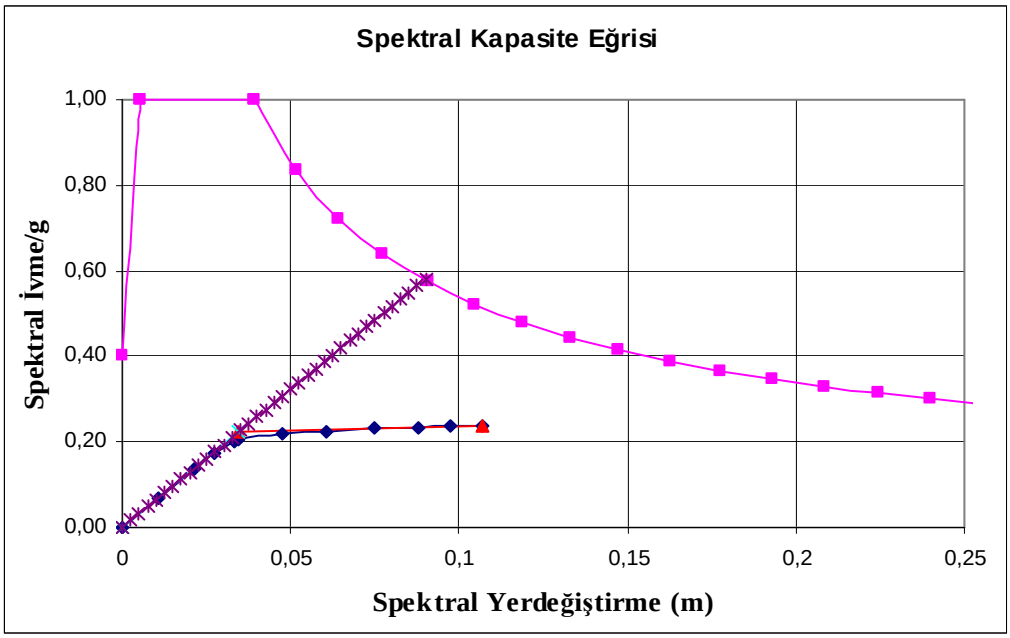
Tablo 8.2: X ve Y Yönündeki Modal İvme ve Modal Yerdeğiştirme Değerleri

X Yönü			**Y Yönü**		
	S_a/g	**d (m)**		**S_a/g**	**d (m)**
	0.000	0		0.000	0
Σ Kütle	0.069	0.011	**Σ Kütle**	0.063	0.011
2927.6	0.138	0.021	2927.6	0.125	0.023
M_{x1}	0.175	0.027	**M_{x1}**	0.165	0.030
2578.3	0.203	0.033	2547.1	0.200	0.037
Kütle K.O	0.206	0.034	**Kütle K.O**	0.207	0.041
0.881	0.218	0.047	0.870	0.219	0.053
Γ	0.226	0.061	**Γ**	0.227	0.067
41.58	0.231	0.075	41.58	0.232	0.080
Φ	0.235	0.088	**Φ**	0.235	0.091
0.0299	0.237	0.097	0.0303	0.239	0.103
	0.238	0.107		0.239	0.107
				0.240	0.113

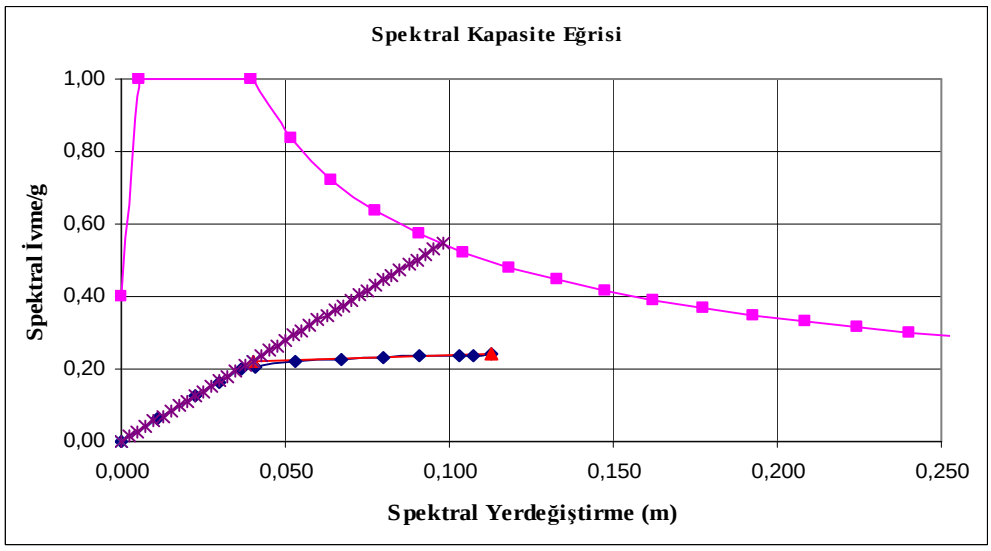
Bulunan modal yerdeğiştirme ve modal yerdeğiştirme ile koordinatları spektral ivme (S_a) ve spektral yerdeğiştirme (S_d) olan modal kapasite diyagramı üst üste çakıştırılmıştır. Altındaki alanlar yaklaşık olarak birbirine eşit olacak şekilde iki doğrulu olarak idealleştirilen modal kapasite diyagramının başlangıç doğrusu uzatılarak doğrunun talep spektrumunu kesmesi sağlanmıştır. Bu doğrunun ivme spektrumunu kestiği noktanın x ekseni üzerindeki izdüşümü alınarak modal yerdeğiştirme istemi belirlenmiştir (Şekil 8.6-8.7)

Son itme adımı i=p için Denklem 4.4 e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$ nin Denklem 4.10 da yerine konularak, X ve Y deprem doğrulularındaki tepe yerdeğiştirme istemleri ($u_{xN1}^{(p)}$) elde edilmiştir.

Buradan elde edilen tepe yer değiştirmesi SAP2000 programında tanımlanıp tekrar analiz yapılarak yerdeğiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvet istemleri elde edilmiştir. Bu işlemler ilk önce hedeflenen performans düzeyi için yapılmış ve aşağıda tablolar halinde sonuçlar verilmiştir. Daha sonra can güvenliği performans seviyesi için işlemler tekrarlanıp iki durumun karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 8.7: Tasarım Depremi İçin X Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi



Şekil 8.8: Tasarım Depremi İçin Y Doğrultusunda Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi

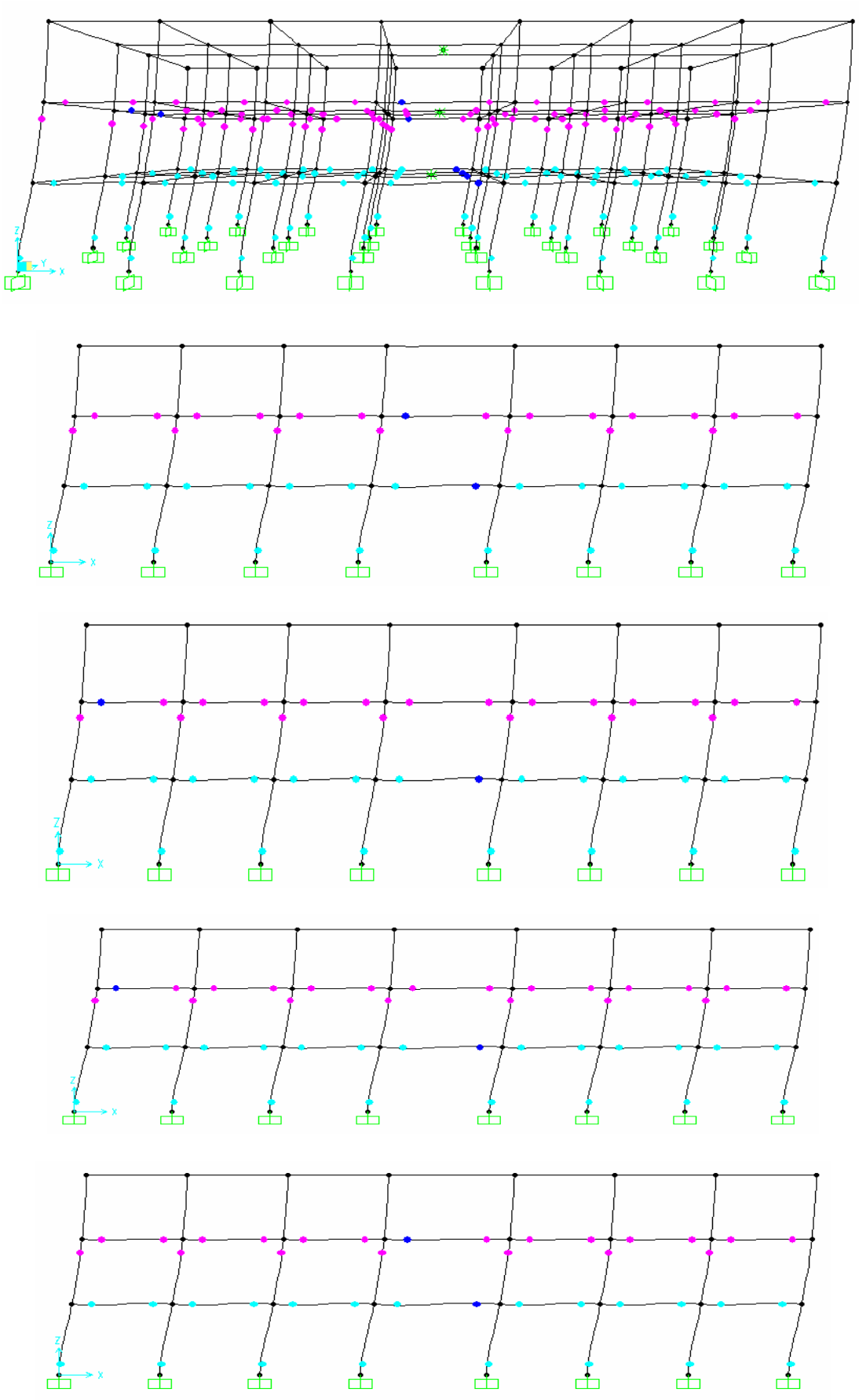
Tablo 8.3: Performans İstem Durumlarında Tepe Yerdeğiştirmesi İstemleri

Deprem Etki Seviyeleri	Deprem Doğrultusu	
	X (m)	Y (m)
Tasarım Depremi Hemen Kullanım	0.1112	0.1225
Maksimum Deprem Can Güvenliği	0.1668	0.1837

