

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**1975 ÖNCESİNDE İNŞA EDİLEN MEVCUT BETONARME
BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ
BELİRLENMESİ ÜZERİNE SAYISAL BİR İNCELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Abdullah ERDOĞAN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2008

**1975 ÖNCESİNDE İNŞA EDİLEN MEVCUT BETONARME
BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ
BELİRLENMESİ ÜZERİNE SAYISAL BİR İNCELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Abdullah ERDOĞAN
(501051001)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Erkan ÖZER (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Engin ORAKDÖĞEN (İ.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Zehra Canan GİRGIN (İ.T.Ü.)**

MAYIS 2008

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans programı süresince, engin bilgi ve deneyimlerinden yararlanma olanağı bulduğum, bana kendisiyle çalışma fırsatını tanıyan danışman Hocam Prof. Dr. Erkan Özer' in mesleki anlamda bakış açımın genişlemesinde önemli bir katkısı vardır. Değerli bilgi ve deneyimlerini bana aktaran Hocam'a, özellikle tez çalışmam sırasında bana göstermiş olduğu sabır ve hoşgöründen dolayı sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca, tez çalışmalarım sırasında benden desteklerini esirgemeyen eşim Zeynep'e ve aileme, yüksek lisans çalışmam sırasında beni bursuyla destekleyen TÜBİTAK BİDEB'e ve bana her türlü kolaylığı sağlayan DAR Mühendislik Müşavirlik A.Ş. yöneticilerine ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mayıs 2008

İnş. Müh. Abdullah ERDOĞAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xv
SUMMARY	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Konu ile İlgili Çalışmalar	2
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	5
2. YAPI SİSTEMLERİNİN MALZEME BAKIMINDAN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI	7
2.1. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı	7
2.1.1. Çözümün sağlanması gereken koşullar	8
2.1.2. Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri	8
2.1.3. Yapı sistemlerinin dış yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı	10
2.2. İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlılıları ve Akma (Kırılma) Koşulları	12
2.2.1. Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri	12
2.2.1.1. Yapı malzemelerinin gerilme-şekildeğiştirme bağılılıları	13
2.2.2. Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet – şekildeğiştirme bağılılıları ve akma (kırılma) koşulları	16
2.2.2.1. Betonarme çubuklar	19
2.3. Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Betonarme Sistemlerin Hesabı	23
2.3.1. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali	23
2.3.2. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığının varsayılması hali	23
2.3.2.1. Plastik mafsal hipotezi	23
2.3.2.2. Yük artımı yöntemi	28
2.3.3. Yapı sistemlerinde süneklik	32
2.3.4. Mander modeli	36
3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME	40
3.1. Binalardan Bilgi Toplanması	41
3.2. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	41
3.2.1. Kesit hasar sınırları	42

3.2.2. Kesit hasar bölgeleri	42
3.3. Bina Deprem Performans Düzeyleri	43
3.3.1. Hemen kullanım performans düzeyi	43
3.3.2. Can güvenliği performans düzeyi	44
3.3.3. Göçme öncesi performans düzeyi	45
3.3.4. Göçme durumu	45
3.4. Deprem Hareketleri	46
3.5. Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri	46
3.6. Deprem Performansının Belirlenmesi ve Kullanılan Analiz Yöntemleri	47
3.6.1. Doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için genel ilke ve kurallar	48
3.6.2. Doğrusal elastik hesap yöntemleri	50
3.6.2.1. Yöntemin esasları	50
3.6.2.2. Eşdeğer deprem yükü yöntemi	50
3.6.2.3. Mod birleştirme yöntemi	51
3.6.2.4. Yapı elemanlarında hasar düzeylerinin belirlenmesi	51
3.6.3. Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri	51
3.6.3.1. Tanım	51
3.6.3.2. Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek hesap adımları	52
3.6.3.3. Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi	53
3.6.3.4. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi	55
3.6.3.5. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi	60
3.6.3.6. Kesitteki birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi	61
3.6.3.7. Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri	62
4. 1968 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ ve 1953 BETONARME ŞARTNAMESİ' NİN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ	63
4.1. TKİC 1953 Betonarme Şartnamesi	63
4.1.1. Malzeme Bilgileri	63
4.1.2. Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Boyutlandırılmasında Temel İlkeler	65
4.1.2.1. Kirişler	65
4.1.2.2. Kolonlar	66
4.1.3. Emniyet Gerilmeleri	68
4.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1968)	68
4.2.1. Taşıyıcı Sistem Elemanları Hakkında Yönetmelik Koşulları	68
4.2.1.1. Kolonlar	68
4.2.1.2. Kirişler	69
4.2.2. Depreme Dayanıklı Binalar İçin Hesap Esasları	69
5. SAYISAL İNCELEMELER	73
5.1. İncelenen Taşıyıcı Sistem Modelleri	74
5.2. Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması	75
5.2.1. Malzeme Bilgileri	75
5.2.2. Deprem Karakteristikleri	76
5.2.3. Boyutlandırmada Esas Alınan Yükler	76
5.2.4. Modelleme ve Tasarımda Yapılan Varsayımlar	76

5.2.5. Boyutlandırmada Esas Alınan Yükleme Kombinasyonları	77
5.2.6. Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması	77
5.3. Taşıyıcı Sistem Modellerinin Performans Değerlendirmesi	77
5.4. TSM-1 İçin Ayrıntılı İnceleme	78
5.4.1. Sistemin Boyutlandırılması	78
5.4.2. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Sistemin Deprem Performansının Belirlenmesi	87
5.5. TSM-1A İçin Performans Değerlendirmesi	106
5.6. TSM-2 İçin Performans Değerlendirmesi	108
5.7. TSM-2A İçin Performans Değerlendirmesi	113
5.8. TSM-3 İçin Performans Değerlendirmesi	114
5.9. TSM-3A İçin Performans Değerlendirmesi	119
5.10. TSM-4 İçin Performans Değerlendirmesi	120
5.11. TSM-4A İçin Performans Değerlendirmesi	125
5.12. Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi	126
6. SONUÇLAR	131
KAYNAKLAR	133
ÖZGEÇMİŞ	137

KISALTMALAR

ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
BSSC	: Building Seismic Safety Council
CG	: Can Güvenliği
DBYBHY'07	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'07 (2007 Türk Deprem Yönetmeliği)
EERC-UCB	: Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
GB	: Göçme Bölgesi
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
MN	: Minimum Hasar Sınırı
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
SAP2000	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
TDY	: Türk Deprem Yönetmeliği
TKİC	: Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti
TSM	: Taşıyıcı Sistem Modeli
XTRACT	: Cross Sectional Analysis of Structural Components

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri..... 9
Tablo 3.1	Binalar için bilgi düzeyi katsayıları..... 41
Tablo 3.2	Binalar için öngörülen minimum performans hedefleri..... 47
Tablo 4.1	Beton sınıfları ve karakteristik küp dayanımları..... 63
Tablo 4.2	Beton çeliği sınıfları ve özellikleri 64
Tablo 4.3	Normal kuvvet kontrolünde kullanılacak beton ve donatı çeliği emniyet gerilmeleri..... 67
Tablo 4.4	Emniyet gerilmeleri..... 68
Tablo 4.5	Deprem bölge katsayısı..... 70
Tablo 4.6	Deprem zemin katsayısı..... 70
Tablo 4.7	Bina önem katsayısı..... 71
Tablo 4.8	Bina dinamik katsayısı..... 71
Tablo 4.9	Hareketli yük katılım katsayısı..... 72
Tablo 5.1	Taşıyıcı sistem modelleri..... 74
Tablo 5.2	TSM-1 genel özellikleri..... 79
Tablo 5.3	Normal kat düşey yükleri..... 81
Tablo 5.4	Çatı katı düşey yükleri..... 81
Tablo 5.5	Bina ağırlığının hesabı..... 82
Tablo 5.6	Eşdeğer deprem yüklerinin hesabı..... 83
Tablo 5.7	TSM-1 Periyot, etkin kütle ve etkin kütle oranı..... 93
Tablo 5.8	Taban kesme kuvveti – tepe noktası yerdeğiştirme değerleri..... 93
Tablo 5.9	Etkin kütle ve modal katkı çarpanının belirlenmesi..... 94
Tablo 5.10	Modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerleri..... 95
Tablo 5.11	Modal yerdeğiştirme isteminin hesaplanması..... 96
Tablo 5.12	Tepe noktası yatay yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi..... 97
Tablo 5.13	TSM-1` de kirişler için toplam eğrilik istem değerlerinin elde edilmesi..... 99
Tablo 5.14	TSM-1` de kirişlerin kesit hasar bölgeleri(+X yönü)..... 100
Tablo 5.15	TSM-1` de kolonlar için toplam eğrilik istem değerlerinin elde edilmesi..... 101
Tablo 5.16	TSM-1` de kolonların kesit hasar bölgeleri(+X yönü)..... 102
Tablo 5.17	TSM-1A` da kirişlerin kesit hasar bölgeleri(+X yönü)..... 107
Tablo 5.18	TSM-1A` da kolonların kesit hasar bölgeleri(+X yönü)..... 108
Tablo 5.19	TSM-2` de kirişlerin kesit hasar bölgeleri(+X yönü)..... 111
Tablo 5.20	TSM-2` de kolonların kesit hasar bölgeleri(+X yönü)..... 112
Tablo 5.21	TSM-2A` da kirişlerin kesit hasar bölgeleri(+X yönü)..... 113
Tablo 5.22	TSM-2A` da kolonların kesit hasar bölgeleri(+X yönü)..... 114
Tablo 5.23	TSM-3` te kirişlerin kesit hasar bölgeleri(+X yönü)..... 117
Tablo 5.24	TSM-3` te kolonların kesit hasar bölgeleri(+X yönü)..... 118

Tablo 5.25	TSM-3A`da kirişlerin kesit hasar bölgeleri(+X yönü)	119
Tablo 5.26	TSM-3A`da kolonların kesit hasar bölgeleri(+X yönü).....	120
Tablo 5.27	TSM-4 te kirişlerin kesit hasar bölgeleri(+X yönü).....	123
Tablo 5.28	TSM-4`te kolonların kesit hasar bölgeleri(+X yönü).....	124
Tablo 5.29	TSM-4A`da kirişlerin kesit hasar bölgeleri(+X yönü).....	125
Tablo 5.30	TSM-4A`da kolonların kesit hasar bölgeleri(+X yönü).....	126
Tablo 5.31	Kolonların deprem hasar bölgelerinin karşılaştırılması.....	128
Tablo 5.32	Kirişlerin deprem hasar bölgelerinin karşılaştırılması.....	129

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Çeşitli teorilere göre elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntıları.....	10
Şekil 2.2 : Dış kuvvetler etkisindeki katı cisim.....	12
Şekil 2.3 : Şematik yük parametresi-şekil değiştirme diyagramı.....	13
Şekil 2.4 : Beton çeliğinde σ - ϵ diyagramı	14
Şekil 2.5 : Beton çeliğinde σ - ϵ diyagramının idealleştirilmesi.....	15
Şekil 2.6 : Betonarme çubuğun eğilmesinde dış basınç lifindeki σ - ϵ diyagramı.....	15
Şekil 2.7 : Düzlem çubuk elemanda iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler.....	17
Şekil 2.8 : Bünye denklemlerinin eğri grupları halinde gösterimi.....	19
Şekil 2.9 : Akma eğrisi (karşılıklı etki diyagramı).....	19
Şekil 2.10 : Betonarme kesitlerde M- χ diyagramı.....	21
Şekil 2.11 : Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi).....	22
Şekil 2.12 : Eğilme momenti – eğrilik diyagramı.....	24
Şekil 2.13 : Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler.....	25
Şekil 2.14 : İdealleştirilmiş bünye bağıntısı.....	26
Şekil 2.15 : Plastik mafsallı boyu.....	27
Şekil 2.16 : Plastik mafsallı hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan yükler altındaki davranışı.....	29
Şekil 2.17 : Tümsel ve bölgesel mekanizma durumları.....	29
Şekil 2.18 : Yerdeğiştirmelerin hesabı.....	30
Şekil 2.19 : Birim yüklemde kısaltma teoreminin uygulanması.....	31
Şekil 2.20 : Plastik mafsalların dönmelerinin bulunması.....	32
Şekil 2.21 : Dayanım ve süneklik arasındaki ilişki[29].....	33
Şekil 2.22 : Sünekliğin genel tanımı.....	33
Şekil 2.23 : Çeşitli süneklik tanımları.....	35
Şekil 2.24 : Mander beton modeli.....	37
Şekil 2.25 : Kesitte ve boyuna doğrultuda etkin sargı alanının hesaplanması.....	38
Şekil 3.1 : Kesit hasar bölgeleri.....	43
Şekil 3.2 : Eğilme momenti – plastik dönme bağıntıları.....	54
Şekil 3.3 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} > T_B$).....	58
Şekil 3.4 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$).....	59
Şekil 3.5 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$).....	60
Şekil 4.1 : Kirişlerde pas payları ve donatı detayları.....	66
Şekil 4.2 : Kolonlarda etriye detayları.....	67
Şekil 5.1 : Taşıyıcı sistem modelleri.....	75
Şekil 5.2 : Sisteme etkiyen düşey yükler.....	80
Şekil 5.3 : Sabit düşey yükler.....	84
Şekil 5.4 : Hareketli düşey yükler.....	84
Şekil 5.5 : Deprem Yükleri.....	85