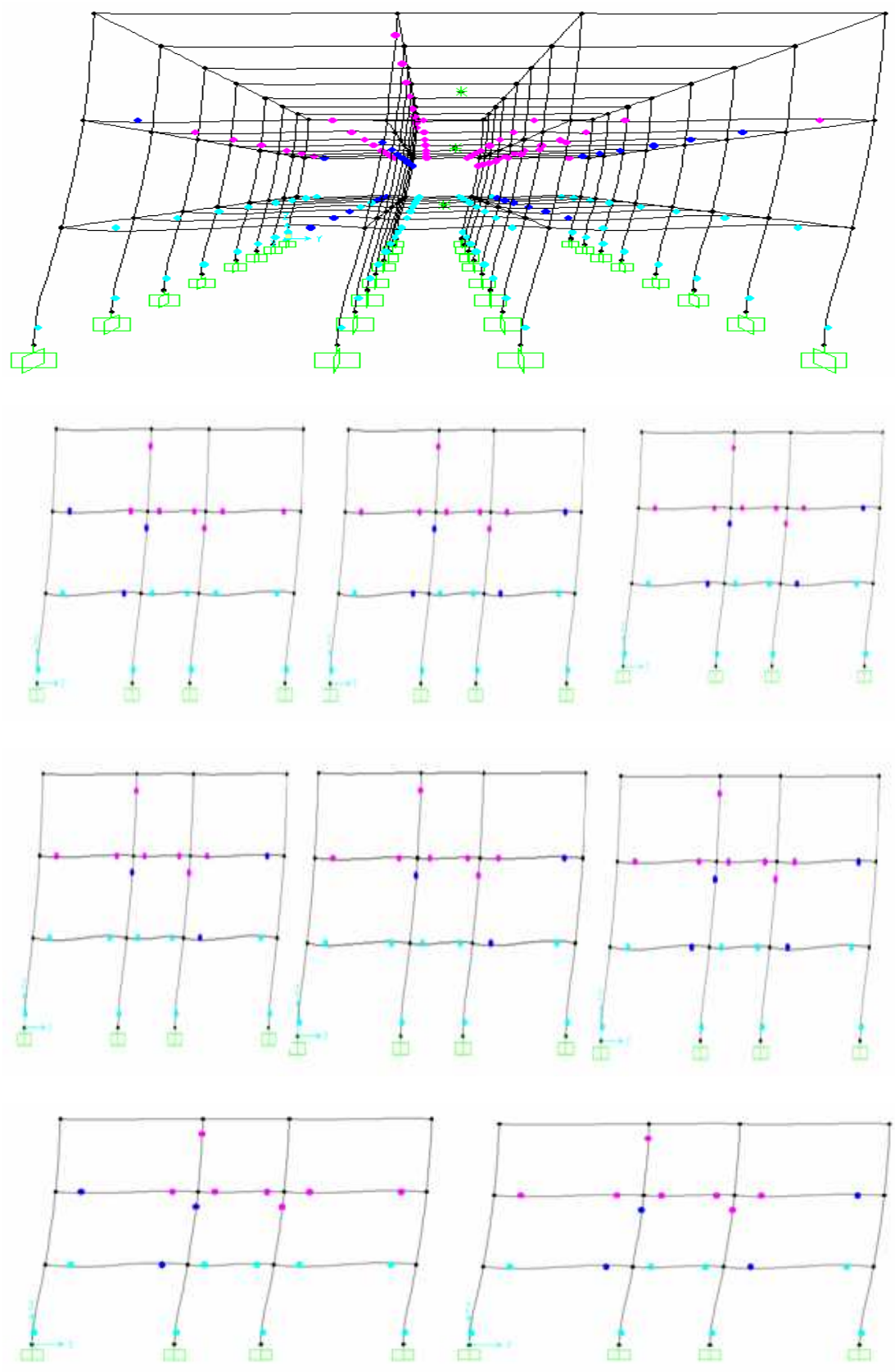
Tablo 8.4: Hemen Kullanım Performans Durumunda Her İki Yönde Oluşan Plastik Mafsal Sayıları

X Doğrultusu								
			Kat 1		Kat 2		Kat 3	
Adım	Yerdeğiştirme	Oluşan Mafsal Sayısı	Kiriş	Kolon	Kiriş	Kolon	Kiriş	Kolon
1	0.000	-	-	-	-	-	-	-
2	0.013	-	-	-	-	-	-	-
3	0.027	2	2	-	-	-	-	-
4	0.034	8	8	-	-	-	-	-
5	0.041	60	36	24	-	-	-	-
6	0.043	77	47	30	-	-	-	-
7	0.059	112	56	32	24	-	-	-
8	0.076	130	56	32	42	-	-	-
9	0.093	152	56	32	56	8	-	-
10	0.109	164	56	32	56	20	-	-
11	0.121	172	56	32	56	28	-	-
12	0.133	172	56	32	56	28	-	-
X Doğrultusu								
			Kat 1		Kat 2		Kat 3	
Adım	Yerdeğiştirme	Oluşan Mafsal Sayısı	Kiriş	Kolon	Kiriş	Kolon	Kiriş	Kolon
1	0.014	-	-	-	-	-	-	-
2	0.028	-	-	-	-	-	-	-
3	0.037	-	-	-	-	-	-	-
4	0.046	2	-	2	-	-	-	-
5	0.051	48	22	26	-	-	-	-
6	0.067	72	40	32	-	-	-	-
7	0.084	98	48	32	12	6	-	-
8	0.100	128	48	32	38	10	-	-
9	0.115	138	48	32	42	16	-	-
10	0.130	144	48	32	48	16	-	-
11	0.135	152	48	32	48	16	-	8
12	0.142	152	48	32	48	16	-	8

İncelenen yapı sisteminde her bir katta toplam 52 adet kiriş ve 32 adet kolon bulunmaktadır. Tablo 8.4 de elde edilen plastik mafsal sayıları elemanların her iki ucuna aittir.



Şekil 8.9: X Yönü Statik İtme Sonucunda Oluşan Plastik Mafsallar



Şekil 8.10: Y Yönü Statik İtme Sonucunda Oluşan Plastik Mafsallar

8.1 Bulunan Performans Noktalarında Hasar Kontrolü Ve Yönetmelik Karşılaştırılması

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemine göre doğrusal olmayan analizi yapılan hastane binasının, 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan tasarım depreminde hemen kullanım performans düzeyini sağlayacak şekilde karşılaması istenmektedir. Tasarım depremi için X ve Y doğrultularında analiz yapılmış ve oluşan hasar durumları Tablo 8 de kolon ve kirişler için verilmiştir.

Tablo 8.5: Tasarım Depremi Etkisinde X ve Y Doğrultusunda Kiriş ve Kolonların Hasar Durumları

			MN	GV	GÇ	Yönetmelik Sınırı (%)
X Doğrultusu		2.Kat	100	0	0	10
	Kirişler (%)	1.Kat	96	4	0	
		Zemin Kat	68	32	0	
		2.Kat	100	0	0	-
	Kolonlar(%)	1.Kat	100	0	0	
		Zemin Kat	50	50	0	
Y Doğrultusu		2.Kat	100	0	0	10
	Kirişler (%)	1.Kat	100	0	0	
		Zemin Kat	62	35	4	
		2.Kat	100	0	0	-
	Kolonlar(%)	1.Kat	100	0	0	
		Zemin Kat	48	52	0	

Tablo 9.1'den anlaşıldığı gibi X doğrultusunda zemin kat'ta kirişlerin % 32 si ve kolonların % 50 si minimum hasar bölgesini geçmektedir. Benzer durum Y doğrultusunda da mevcuttur.

Hemen kullanım performans düzeyinin sağlanabilmesi için hesap yapılan her bir deprem doğrultusunda kirişlerin en fazla % 10 u belirgin hasar bölgesine geçebilir ve diğer taşıyıcı sistem elemanlarının tamamının minimum hasar bölgesinde kalması gerekmektedir. İncelenen yapıda X ve Y doğrultuları için bu oran aşılmaktadır ve dolayısıyla 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan tasarım depremi etkisi altında hemen kullanım performans düzeyi sağlanmamaktadır.

Tablo 8.6: D-D Ekseni 2.Kat Tasarım Depremi Etkisinde Kiriş Kesme Tahkiki

ELEMAN	**V** **(G+Q)**	$\mathbf{M_r}^-$	$\mathbf{M_r}^+$	$V_e = V_{dy} + \frac{(M_{Ki} + M_{Kj})}{l_n}$	$V_r = 0.8V_{cr} + V_w$	√ ×
2K1 Sol uç	-35.18	101.12	136.50	98.54	182	√
2K1 Sağ uç	33.99	89.09	127.97	91.87	182	√
2K2 Sol uç	-34.38	82.22	120.69	88.49	182	√
2K2 Sağ uç	34.78	83.06	122.03	89.47	182	√
2K3 Sol uç	-33.98	84.27	122.65	89.16	182	√
2K3 Sağ uç	35.18	83.89	127.88	91.66	182	√
2K4 Sol uç	-52.04	65.96	127.00	92.66	182	√
2K4 Sağ uç	52.04	65.96	127.62	92.79	182	√
2K5 Sol uç	-35.18	84.27	122.65	90.36	182	√
2K5 Sağ uç	33.98	83.89	127.88	90.46	182	√
2K6 Sol uç	-34.78	82.22	120.69	88.89	182	√
2K6 Sağ uç	34.38	83.06	122.03	89.07	182	√
2K7 Sol uç	-33.99	101.12	136.50	97.35	182	√
2K7 Sağ uç	35.18	89.09	127.97	93.06	182	√

Her kat için en büyük kesme kuvvetine maruz kirişlerde sargılı durum için kontroller yapılmış ve kirişlerin birçoğunun kesme kuvveti kapasitelerinin aşılmadığı görülmüştür. Sadece birkaç elemanda bu değer aşılmış fakat bunlar da kabul edilebilir seviyelerdedir.

Tablo 8.7: D-D Ekseni 2.Kat Kolonları İçin Tasarım Depremi Etkisi Altında Kolon Kesme Tahkiki

ELEMAN	$\mathbf{M_{ka}}$	$\mathbf{M_{kü}}$	$V_e = \frac{(M_{ka} + M_{kü})}{l_n}$	$\mathbf{V_r}$	√ ×
2S1	197.56	193.77	132.65	258.84	√
2S2	239.60	236.27	161.31	258.85	√
2S3	238.93	235.59	160.86	258.85	√
2S4	246.71	243.46	166.16	258.85	√
2S5	246.71	243.46	166.16	258.85	√
2S6	238.93	235.59	160.86	258.85	√
2S7	239.60	236.27	161.31	258.85	√
2S8	197.56	193.77	132.65	258.84	√
2S9	223.98	220.47	150.66	258.85	√

Tablo 8.8: D-D Ekseni 2.Kat Tasarım Depremi Etkisi Altında Kolon Birleşim Bölgesi Kesme Kontrolü

Eleman	$\mathbf{V_X}$	$\mathbf{V_Y}$	$V_{eX} = 1.25 f_{ym}(A_s^{'} + A_s) - V_x$	$V_r = 0.45bhf_{cm}$	√,×	V_{eY}	√,×
2S1	317.53	294.31	606.55	2250	√	583.33	√
2S2	560.89	327.51	1164.79	2250	√	931.41	√
2S3	548.70	328.53	1140.23	2250	√	920.05	√
2S4	518.79	328.56	1073.74	2250	√	883.51	√
2S5	518.79	328.56	1127.64	2250	√	937.41	√
2S6	548.70	328.53	1152.33	2250	√	932.15	√
2S7	560.89	327.51	1247.84	2250	√	1014.46	√
2S8	317.53	294.31	688.78	2250	√	665.55	√
2S9	349.01	594.37	639.96	2250	√	885.32	√

Tablo 8.9: Maksimum Deprem Etkisinde X ve Y Doğrultusunda Kiriş ve Kolonların Hasar Durumları

			MN	**GV**	**GÇ**	**> GÇ**	**Yönetmelik Sınırı (%)**
X Doğrultusu	Kirişler (%)	2.Kat	100	0	0	0	30
		1.Kat	88	12	0	0	
		Zemin Kat	51	18	25	6	
	Kolonlar(%)	2.Kat	100	0	0	0	Bir Kısım
		1.Kat	59	41	0	0	
		Zemin Kat	50	44	6	0	
Y Doğrultusu	Kirişler (%)	2.Kat	100	0	0	0	30
		1.Kat	81	19	0	0	
		Zemin Kat	52	18	0	30	
	Kolonlar(%)	2.Kat	100	0	0	0	Bir Kısım
		1.Kat	75	25	0	0	
		Zemin Kat	50	3	47	0	

Tablo 9.5'den anlaşıldığı gibi X doğrultusunda zemin kat ve 1.kat'ta kolonların birçoğu minimum hasar bölgesini geçmektedir. Aynı durum Y doğrultusunda da mevcuttur. Hatta zemin katta her iki doğrultuda da kirişlerin bazıları göçme bölgesini dahi geçmektedir. Yani ağır hasarlar meydana gelmektedir.