Şekil 5.6	: TSM-1 Kiriş – kolon boyutları ve kolon donatıları.....	86
Şekil 5.7	: TSM-1 Kiriş donatıları.....	87
Şekil 5.8	: Detaylı hesabı yapılan kolon ve kiriş elemanlar.....	88
Şekil 5.9	: C 102 kolonu donatı detayı.....	90
Şekil 5.10	: C 102 kolonu için karşılıklı etki diyagramı.....	90
Şekil 5.11	: B 102 kirişi donatı detayı.....	91
Şekil 5.12	: B 102 kirişi mesnedi moment – dönme grafiği.....	91
Şekil 5.13	: Kolon ve kiriş uçlarındaki olası plastik mafsallar.....	92
Şekil 5.14	: TSM-1 statik itme eğrisi grafiği.....	94
Şekil 5.15	: Spektral ivme – spektral yerdeğiştirme diyagramı.....	96
Şekil 5.16	: Yerdeğiştirme isteminde sistemde oluşan plastik mafsallar.....	97
Şekil 5.17	: Kesit analizinde kullanılan beton modeli.....	103
Şekil 5.18	: C 102 kolonu kesit analiz modeli.....	105
Şekil 5.19	: C 102 kolonu kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi.....	106
Şekil 5.20	: TSM-2 Kiriş – kolon kesitleri ve kolon donatıları.....	109
Şekil 5.21	: TSM-2 Kiriş donatıları.....	110
Şekil 5.22	: TSM-3 Kiriş – kolon kesitleri ve kolon donatıları.....	115
Şekil 5.23	: TSM-3 Kiriş donatıları.....	116
Şekil 5.24	: TSM-4 Kiriş – kolon kesitleri ve kolon donatıları.....	121
Şekil 5.25	: TSM-4 Kiriş donatıları.....	122

SEMBOL LİSTESİ

$A(T_1)$: T_1 periyot değerindeki spektral ivme katsayısı
a_1	: Birinci moda ait modal ivme
$a_1^{(i)}$: (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
A_c	: Kolonun brüt kesit alanı
A_s	: Boyuna donatı alanı
b	: Kesit genişliği
b_w	: Kirişin gövde genişliği
C	: Deprem katsayısı
C_0	: Deprem bölge katsayısı
C_{R1}	: Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
d	: Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği
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	: Yatay yükler doğrultusuna paralel doğrultudaki yapı genişliği
e	: Güvenlik katsayısı
E	: Elastisite modülü
E_c	: Beton elastisite 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, Enkesit alanı
F_b	: Beton Enkesit Alanı
F_i	: Kütlelerin toplandığı varsayılan noktalara etkiyen eşdeğer deprem yükleri
$F_i(M,N,T)$: Malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı doğrusal olmayan fonksiyonlar
F_s	: Donatı Enkesit Alanı
G	: Sabit yük
g	: Yerçekimi ivmesi, sabit yük
G_i	: i'inci kattaki sabit yükler toplamı
g_i	: Yapının i'inci katındaki sabit yük
H	: Yapının temel üst kotundan ölçülen yüksekliği
h	: Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
I	: Kesitin atalet momenti
K_b	: 28 Günlük Minimum Küp Dayanımı

$K_1(\chi, \varepsilon, \gamma)$: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını şekildeğiştirmelere bağlı olarak ifade eden fonksiyon
$K_1(M, N, T)$: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını kesit zorlarına bağlı olarak ifade eden fonksiyon
L_0	: Çatlama
L_1	: Plastik şekildeğiştirmenin başlangıcı
L_2	: Kırılma
l_p	: Plastik mafsal boyu
m_x	: X eksenine etrafındaki hesap yüküne ait boyutsuz eğilme momenti
M	: Eğilme momenti
M_{cap}	: Eğilme momenti kapasitesi
M_p	: Kesitin eğilme momenti taşıma gücü (plastik moment)
M_p	: İndirgenmiş plastik moment
M_{x1}	: x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
N	: Normal kuvvet
N_d	: Düşey yükler altında kolonda oluşan aksenal basınç kuvveti
P	: Yük parametresi
P_{em}	: Normal Kuvvet Etkisindeki Etriyeli Kolonların Emniyetle Taşıyabileceği Kuvvet
P_{cr}	: Kritik yük
P_G	: Göçme yükü
P_i	: İşletme yükü
P_L	: Limit yük
P_{L1}	: Birinci mertebe limit yük
P_{L2}	: İkinci mertebe limit yük
$P-\Delta$: Yük parametresi – yerdeğiştirme
$P-\Delta I$: Yük parametresi – şekildeğiştirme
Q_i	: i' inci kattaki hareketli yüklerin toplamı
q	: Hareketli yük
q_i	: Yapının i' inci katındaki hareketli yük
r	: Etki/kapasite oranı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
$R_a(T_1)$: T_1 periyot değerindeki deprem yükü azaltma katsayısı
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma 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
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_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
T_B	: İvme spektrumundaki karakteristik periyot
$U_{xN1}^{(i)}$: Binanın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme

$U_{xN1}^{(p)}$: Binanın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
V	: Kesme kuvveti
V_t	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$V_{x1}^{(i)}$: x deprem doğrultusunda (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim) ait taban kesme kuvveti
W	: Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
α	: Zemin Katsayısı
α_t	: Sıcaklık genleşme katsayısı
β	: Bina nem Katsayısı
χ	: Birim dönme (eğrilik)
χ_p	: Kesitin eğilme momentine karşı gelen birim dönme
Δ	: Yerdeğiştirme
Δ_l	: Doğrusal Şekildeğiştirmeler
Δ_{p1} ve Δ_{p2}	: Doğrusal olmayan Şekildeğiştirmeler
Δt	: Kesite etkiyen farklı sıcaklık değişmesi
δ	: Yatay yerdeğiştirme
ϵ	: Birim boy değişmesi
ϵ_c	: Beton birim Şekildeğiştirmesi
ϵ_{cg}	: Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim Şekildeğiştirmesi
ϵ_{cu}	: Beton ezilme birim kısalması
ϵ_e	: Akma Şekildeğiştirmesi
ϵ_s	: Donatı çeliği birim Şekildeğiştirmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma uzaması
ϵ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim Şekildeğiştirmesi
ϕ_p	: Plastik eğrilik istemi
ϕ_t	: Toplam eğrilik istemi
ϕ_u	: Gç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik
ϕ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
γ	: Birim kayma ,Bina Dinamik Katsayısı
Φ_{xN1}	: Binanın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod Şekli genliği
Γ_{x1}	: x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
η_{bi}	: i' inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
λ	: Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı
θ_p	: Plastik dönme istemi
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$: Plastik mafsal dönmeleri
φ	: Kesitin dönmesi
φ_p	: Plastik mafsalın dönmesi
$\text{maks}\varphi_p$: Plastik mafsalın dönme kapasitesi
μ	: Süneklik oranı, mekanik donatı oranı
ρ_c	: Çekme donatısı oranı
ρ_s	: Basınç donatısı oranı

ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ_{sm}	: Kesitte bulunması gereken enine donatının hacımsal oranı
σ	: Gerilme
σ_e	: Akma gerilmesi
σ_i	: Eşdeğer emniyet gerilmesi
σ_p	: Orantı sınırı
σ_k	: 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

1975 ÖNCESİNDE İNŞA EDİLEN MEVCUT BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE SAYISAL BİR İNCELEME

ÖZET

Ülkemizin aktif bir deprem kuşağının içinde yer alması, geçmişte meydana gelen depremlerin büyük maddi hasara ve can kayıplarına neden olması, yeter güvenli bina tasarımının önemini vurgulamaktadır. Geçmişte yaşadığımız depremlerin neden olduğu olumsuz sonuçların ardından, mevcut yapı stoğumuzun deprem güvenliğinin belirlenmesi ve gerekli görülen binalarda güçlendirme önlemlerinin alınması zorunlu hale gelmiştir.

Yapı mühendisliğindeki gelişmeler, bilgisayarların hızlanması ve malzeme bilimindeki gelişmeler mühendislerin deprem hareketini ve depremin yapılar üzerindeki etkilerini daha gerçekçi olarak belirlenmesine katkıda bulunmaktadır. Bu gelişmeler, yapı sistemlerinin deprem etkileri altındaki davranışlarının daha yakından izlenebilmesine ve gerçek taşıma kapasitelerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, ülkemizdeki orta yükseklikli mevcut betonarme binaları geniş ölçüde temsil edecek şekilde seçilen taşıyıcı sistem modelleri 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki esaslar çerçevesinde boyutlandırılmıştır. Uygulanan tasarım yaklaşımı, beton karakteristik dayanımı ve sistem geometrisindeki farklılıkların binaların deprem performansına etkisini belirlemek amacıyla, bu taşıyıcı sistem modellerinin çeşitli alternatifleri oluşturulmuştur. Taşıyıcı sistem modellerinin deprem etkileri altındaki davranışları, malzeme bakımından doğrusal olmayan teori çerçevesinde incelenmiş, deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla yapılan hesaplamalarda performans noktası ve plastik mafsalların dönme değerleri 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* yardımı ile elde edilmiştir. Plastik şekildeğiştirmelerin değerlendirilerek kesit ve eleman hasar bölgelerinin belirlenmesinde de, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği uygulanmış ve gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır.

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

İkinci bölümde yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları incelenmekte ve malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerin hesap yöntemleri gözden geçirilmektedir. Bu bölümde malzeme bakımından doğrusal olmayan betonarme sistemlerin iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntıları verilmiş, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı varsayımına dayanan plastik mafsallı hipotezi ve bu hipotezi esas alan hesap yöntemi açıklanmıştır.

Üçüncü bölüm, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve yeni inşa edilecek olan yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımı amacıyla geliştirilen performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramının açıklanmasına ayrılmıştır.

Dördüncü bölümde, 1968 Türk Deprem Yönetmeliği ve bu yönetmelikle birlikte yürürlükte olan 1953 Betonarme Şartnamesi`nde öngörülen hesap esasları ve tasarım ilkeleri hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde parametrik sayısal incelemeler yer almaktadır. Bu bölümde, 1975 öncesinde tasarımı yapılan ve inşa edilen mevcut betonarme binaları temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modellerinin deprem etkileri altındaki kesit hasar bölgeleri, mevcut betonarme yapıların deprem performanslarının belirlenmesi için 2007 Türk Deprem Yönetmeliği`nde yer alan doğrusal olmayan yöntemden yararlanarak belirlenmektedir..

Altıncı bölüm bu çalışmada varılan sonuçları kapsamaktadır. Çalışmanın başlıca özellikleri, sayısal sonuçların değerlendirilmesi ve konunun olası genişleme alanları bu bölümde sunulmuştur.

Çalışmanın sayısal incelemelerinde elde edilen sonuçların başlıcaları aşağıda özetlenmiştir.

1. 1968 Türk Deprem Yönetmeliği`ne uygun olarak boyutlandırılan ve inşa edilen yapıların kesit hasar bölgeleri ve dolayısıyla deprem güvenlikleri yeterli düzeyde değildir. Bu durum, 1968 Türk Deprem Yönetmeliği`nde gözönüne alınan deprem etkilerinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği`ne oranla daha düşük düzeyde olmasından kaynaklanmaktadır.
2. 1968 Türk Deprem Yönetmeliği ile birlikte yürürlükte olan 1953 Betonarme Şartnamesinde öngörülen, kolonlarda taşıma gücüne göre eksenel kuvvet kontrolünün yapılmadığı durumlarda ve kiriş açıklıklarının daha küçük olduğu dolayısıyla düşey yüklerin tasarımı daha az kontrol ettiği durumlarda kolon hasar bölgeleri belirli ölçüde artış göstermektedir.
3. Uygulamada gerçekleştirilen beton dayanımlarının tasarımda öngörülenden daha düşük olması halinde kirişlerin hasar bölgelerinde önemli bir değişiklik olmadığı, buna karşılık kolonlarda daha ileri hasar bölgeleri oluştuğu gözlemlenmiştir.

A NUMERICAL STUDY ON SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS BUILT BEFORE 1975

SUMMARY

Turkey is located on active seismic zones and has experienced high level of damages and loss of lives during the latest earthquakes. All of which have indicated the importance of safe and realistic structural design. Following the negative consequences of recent earthquakes, seismic assesment and strengthening of existing buildings has become obligatory.

The recent developments in structural engineering, computer and material sciences have enabled engineers to better predict the behavior of structural systems subjected to earthquake excitation.

In this study, sample structural models which represent the existing reinforced concrete buildings built before 1975, are designed in accordance with the 1968 Turkish Earthquake Code regulations. In order to determine the effects different of design approaches, concrete strength and system geometry on seismic performance of structures, various alternatives of structural systems are selected. The nonlinear behaviour of these structural systems under the effects of earthquake are observed by the means of nonlinear theory. The performance points, the plastic deformations and resulting seismic performances of these systems are evaluated through the incremental static analysis (pushover analysis) which is imposed by 2007 Turkish Earthquake Code.

The master of science thesis consists of six chapters. The first chapter covers the subject, the scope and objectives of the study as well as the results of a literature survey.

In the second chapter, the non-linear behaviour of structural system and nolinear analysis methods are investigated. The internal force-deformation relationships of materially non-linear reinforced concrete sections, the basic principles of plastic hinge hypotesis and the load increments method based on this hypothesis are explained.

The third chapter is devoted to the seismic performance evaluation of existing structures, the explanation of the performance-based design and evaluation concept that is developed for the earthquake resistant design of structures and the analysis method which is used in this study.

The fourth chapter is devoted to reviewing of Turkish Earthquake Code (1968) and the Specification for Reinforced Concrete Structures (1953) which was effective with.

The fifth chapter is designated to the explanation of the numerical procedures for the determination of earthquake performances of existing buildings through the non-linear approach and to the numerical studies carried out in the scope of the thesis. The seismic performance of reinforced concrete buildings which were designed and constructed before 1975 is determined.