Can güvenliği performans düzeyinin sağlanabilmesi için hesap yapılan her bir deprem doğrultusunda kirişlerin en fazla % 30 u belirgin hasar bölgesine geçebilir. İleri hasar bölgesindeki kolonların ise kattaki bütün kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı % 20'nin altında olmalıdır. En üst kattaki ileri hasar

bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla % 40 olmalıdır.

Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi ve belirgin hasar bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranı % 30'u aşmamamsı gerekir.

Dolayısıyla 50 yılda aşılma olasılığı % 2 maksimum deprem etkisi altında can güvenliği performans düzeyi de sağlanmamaktadır.

Her iki performans durumu için yapılan kolon, kiriş kesme kuvveti ve birleşim bölgeleri tahkikleri ayrı ayrı yapılmış ve her iki durum için de sağladığı görülmüştür. Yukarıdaki tahkik tablolarında ise sadece hemen kullanım performans düzeyi için 2. Kat D-D ekseninde bulunan elemanlara ait tahkikler verilmiştir.

İncelenen yapıda hemen kullanım ve can güvenliği performans düzeyleri için göreli kat ötelemeleri kontrollerinin sağlandığı görülmüştür Tablo 8.10-8.11.

Tablo 8.10: X Doğrultusunda Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

	Tasarım Depremi Hemen Kullanım		Maksimum Deprem Can Güvenliği	
X Doğrultusu	δ_{ji}/h_{ji}	Yönetmelik Sınırı	δ_{ji}/h_{ji}	Yönetmelik Sınırı
2.Kat	0.006	0.03	0.021	0.04
1.Kat	0.013	0.03	0.012	0.04
Zemin Kat	0.015	0.03	0.016	0.04

Tablo 8.11: Y Doğrultusunda Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

	Tasarım Depremi Hemen Kullanım		Maksimum Deprem Can Güvenliği	
Y Doğrultusu	δ_{ji}/h_{ji}	Yönetmelik Sınırı	δ_{ji}/h_{ji}	Yönetmelik Sınırı
2.Kat	0.007	0.03	0.026	0.04
1.Kat	0.014	0.03	0.014	0.04
Zemin Kat	0.016	0.03	0.019	0.04

SONUÇLAR

Yapılan tez çalışmasında, mevcut bir yapının deprem güvenliğinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle performansının değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. 2007 Deprem Yönetmeliği esas alınmış ve bu yöntemlerle elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Doğrusal hesap yöntemi ile deprem performansının belirlenmesi kuvvet esaslı olup betonarme yapı elemanları için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan hesap yöntemi ile deprem performansı belirlenmesi ise şekildeğiştirme esaslı olup malzemelerin birim boy değişimleri dikkate alınmaktadır.

Ayrıca yönetmeliklerde verilen yöntemler oldukça ayrıntı olup, belirsizlikleri hemen hemen hiç olmayan düzgün taşıyıcı sisteme sahip binalar için uygundur. Çok sayıda ve kısa zamanda uygulanması zordur.

Yapılan uygulamalarda yapının türü sebebiyle tasarım depremi altında hemen kullanım ve en büyük deprem altında can güvenliği performans seviyeleri doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sayısal sonuçlarını inceleyerek varılan bazı sonuçlar aşağıda sıralanmıştır :

a) Doğrusal analiz yönteminde hemen kullanım performans seviyesi için yapının zemin kattaki kirişlerinde belirgin ve ileri hasar bölgesinde elemanlar bulunmaktadır. Özellikle en belirgin hasarlar zemin kattaki kirişler ve kolonlarda oluşmaktadır. Diğer katlardaki hasarlar minimum hasar bölgesi dolaylarında kalmaktadır.

b) Can güvenliği performans seviyesi için ise zemin kat ve birinci normal kattaki kirişlerde göçme bölgesine geçen elemanlar mevcut ve üst katlarda da ağır hasarlar meydana gelmektedir.

c) Doğrusal olmayan analiz yönteminde hemen kullanım performans seviyesinde çok az oranda zemin kat kirişlerinde belirgin hasar oluşmaktadır.

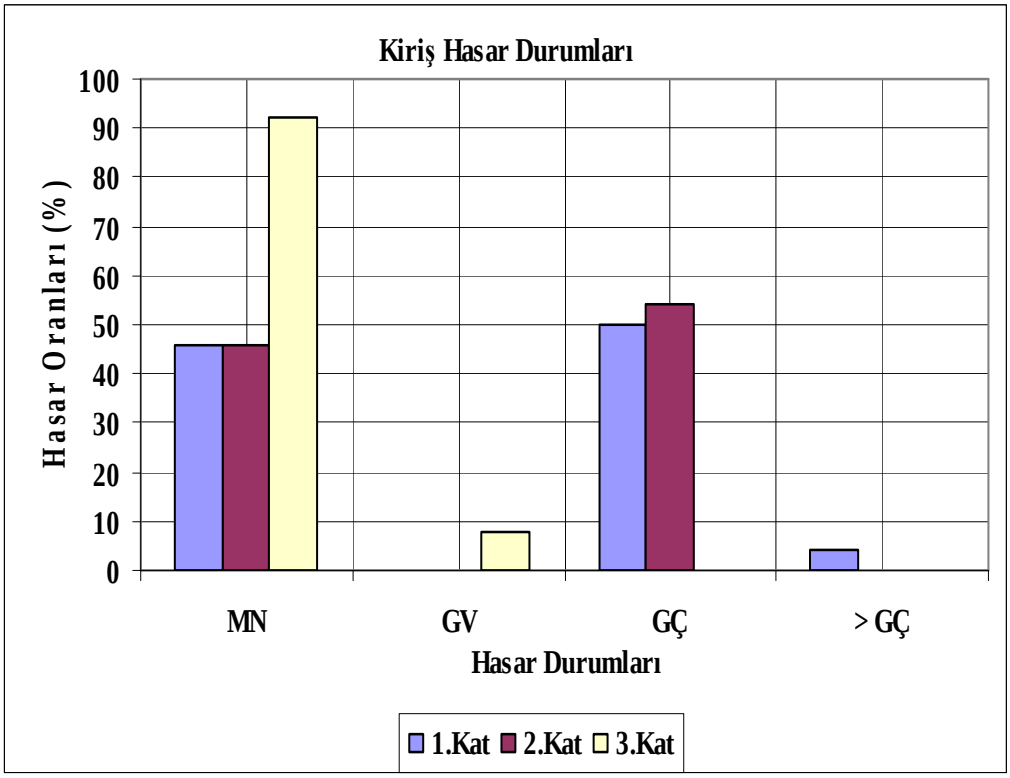
d) Can güvenliği performans seviyesi için ise zemin katlarda ileri hasar ve göçme bölgesine geçen elemanlar bulunmaktadır. Diğer birinci ve ikinci katlardaki elemanların büyük kısmı minimum hasar bölgesinde kalmaktadır. Birinci katlarda ise bazı doğrultularda belirgin hasar oluşmaktadır.

e) Doğrusal olmayan hesap yöntemiyle belirlenen kesit hasar bölgeleri uygulanan bu örnek için genelde daha elverişli sonuçlar verdiği görülmüştür.

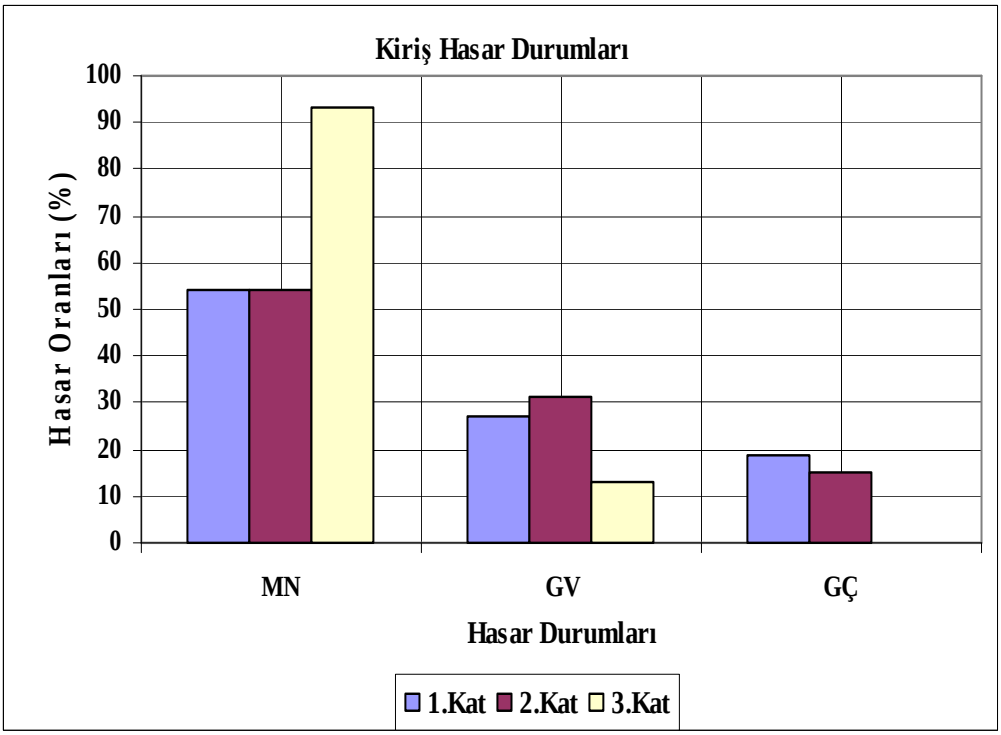
f) İncelenen yapıda doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda elemanlarda oluşan hasar durumları her iki doğrultu için ayrı ayrı yüzde olarak Ek A da karşılaştırılması yapılmıştır.

İncelenen yapıda kesit ve geometri özellikleri alt katlardan başlayarak üst katlara kadar değişmemiştir. Alt katlara etkiyen kuvvetlerin daha fazla olması nedeniyle buralarda oluşabilecek hasarların diğer katlara oranla fazla olması beklenmektedir. Üst katlara doğru etkiyen kuvvetler azalması nedeniyle oluşabilecek hasar durumlarının da daha az olması beklenmektedir. Sonuçlardan görüldüğü üzere yapıdan beklenildiği gibi alt katlarda hasar oranları daha fazla, üst katlara doğru gidildikçe bu hasar oranları gittikçe azalmaktadır.