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

The basic conclusions of the numerical investigations are summarized below :

1. The seismic performance of the mid-rise structures, designed in accordance with the 1968 Turkish Earthquake Code, is not in an adequate level. This is a result of the earthquake effects imposed by 1968 Turkish Earthquake Code is less than the earthquake effects considered in 2007 Turkish Earthquake Code.
2. The ultimate load design check of columns under concentric axial force is imposed by the Specification for Reinforced Concrete Structures (1953) which was effective with Turkish Earthquake Code (1968). If this axial force check at column cross-sections is omitted and the span of beams are smaller, so that the vertical loads control the design of structural system rather than horizontal loads, the damage level of columns are increased.
3. When the concrete strengths achieved in practice is lower than the concrete strengths considered in design, although the deformation of beam cross-sections is not increased, an increase is observed on the column damage levels.

1 GİRİŞ

1.1 Konu

Depremler, tüm dünyada ve ülkemizde büyük can ve mal kaybına yol açan doğal afetler olarak sürekli gündemde kalmaktadır. Bu bağlamda, dünyada ve Türkiye’de hemen her yıl orta ve ağır hasar oluşturan çok sayıda deprem yaşanmaktadır. Örneğin, ülkemizde meydana gelen 1999 Marmara depreminde, yaklaşık 17000 can kaybı meydana gelmiş ve 100000 konutta ağır hasar oluşmuştur. Depremlerden kaynaklanan bu hasar ve kayıplar, deprem bölgelerinde yaşayan toplumlar için her bakımdan büyük bir potansiyel tehlike oluşturmaktadır. Bu arada dikkat çekici olan bir husus, ülkemizde meydana gelen depremlerin büyüklüklerine oranla çok daha fazla hasara, can ve mal kaybına neden olmaları ve bu büyük kayıpların kırsal alanlarda olduğu kadar yoğun yerleşim bölgelerinde de meydana gelmiş olmasıdır. Bu durum, deprem bölgelerinde inşa edilen yapıların büyük bir bölümünün yeterli deprem güvenliğine sahip olmadıklarını göstermektedir.

Depremde hasar gören binalar üzerinde gerçekleştirilen yoğun inceleme ve araştırmaların sonuçlarına dayanarak, yapıların deprem güvenliklerindeki yetersizliklerin başlıca nedenleri üç ana başlık altında toplanabilir:

- a) malzeme ve özellikle beton kalitesinin düşük olması,
- b) yapıların projelendirilmelerinin yetkin inşaat mühendisleri tarafından, temel mühendislik ilkelerine ve geçerli yönetmeliklere uygun olarak yapılmaması,
- c) yapım aşamasında projeye ve mühendislik uygulama kurallarına uyulmaması.

Yapıların dış yükler ve deprem etkileri altında yeterli güvenlikte ve aynı zamanda ekonomik olarak tasarımı, yapı sistemlerinin dış yükler etkisindeki doğrusal olmayan davranışlarının daha yakından izlenmesi ve gerçek performanslarının belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı değerlendirme yöntemleri ile yapıların deprem performanslarının ve güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenebilmesi, dolayısıyla daha ekonomik ve güvenli yapı tasarımının gerçekleştirilebilmesi için, doğrusal olmayan teoriyi esas alan hesap yöntemlerinden yararlanılmaktadır. En genel anlamda, bir yapı sisteminin öngörülen bir veya birden fazla performans seviyesi için tasarımı ve değerlendirmesi olarak tanımlanan performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yaklaşımı özellikle son yıllarda giderek önem kazanmaktadır. Yeterli deprem güvenliğine sahip olan bazı binalarda da, depremde meydana gelebilecek olası hasardan ve bina kullanımının kesintiye uğramasından kaynaklanan zararların önüne geçilmesi amacıyla, farklı sınır durumlara göre tasarımının gerekli olduğu görülmektedir, [1,2].

Gelecekte meydana gelebilecek olası depremler sonrasında geçmiştekine benzer olumsuz tabloların oluşmasının önlenmesi için, yeni inşa edilecek yapılarda tasarımın genel mühendislik ilkelerine ve geçerli yönetmeliklere uygun olarak yapılması, ayrıca başta beton olmak üzere malzeme kalitesine gerekli önemin verilmesi gereklidir. Bunun yanında, gelişmiş değerlendirme yöntemlerinden yararlanarak, mevcut yapıların deprem performans ve güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesi de aynı derecede önemlidir.

1.2 Konu ile İlgili Çalışmalar

Yapı sistemlerinin malzeme bakımından doğrusal olmayan kurama göre hesabını amaçlayan yöntemler üzerindeki çalışmalar uzun bir geçmişe dayanmaktadır. Bu amaçla geliştirilen analiz yöntemleri, temel varsayımları bakımından iki grupta incelenebilirler:

- a) doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin sistem üzerine sürekli olarak yayıldığına gözönüne alındığı çalışmalar ve yöntemler [3-7],
- b) plastik mafsallı hipotezine dayanan yöntemler [8-11].

Bu yöntemlerin geliştirilmesine paralel olarak, doğrusal olmayan kurama dayanan pratik ve etkin bilgisayar analiz programları da geliştirilmekte ve mühendislerin kullanımına sunulmaktadır, [12].

Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Bu kapsamda, Applied Technology Council (ATC) tarafından "Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings - ATC 40" projesi [13] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings" - FEMA 273, 356 yayınları [14,15] gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 taslak raporu [16] hazırlanmıştır. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır. Bu projelerden ve yayınlardan yararlanarak, deprem bölgelerinde yer alan mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve yeni inşa edilecek binaların performansa dayalı tasarımı mümkün olabilmektedir.

Diğer taraftan, Avrupa Birliği standartları arasında bulunan Eurocode 8.3 standardında da [17], mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesine yönelik araştırmaların sonuçlarını içeren yaklaşımlar yer almaktadır.

Mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi, son yıllarda ülkemizde meydana gelen depremler sonrasında giderek önem kazanmış ve bir gereksinim

haline gelmiştir. Nitekim, bu gereksinime cevap vermek amacıyla, yürürlükte olan 1998 Türk Deprem Yönetmeliğine, mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi çalışmaları yürütülmüş ve bu çalışmaların sonucunda 2007 Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY 2007) [18] hazırlanmıştır.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nin hazırlanması sürecinde ve sonrasında, ülkemizdeki mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesine yönelik çalışmalar bu yönetmelikte öngörülen değerlendirme yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Buna paralel olarak gerçekleştirilen kuramsal çalışmalarda, yeni deprem yönetmeliğinde öngörülen değerlendirme yöntemleri kendi aralarında ve diğer yönetmeliklerle karşılaştırılarak irdelenmiştir.

Bu çalışmalardan birinde, yeni deprem yönetmeliğinde öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri, ülkemizdeki orta yükseklikli mevcut betonarme binaları temsil eden bir grup yapı sisteminin kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi için uygulanmış ve her iki yöntemle de elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır,[19].

Diğer bir araştırmada, ülkemizdeki orta yükseklikli mevcut betonarme binaları temsil eden bir grup yapı sistemi üzerinde, Türk Deprem Yönetmeliğinde ve FEMA 356 ön standardında öngörülen doğrusal olmayan hasar değerlendirme yaklaşımları kullanılarak kesit hasar bölgeleri belirlenmiş ve her iki değerlendirme yaklaşımına ilişkin sonuçlar karşılaştırılmıştır,[20].

Mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi için 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*, çeşitli kat sayılarına sahip olan taşıyıcı sistem modellerine birlikte uygulanmış ve elde edilen sayısal sonuçların karşılaştırılması suretiyle, yapı yüksekliği, beton dayanımı ve sargı etkisi gibi parametrelere bağlı olarak, artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin yönetmelikte öngörülen uygulama sınırları irdelenmiştir, [21].

Beton dayanımı ve sargı donatısındaki değişimlerin kesit hasar bölgelerine ve dolayısıyla yapının deprem performansına etkisinin belirlenmesi amacıyla, ülkemizdeki orta yükseklikli mevcut betonarme binaların önemli bir bölümünü temsil etmek üzere seçilen ve 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre

boyutlandırılan bir taşıyıcı sistem modeli ile bu sistemin çeşitli alternatifleri üzerinde, 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan doğrusal olmayan hesap yönteminin uygulanması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi suretiyle sayısal incelemeler gerçekleştirilmiştir, [22].

Yeni deprem yönetmeliğinin çelik yapı sistemlerinin deprem performanslarının da belirlenmesi doğrultusunda geliştirilmesine katkı sağlamak üzere, bu yönetmelikte yer alan genel ilkeler, öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile FEMA 356 ön standardında çelik yapı sistemlerinin performans değerlendirmesine ilişkin olarak verilen esaslar çerçevesinde, iki farklı yaklaşım ve bu yaklaşımların esas alındığı sayısal incelemeler gerçekleştirilmiştir, [23].

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, 1968 Türk Deprem Yönetmeliği doğrultusunda boyutlandırılan, farklı geometri ve beton dayanımlarına sahip olan orta yükseklikli bir grup yapı sistemi üzerinde, mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi için 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan doğrusal olmayan hesap yönteminin parametrik olarak uygulanması ve elde edilen sayısal sonuçların değerlendirilmesi suretiyle

- a) ülkemizdeki mevcut bina stokunu geniş ölçüde temsil eden söz konusu yapı sistemlerinin deprem performanslarının değerlendirilmesine esas olan kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi,
- b) taşıyıcı sistem geometrisi ve beton dayanımındaki değişimlerin kesit hasar bölgelerine, dolayısıyla yapının deprem performansına etkisinin araştırılmasıdır.

Bu amaca yönelik olarak, ülkemizdeki orta yükseklikli mevcut betonarme binaların önemli bir bölümünü temsil etmek üzere seçilen ve 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'ne [24] göre boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelleri ile bu sistemlerin çeşitli alternatifleri üzerinde parametrik sayısal incelemeler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada izlenen yol aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- a) Yapı sistemlerinin malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışının incelenmesi, betonarme kesitlerde iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ve akma koşulları ile betonarme yapı sistemlerinin malzeme bakımından doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin gözden geçirilmesi.
- b) Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemleri ile, 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde mevcut yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesi için öngörülen yaklaşımların ve özellikle *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*'nin incelenmesi.
- c) 1953 Betonarme Şartnamesi ve 1968 Türk Deprem Yönetmeliği hakkında bilgi verilmesi.
- d) Sayısal incelemelere esas oluşturan taşıyıcı sistem modellerinin (TSM) belirlenmesi ve tanımlanması.
- e) Taşıyıcı sistem modellerinin 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'ne ve ilgili betonarme şartnamesine göre, iki alternatif tasarım yaklaşımı ile boyutlandırılması.
- f) Bu taşıyıcı sistem modelleri ile farklı beton dayanımlarına sahip olan alternatif sistemlerin, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği Bölüm 7'de yer alan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile kesit hasar bölgelerinin bulunması.
- g) Farklı taşıyıcı sistem geometrisi, tasarım yaklaşımı ve beton dayanımları için elde edilen sayısal sonuçların değerlendirilmesi ve karşılaştırılması.
- h) Çalışmada varılan sonuçların açıklanması.

2 YAPI SİSTEMLERİNİN MALZEME BAKIMINDAN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI

2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı

Yapı sistemleri, bazı özel durumların dışında, işletme yükleri altında genellikle doğrusal davranış gösterirler. İşletme yükleri altındaki davranışı doğrusal olmayan yapı sistemleri arasında narin yapılar ve elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel zayıflıklar ve stabilite yetersizlikleri içeren yapılar sayılabilir.

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

Buna karşılık, dış etkiler işletme yüklerini aşarak yapı sisteminin taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve yerdeğiştirmeler çok küçük varsayılmayacak değerler almaktadır.

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

Yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesini gözönüne almak, çok küçük olmayan yerdeğiş-tirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarının daha yakından izlenebilmesi ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler elde edilmesi mümkün olabilmektedir.

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

2.1.1 Çözümün sağlanması gereken koşullar

Bir yapı sisteminin dış etkiler altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, şekildeğiş-tirmeler ve yerdeğiş-tirmelerin çözüm olabilmeleri için aşağıdaki üç koşulu bir arada sağlamaları gerekmektedir, [3, 4].

1- Bünye denklemleri: Malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme-şekildeğiş-tirme bağıntılarına bünye denklemleri denilmektedir.

2- Denge koşulları: Sistemi oluşturan elemanların ve bu elemanların birleştiği düğüm noktalarının denge denklemlerinden oluşmaktadır.

3- Geometrik uygunluk koşulları: Elemanların ve düğüm noktalarının geometrik süreklilik denklemleri ile mesnetlerdeki geometrik sınır koşullardır.

2.1.2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri

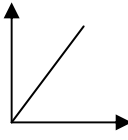
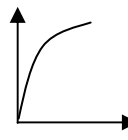
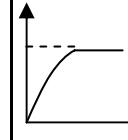
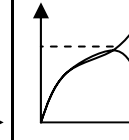
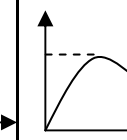
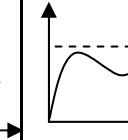
Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki temel nedenden kaynaklanmaktadır, [25]:

1- malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle iç kuvvet-şekildeğiş-tirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması,

2- geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri gözönüne alan teoriler Tablo 2.1’de topluca özetlenmiştir.