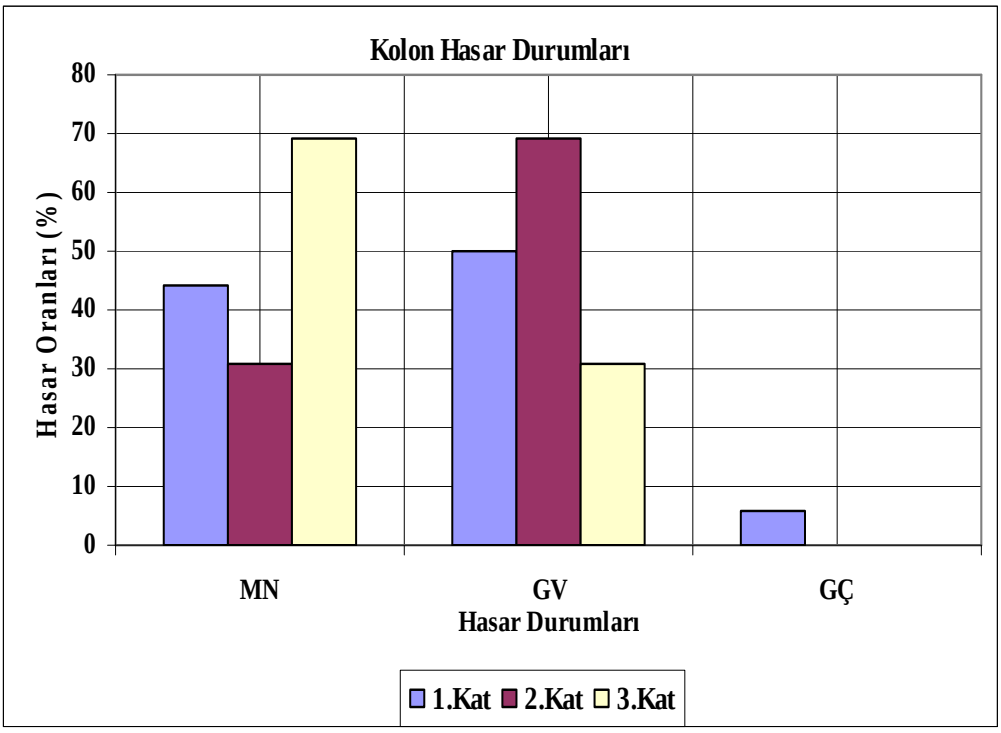
EK A.



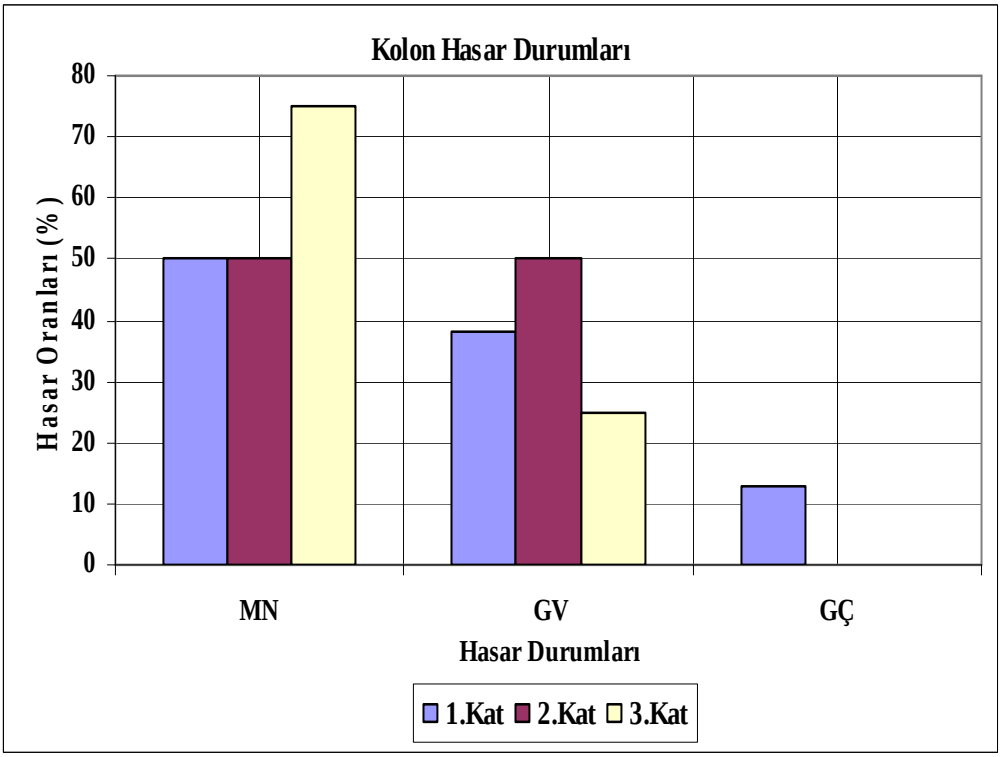
Şekil A.1: Hemen Kullanım Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Analiz Kiriş Hasar Oranları



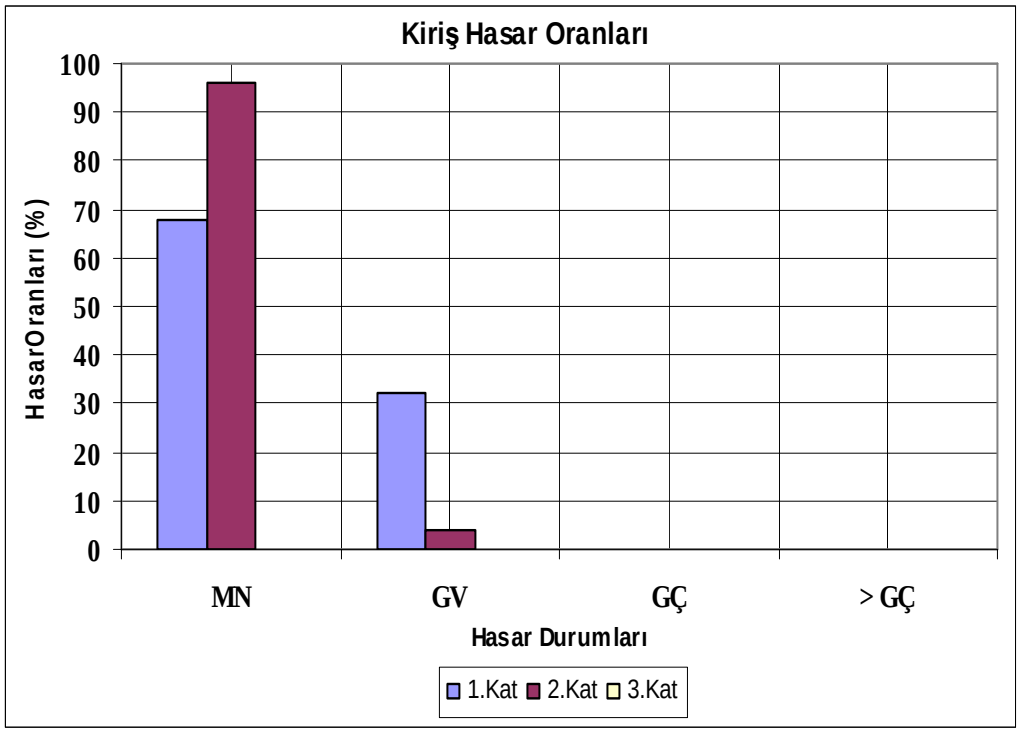
Şekil A.2: Hemen Kullanım Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Analiz Kiriş Hasar Oranları



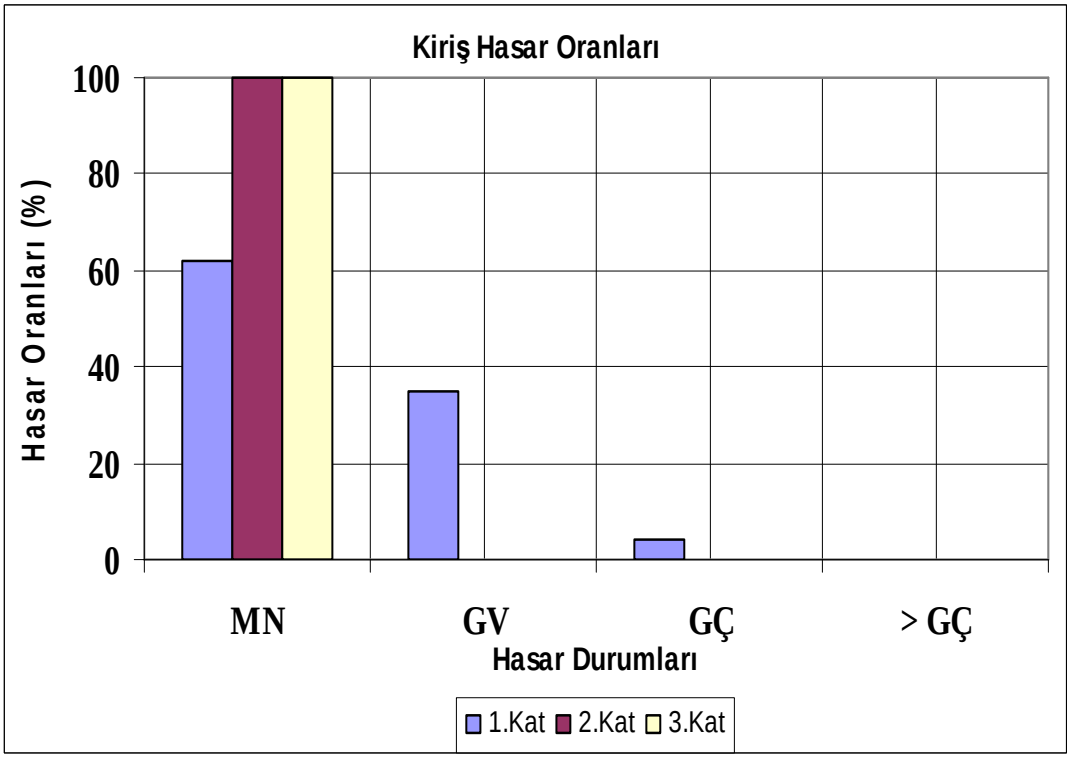
Şekil A.3: Hemen Kullanım Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Analiz Kolon Hasar Oranları



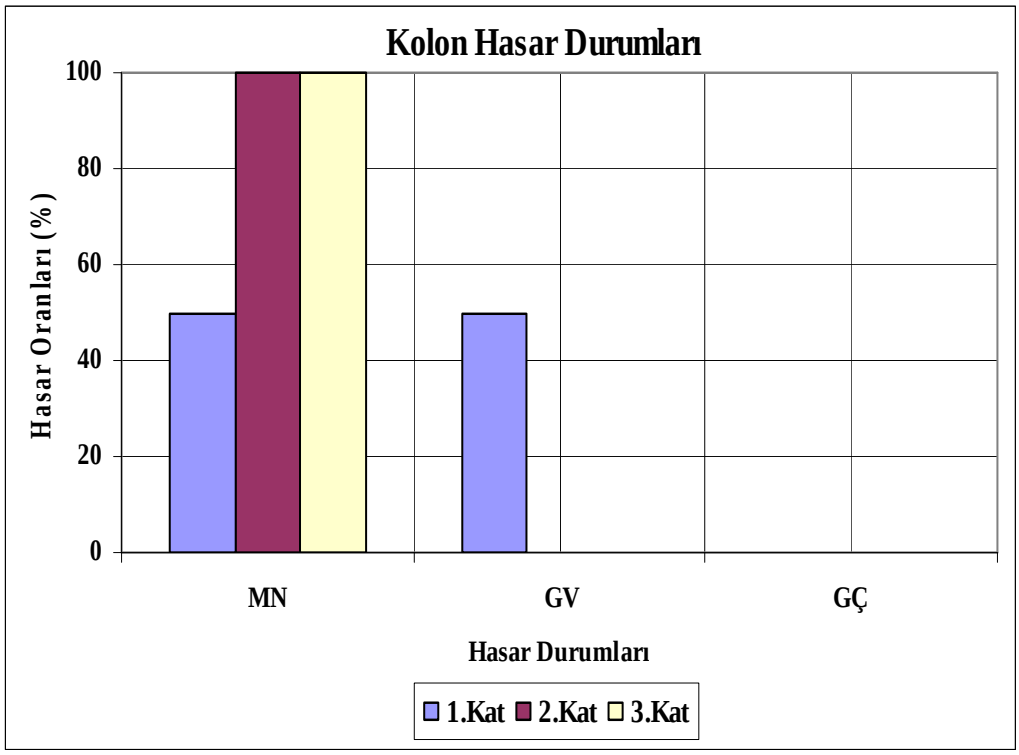
Şekil A.4: Hemen Kullanım Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Analiz Kolon Hasar Oranları



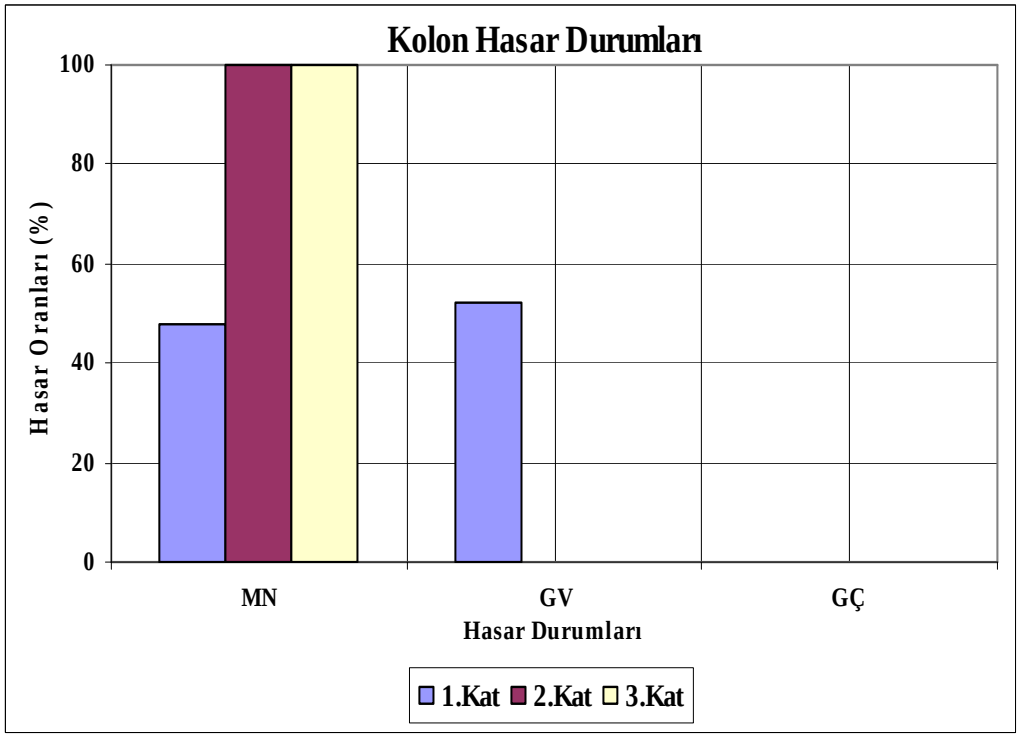
Şekil A.5: Hemen Kullanım Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kiriş Hasar Oranları



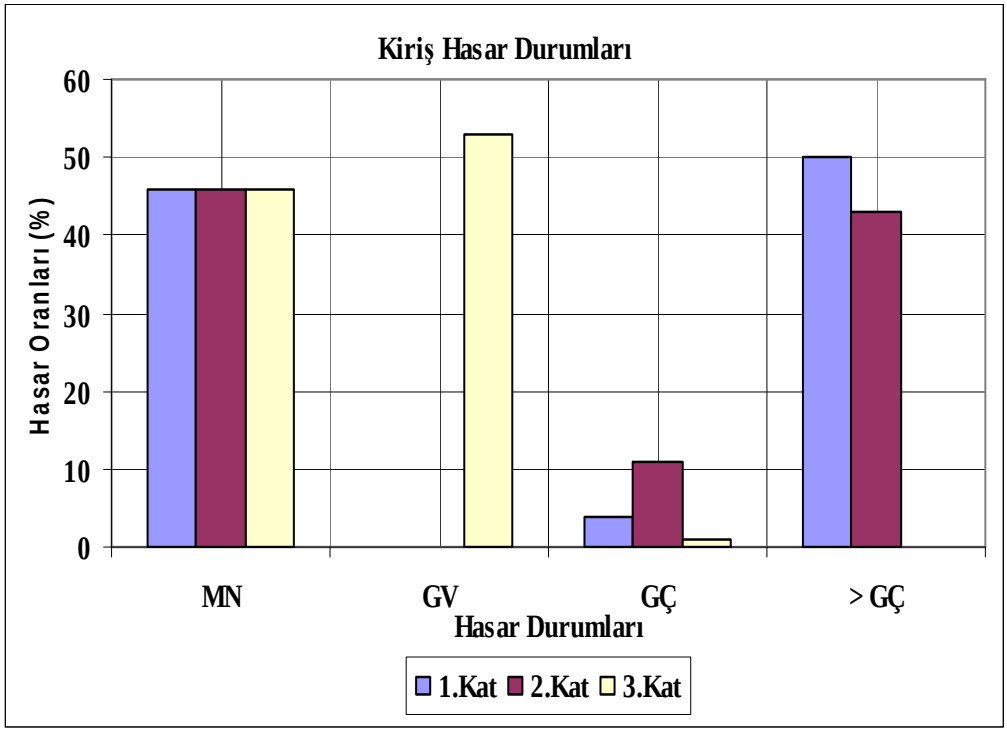
Şekil A.6: Hemen Kullanım Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kiriş Hasar Oranları



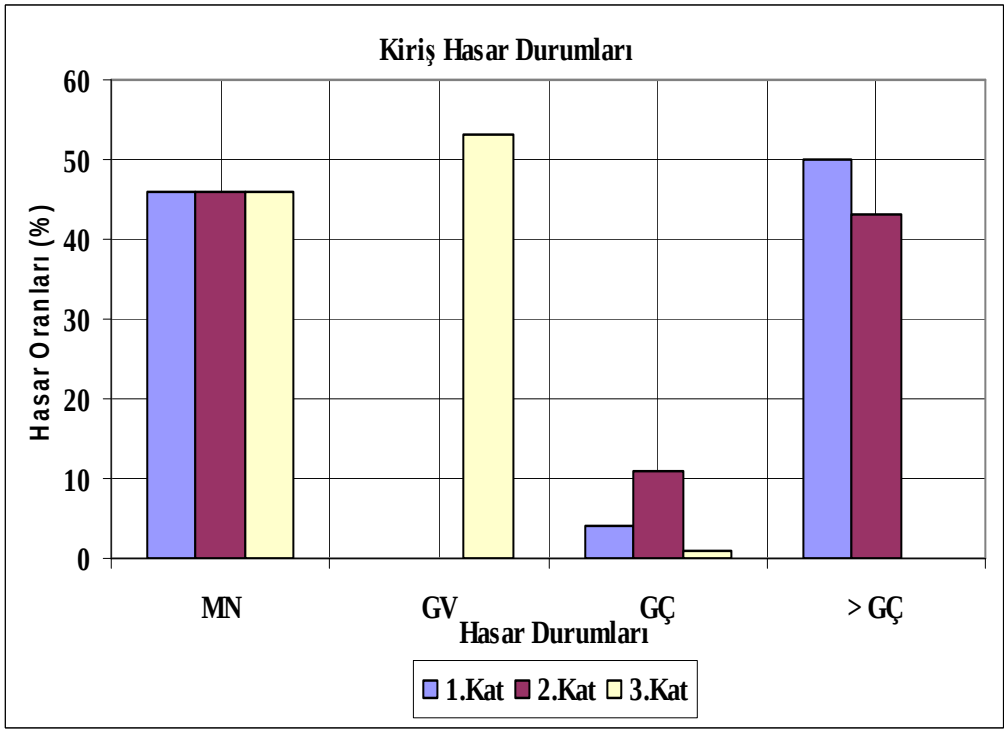
Şekil A.7: Hemen Kullanım Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kolon Hasar Oranları



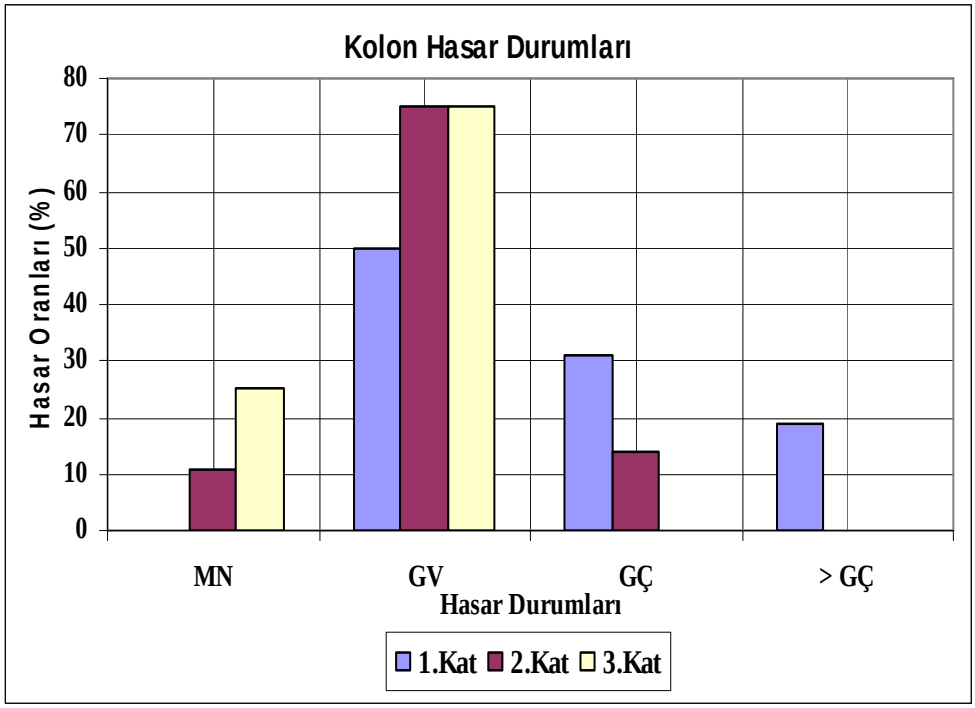
Şekil A.8: Hemen Kullanım Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kolon Hasar Oranları