Tablo 2.1 : Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri

Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından (1)	Geometri Değişimleri Bakımından (2)		Her İki Bakımdan (1+2)	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekildeğiştirme Bağlılıları)	Doğrusal Elastik	Doğrusal Elastik Değil	Doğrusal Elastik	Doğrusal Elastik	Doğrusal Elastik Değil	Doğrusal Elastik Değil
Denge Denklemlerinde Yer Değiştirme	Küçük	Küçük	Küçük Değil	Küçük Değil	Küçük Değil	Küçük Değil
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yer Değiştirme	Küçük	Küçük	Küçük	Küçük Değil	Küçük	Küçük Değil
P-δ Bağlılıları						

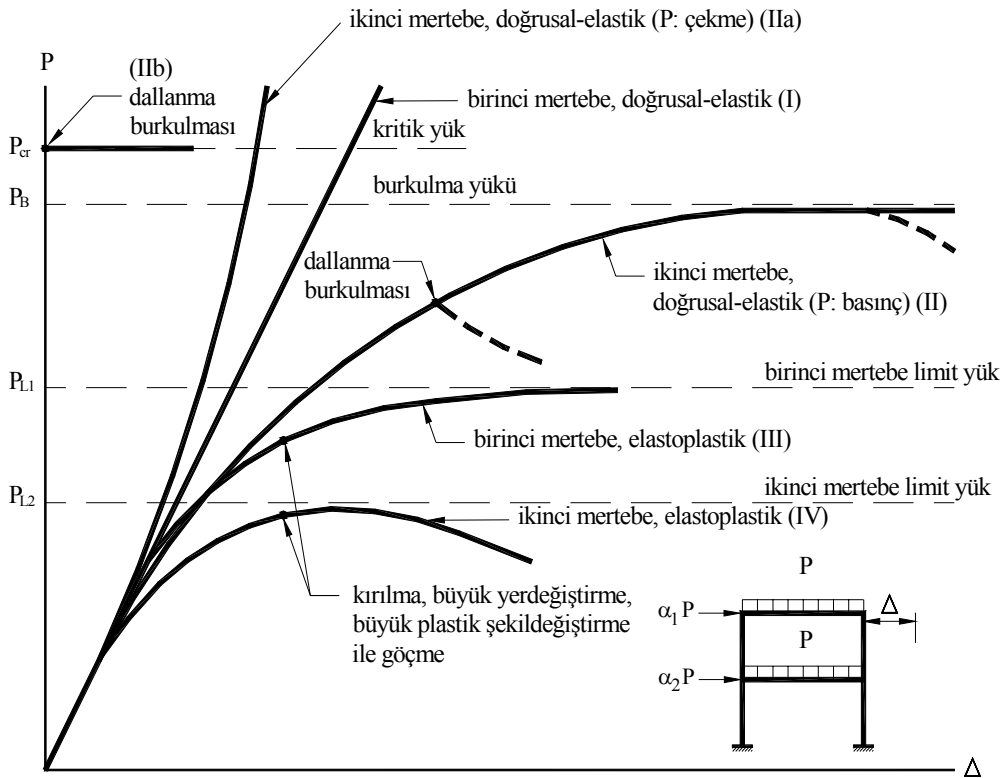
Denge denklemlerinde yerdeğiştirme küçük olmadığı sistemlerde, denge denklemleri şekildeğiştirilmiş eksen üzerinde yazılmaktadır.

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

2.1.3 Yapı sistemlerinin dış yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi – yerdeğiştirme ($P-\Delta$) bağıntıları Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmişlerdir.

Malzemenin sınırsız olarak doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı (I) doğrusu ile gösterilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle aksenal kuvvetlerin şekildeğiştirilmiş sistem üzerinde oluşturduğu ikinci mertebe etkilerinin hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise, aksenal kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre farklı sistem davranışları ile karşılaşılabilir.



Şekil 2.1 : Çeşitli Teorilere Göre Elde Edilen Yük Parametresi –Yerdeğiştirme Bağıntıları

Örneğin aksenal kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklerle daha hızla artan yerdeğiştirmeler karşı gelmektedir. Aralarındaki oran sabit kalacak şekilde değişen dış kuvvetlerin büyüklüğünü ifade eden yük parametresi artarak *doğrusal-elastik burkulma yükü* adı verilen bir P_B değerine eşit

olduğu zaman, yerdeğiştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkularak gcer. Bazı zel durumlarda, burkulmadan sonra artan yerdeğiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir. Örneğın asma sistemler gibi eksenel kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, şekilde (IIa) ile gösterilen $P-\Delta$ diyagramı pekleşen özellik gösterir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekildeğiştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir P_{cr} değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekildeki (IIb) diyagramından grldği gibi, yerdeğiştirmeler birden artarak sonsuza gider. Dallanma burkulmasına neden olan bu yüke *kritik yük* denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz daha büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekildeğiştiren sistemlerde de oluşabilir, (II eğrisi).

Doğrusal olmayan malzemedeki yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, taşıma kapasitesine karşı gelen toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranının büyük olduğu sünek malzemedeki yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsallık (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bu kesitlerin dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım plastik mafsallık (plastik kesit) hipotezi olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsallık hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci merteye teorisine göre hesabında (III eğrisi), oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma kapasitesine erişildiğini gösterir. Bu yük *birinci merteye limit yk* adını alır.

Doğrusallığı bozan her iki etkinin birlikte gözönüne alınması halinde, diğer bir deyişle yapı sisteminin ikinci merteye elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen $P-\Delta$ diyagramı şekilde (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte doğrusal-elastik sınırın aşılmasına kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra oluşan doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle yerdeğiştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsallık hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir P_{L2} sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle

rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer; yani $P-\Delta$ diyagramında artan yerdeğiştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu yük parametresine *ikinci mertebe limit yk* denilmektedir.

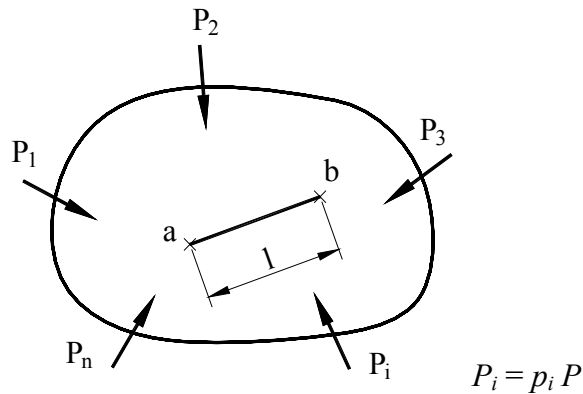
Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğiştirmeler, büyük plastik şekildeğiştirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan büyük çatlaklar ve gevrek kırılma yapının işletme dışı olmasına, diğer bir deyişle kullanılamaz duruma gelmesine neden olabilmektedir.

2.2 İç Kuvvet-şekildeğiştirme Bağıntıları ve Akma (Kırılma) Koşulları

Aşağıda, çeşitli yapı malzemelerinin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları ile düzlem çubuk elemanlarda ve özellikle betonarme çubuklarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları incelenecektir.