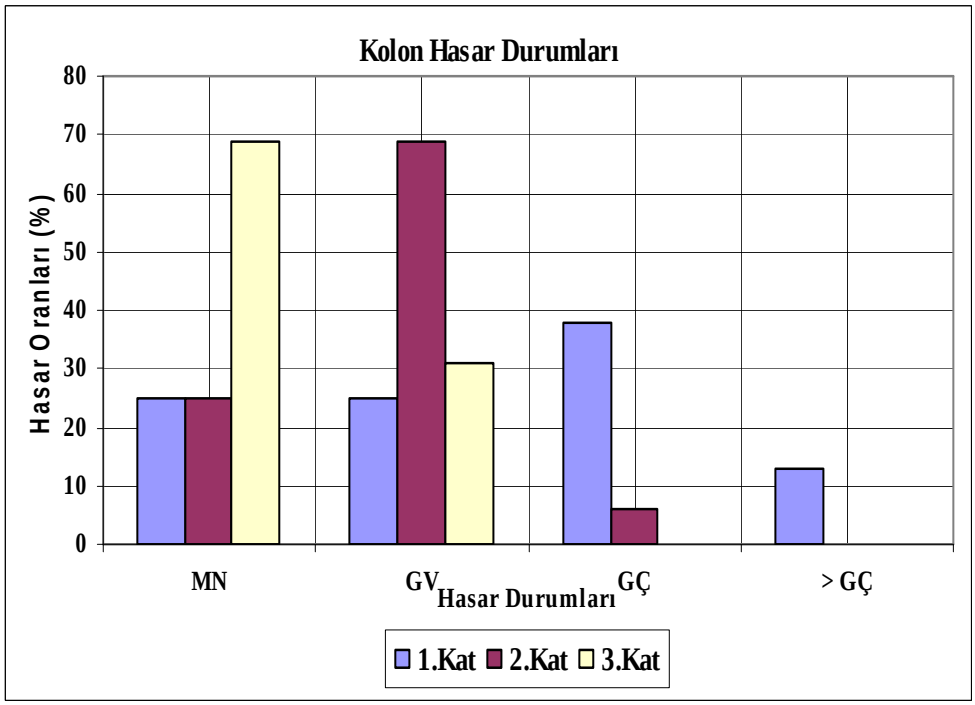
Şekil A.9: Can Güvenliği Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Analiz Kiriş Hasar Oranları



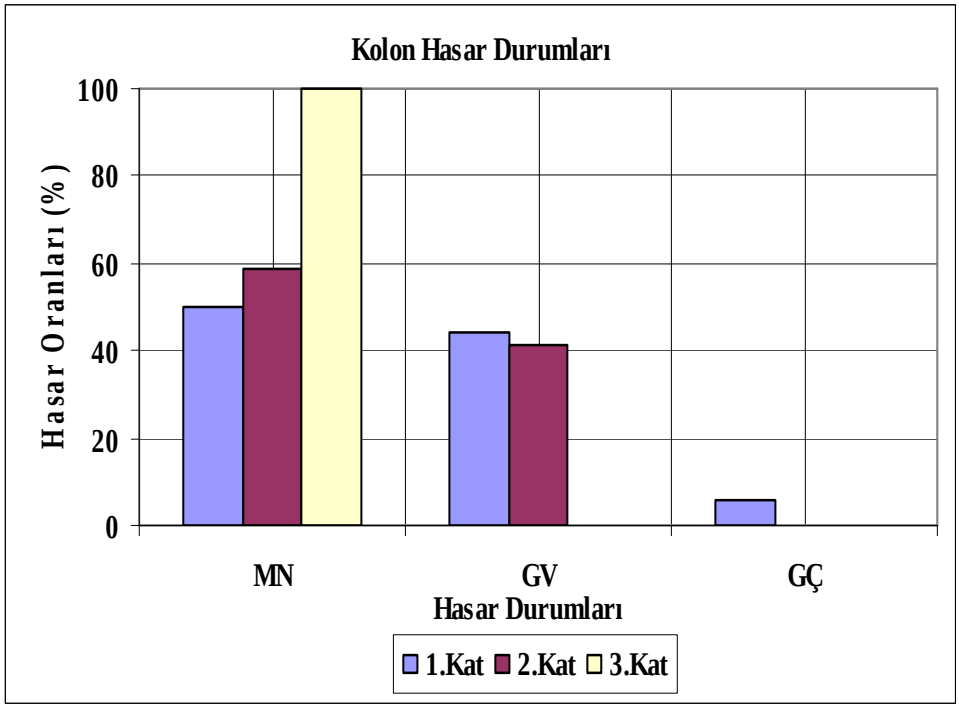
Şekil A.10: Can Güvenliği Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Analiz Kiriş Hasar Oranları



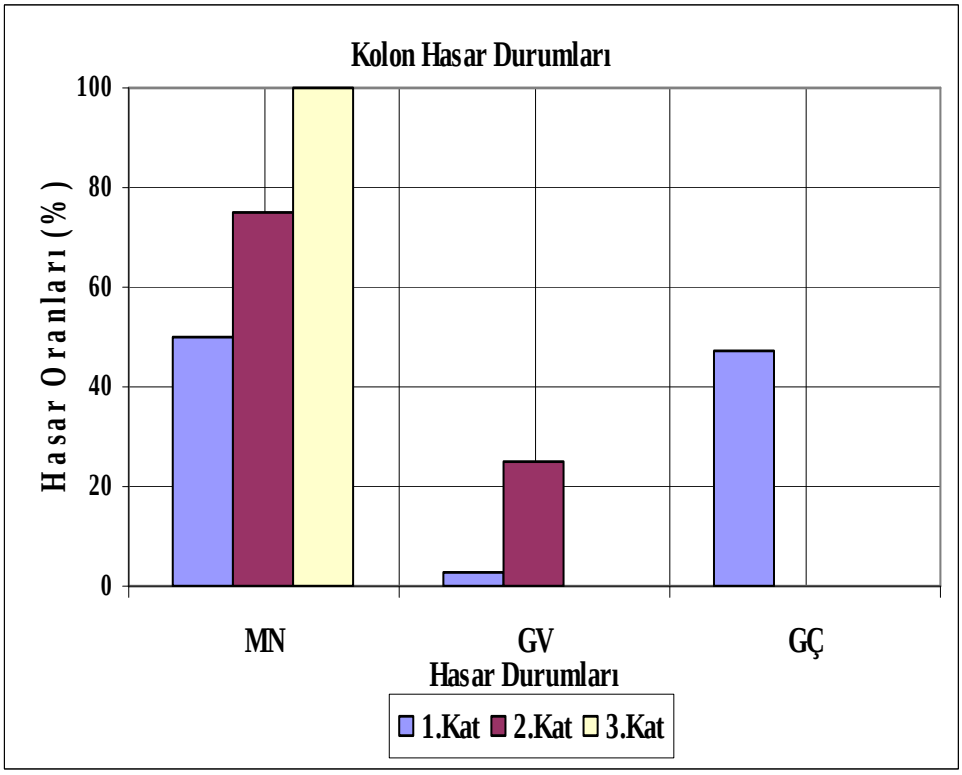
Şekil A.11: Can Güvenliği Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Analiz Kolon Hasar Oranları



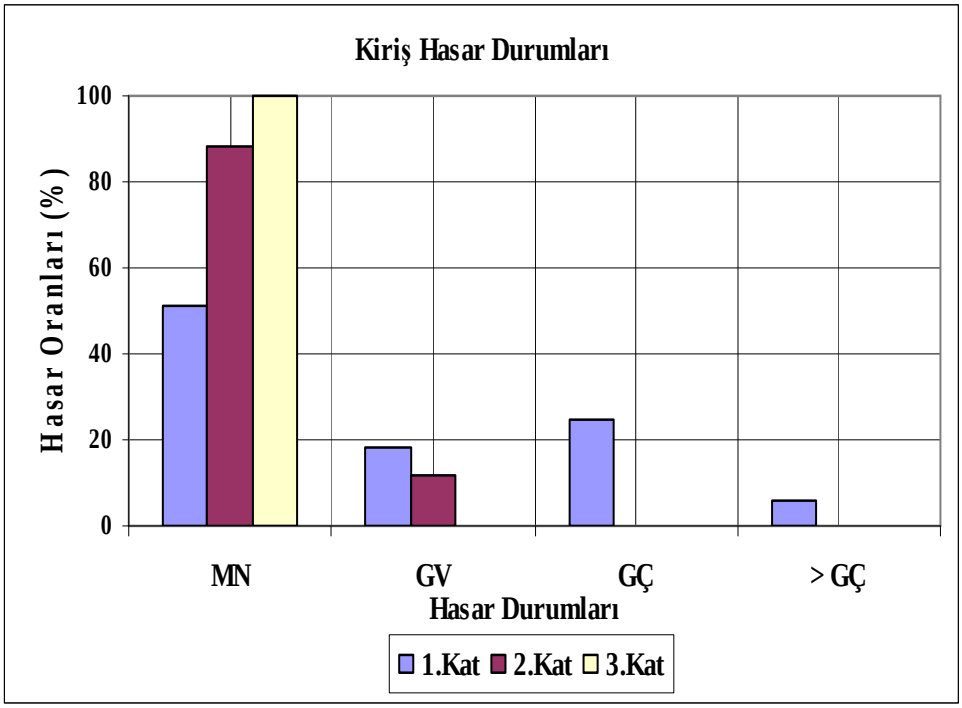
Şekil A.12: Can Güvenliği Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Analiz Kolon Hasar Oranları



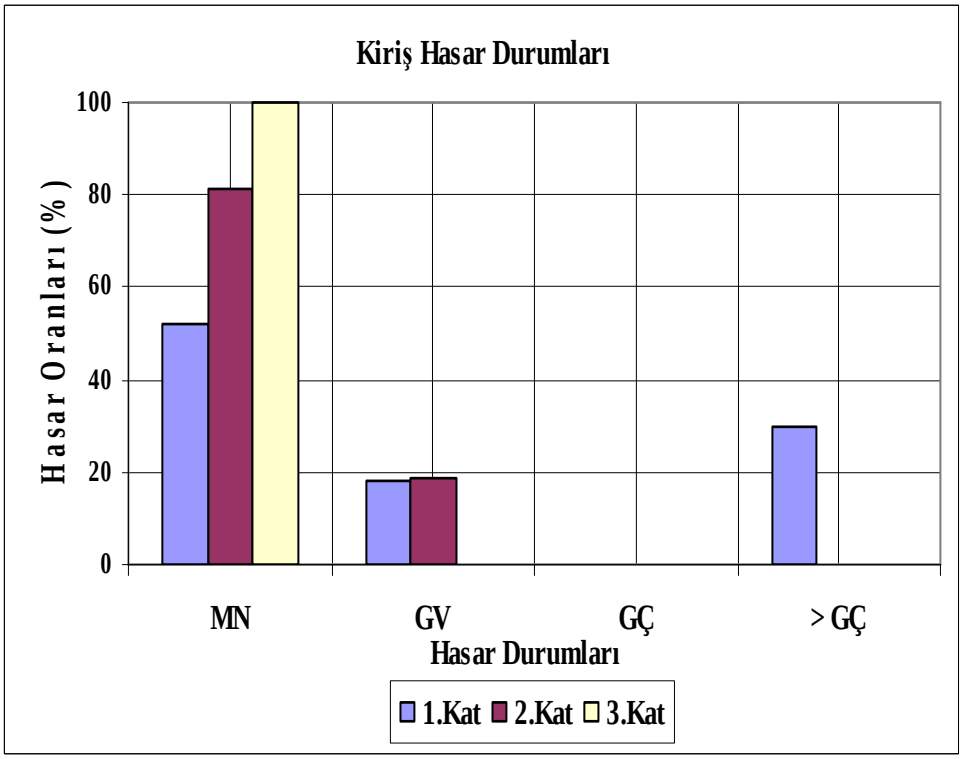
Şekil A.13: Can Güvenliği Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kolon Hasar Oranları



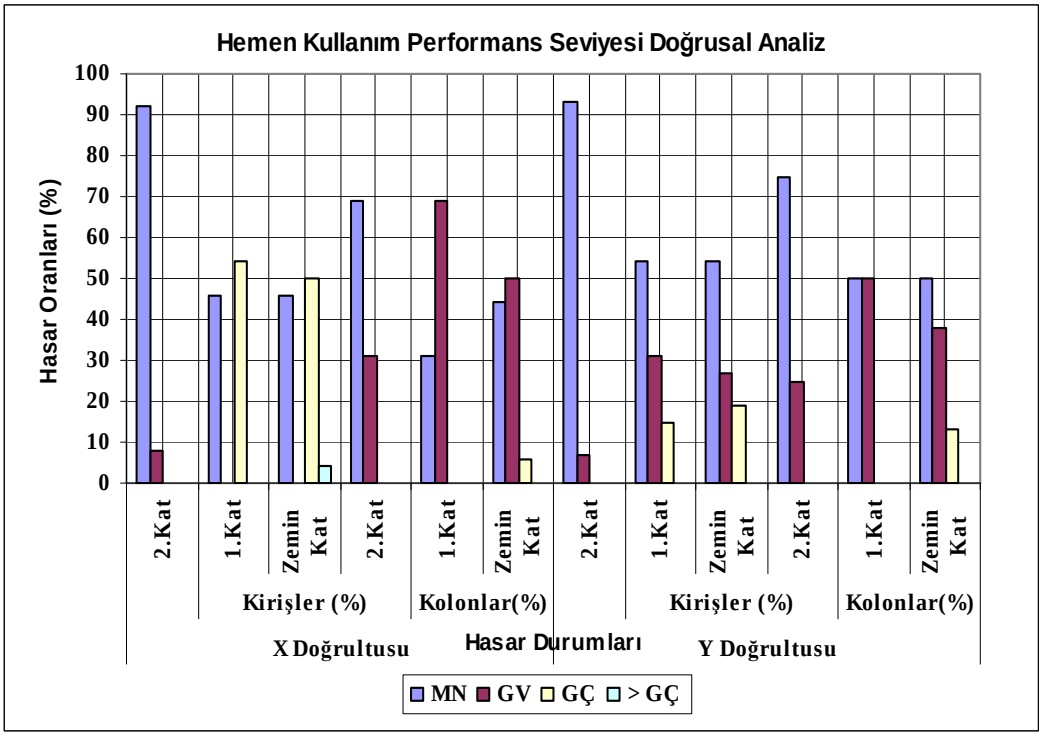
Şekil A.14: Can Güvenliği Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kolon Hasar Oranları



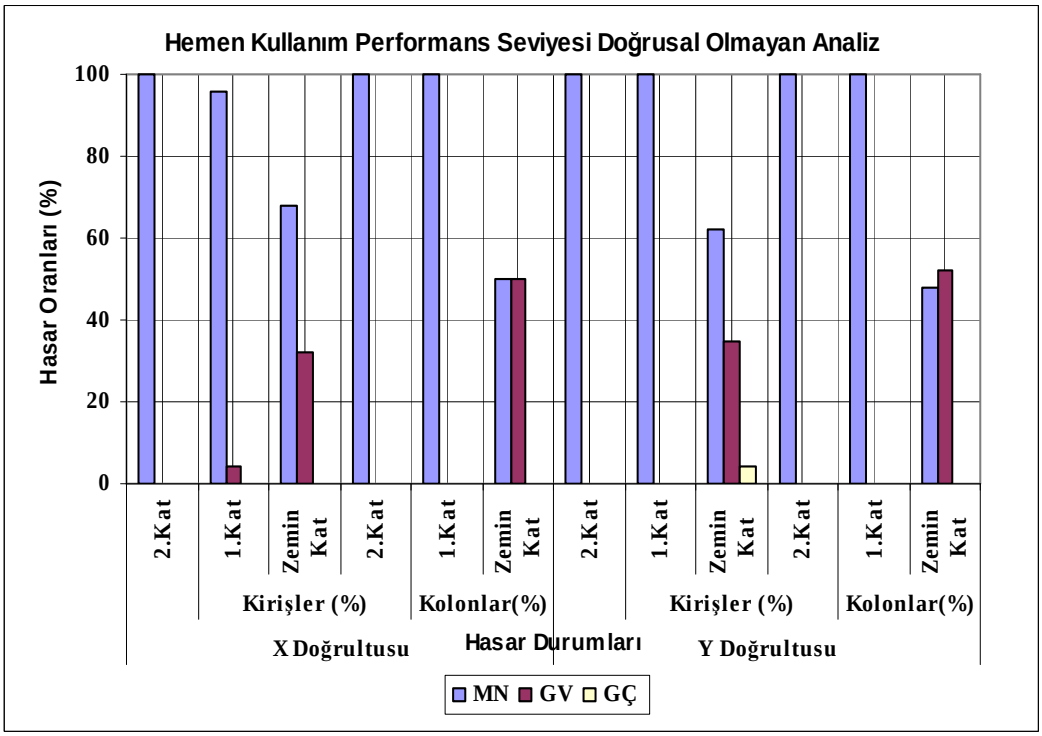
Şekil A.15: Can Güvenliği Performans Durumu İçin X Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kiriş Hasar Oranları



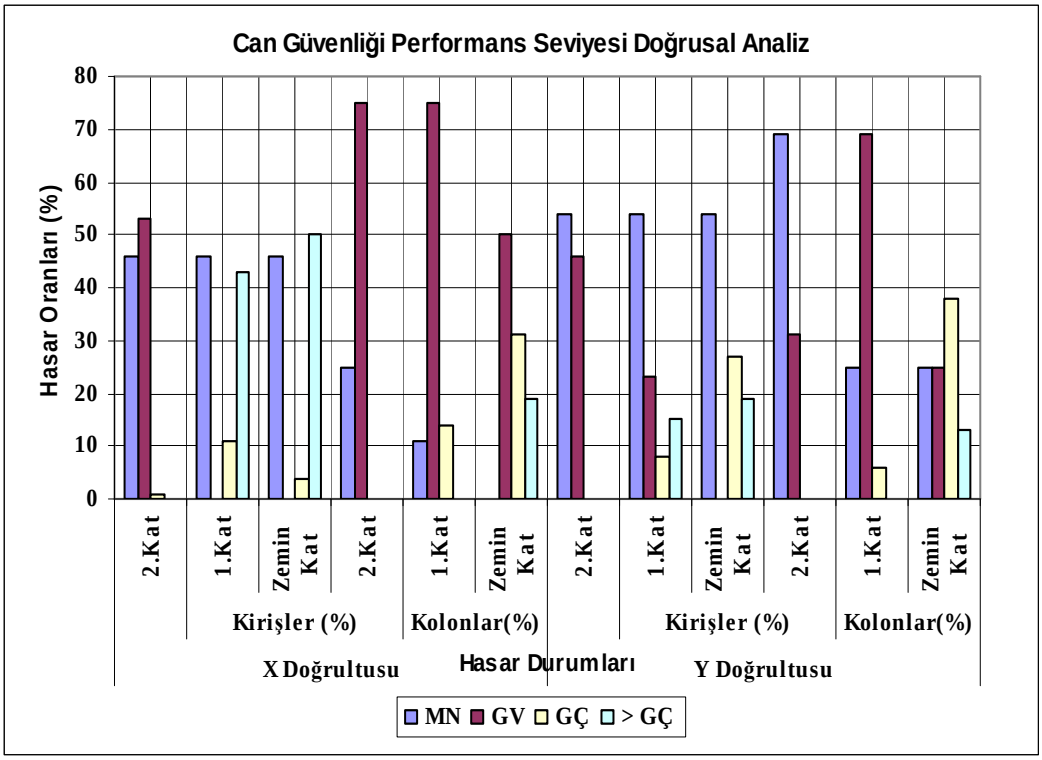
Şekil A.16: Can Güvenliği Performans Durumu İçin Y Yönünde Doğrusal Olmayan Analiz Kiriş Hasar Oranları



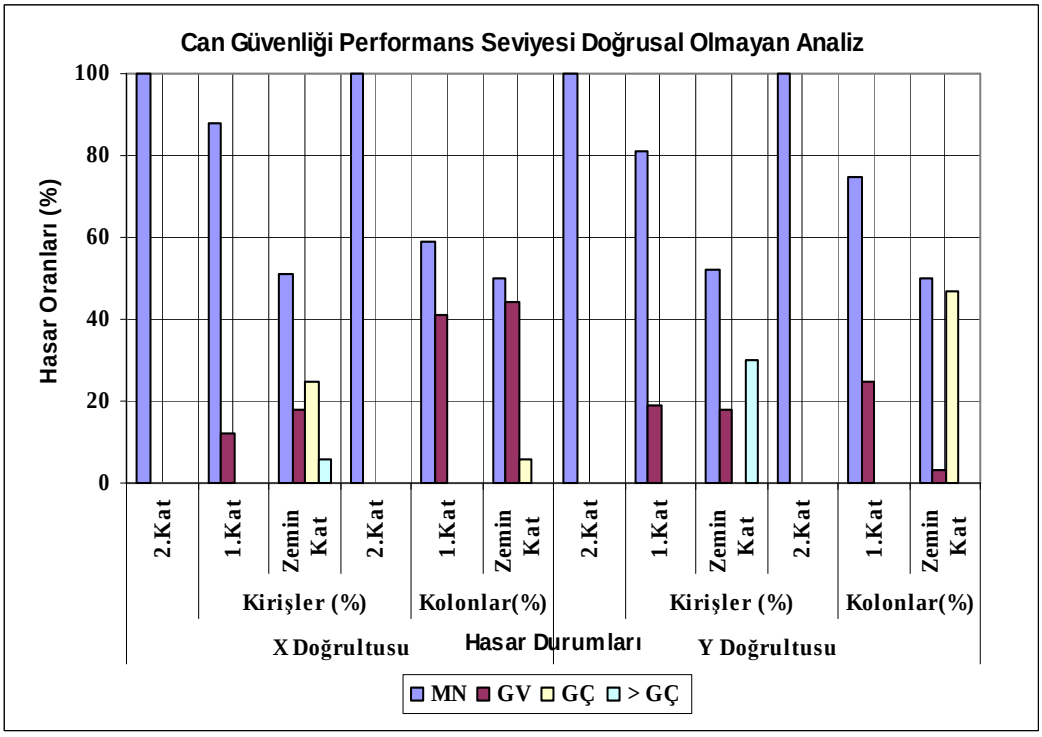
Şekil A.17: Hemen Kullanım Performans Seviyesi İçin Doğrusal Analiz X ve Y Doğrultularında Genel Hasar Oranları



Tablo A.18: Hemen Kullanım Performans Seviyesi İçin Doğrusal Olmayan Analiz X ve Y Doğrultularında Genel Hasar Oranları

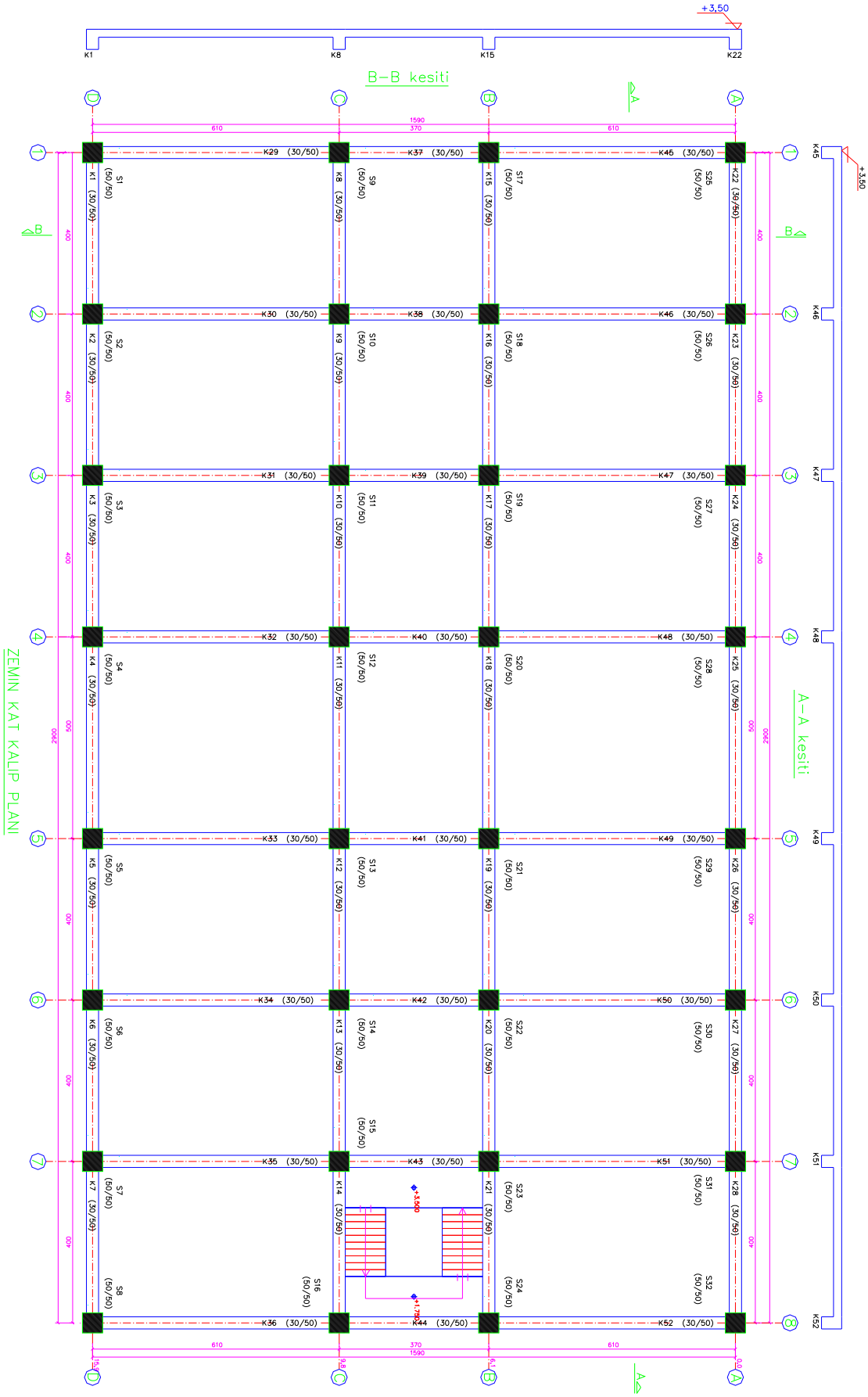


Tablo A.19: Can Güvenliği Performans Seviyesi İçin Doğrusal Analiz X ve Y Doğrultularında Genel Hasar Oranları



Tablo A.20: Can Güvenliği Performans Seviyesi İçin Doğrusal Olmayan Analiz X ve Y Doğrultularında Genel Hasar Oranları

EK B.



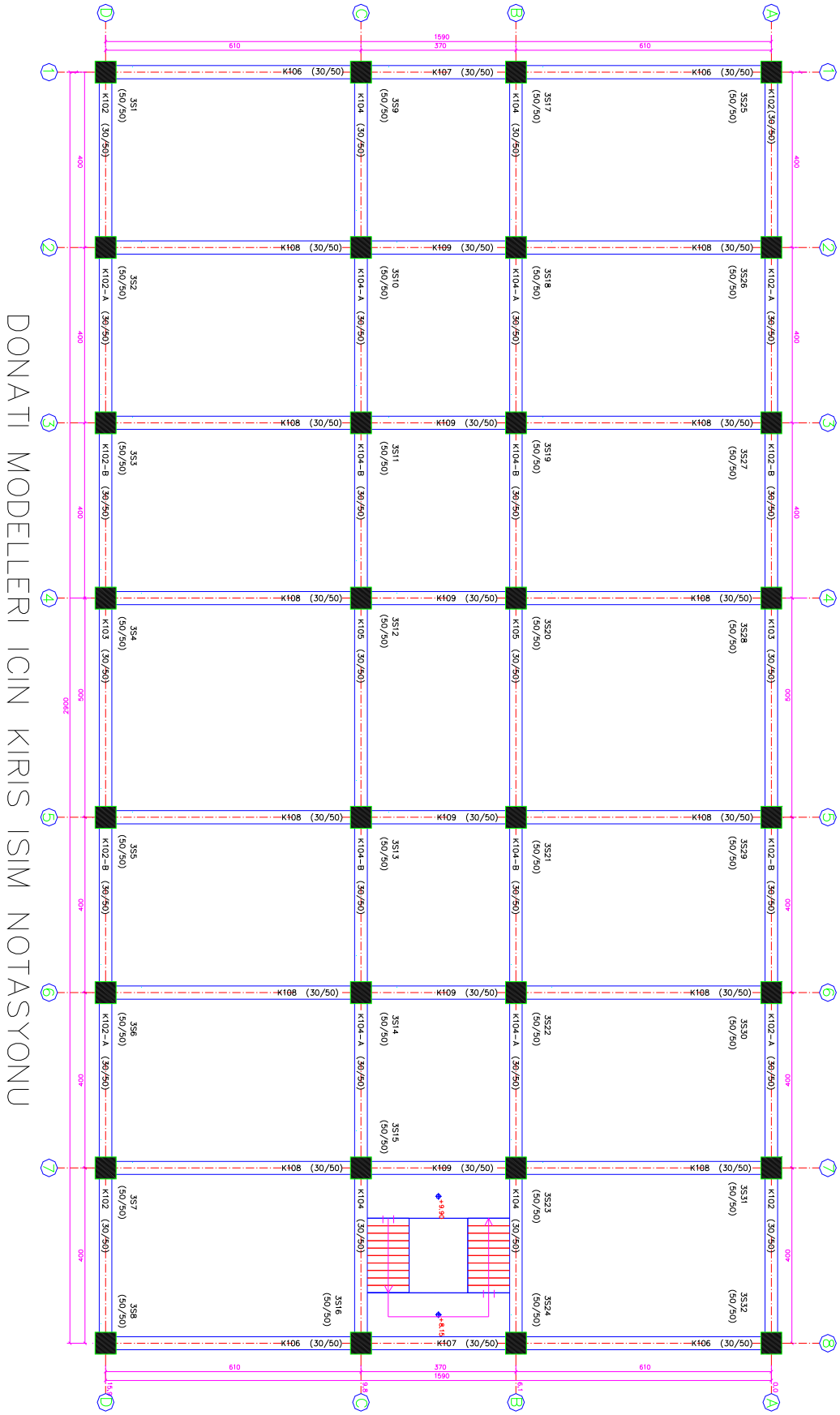
Şekil B.1: Zemin Kat Kalıp Planı



Şekil B.2: 1.Normal Kat Kalıp Planı



Şekil B.3: 2.Normal Kat Kalıp Planı



Şekil B.4: Donatı Modellemesi İçin Kiriş İsimlendirilmesi

KAYNAKLAR

[1] **Özer, E.,** 2007**.** Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, *http://www.ins.itu.edu.tr/eozer*

[2] **Çakıroğlu A.,Özer E.**(1980), Malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan sistemler. *Ankara: Matbaa teknisyenleri Basımevi*.

[3] **İrtem E., Türker K.** (2002). Yapıların deprem yükleri altındaki lineer olmayan davranışının belirlenmesinde kullanılan statik yöntemlerin karşılaştırılması. *Balıkesir Üniversitesi IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu*

[4] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik,** 1997. *İmar İskan Bakanlığı , Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı*

[5] **TS500,** 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*

[6] **TS498,** 1984. Betonarme Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.*

[7] **Celep, Z., Kumbasar, N.,** 2005. Betonarme Yapılar**,** Beta Dağıtım, İstanbul.

[8] **Celep, Z., Kumbasar, N.,** 2004**.** Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.

[9] **Celep, Z., Kumbasar, N.,** 2001. Yapı Dinamiği**,** Beta Dağıtım, İstanbul.

[10] **Ersoy, U.,Özcebe, G.,** 2001. Betonarme, Bizim Büro Basımevi, Ankara

[11] **ATC 40,** 1996**.** Seismic Evaluation and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.

[12] **FEMA 356,** 2000**.** Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.

[13] **Celep Z**., 2002. Deprem Etkisindeki Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesinde Performans Kavramı, *Mustafa İnan Tatbiki Mekanik Seminerleri, İTÜ, İstanbul.*

[14] **SAP2000** *Three Dimensional Static and Dynamic Finite Elemet Analysis and Design of Structure, Computers and Structures Inc.2000.*

[15] **Priestley, M.J.N.,**2000 "Performance Based Sismic Design". Proceedings. *12 th World Conference on Earthquake Engineering, New Zeland.*

[16] **Mander, J.B., Priestly, M.J.N, Park,R,1988.** Theoretical Stres-Strain Model for Confined Concrete, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.114

[17] **Hasgül, U.2004.** *Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Boyutlandırılan Betonarme Binaların Performanslarının İrdelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

[18] **Krawinkler, H. And Seneviranta, G. D. P. K., 1998.** Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation. Engineering Structures, Vol.20

[19] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik,** 2007. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*

ÖZGEÇMİŞ

Fatih SEZER, 1981 yılında Aydın'da doğmuştur. İlk öğrenimini Cumhuriyet İlkokulunda, Orta öğrenimini Atatürk Orta Okulunda ve lise öğrenimini de Kadri Yılmaz Kardeşler Lisesinde Zonguldak/Ereğli de tamamlamıştır. 2000 yılında, İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazanmıştır. 2004 yılında mezun olarak aynı yıl, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Yapı Mühendisliği programında yüksek lisansa başlamıştır.