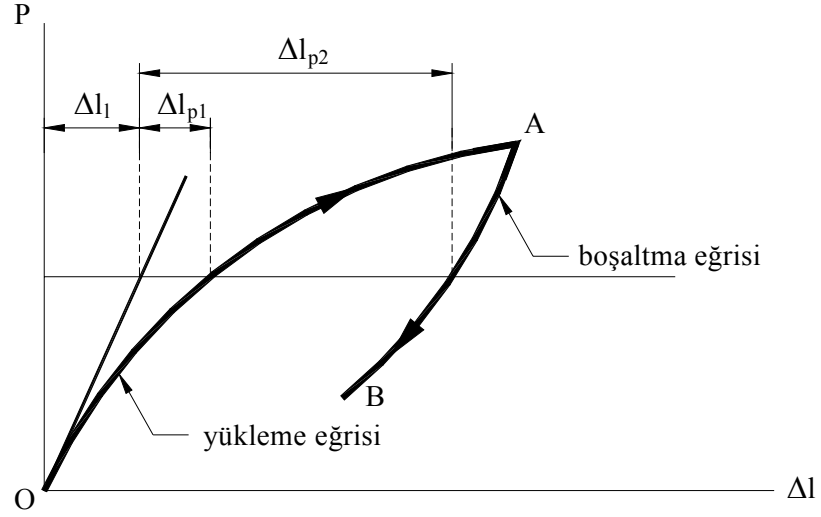
2.2.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri

şekil 2.2’de verilen katı cisim, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan P_i dış kuvvetlerinin etkisi altındadır. Bu dış kuvvetlerin büyüklüğünü tanımlayan P yk parametresi ordinata, bu kuvvetlerden dolayı katı cismin a ve b noktaları arasındaki l uzunluğunun Δl değişimi apsise taşınarak çizilen $P-\Delta l$ diyagramı şekil 2.3’te şematik olarak gösterilmiştir.



P : yk parametresi

şekil 2.2 : Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim



Şekil 2.3 : Şematik Yük Parametresi – Şekildeğiştirme Diyagramı

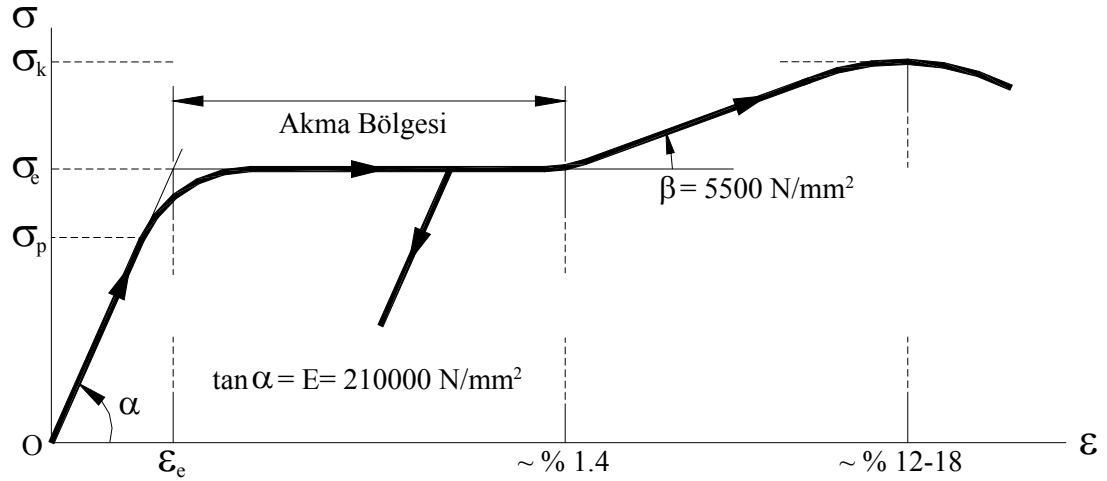
Bu diyagramın, artan yük parametresi için elde edilen OA bölümüne yüklemeye eğrisi, yüklerin kaldırılması durumuna karşı gelen AB bölümüne de boşaltma eğrisi denir. Eğrinin başlangıç teğeti ile ordinat eksenini arasındaki Δl_1 şekildeğiştirmeleri doğrusal şekildeğiştirmeler, başlangıç teğeti ile yüklemeye ve boşaltma eğrileri arasında kalan Δl_{p1} ve Δl_{p2} şekildeğiştirmeleri ise, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler olarak tanımlanır.

2.2.1.1 Yapı malzemelerinin gerilme–şekildeğiştirme bağıntıları

Betonarme yapı elemanlarını oluşturan beton çeliği ve betonun gerilme-şekildeğiştirme (σ - ϵ) diyagramları ve bu diyagramlara ait bazı sayısal değerler aşağıda verilmiştir.

a) Beton Çeliği

Beton çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 2.4'te görülmektedir.



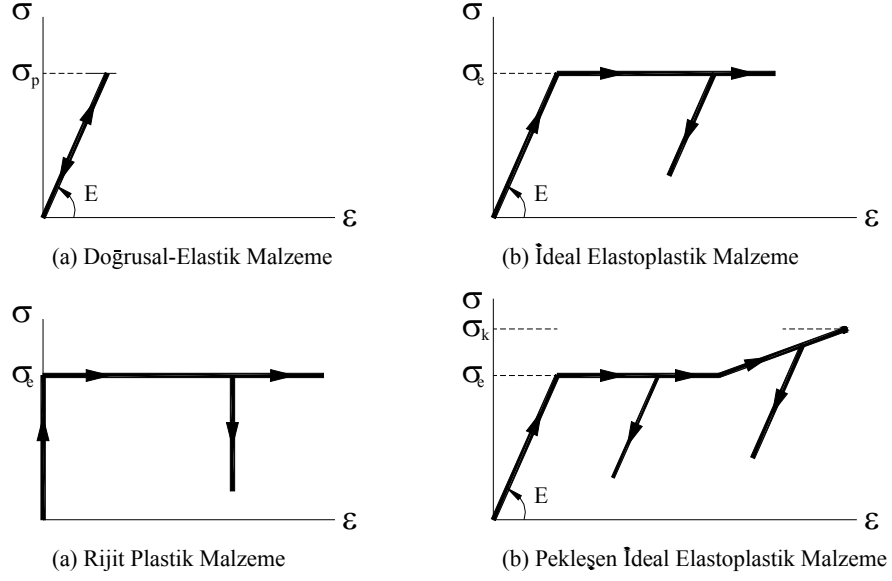
Şekil 2.4 : Beton Çeliğinde σ - ϵ Diyagramı

Bu diyagramı tanımlayan σ_k kopma dayanımı ve σ_e akma gerilmesinin **S220** ve **S420** beton çelikleri için aldığı değerler aşağıda verilmiştir:

$$\text{S220 beton çeliği : } \sigma_k = 275 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_e = 220 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{S420 beton çeliği : } \sigma_k = 550 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_e = 420 \text{ N/mm}^2$$

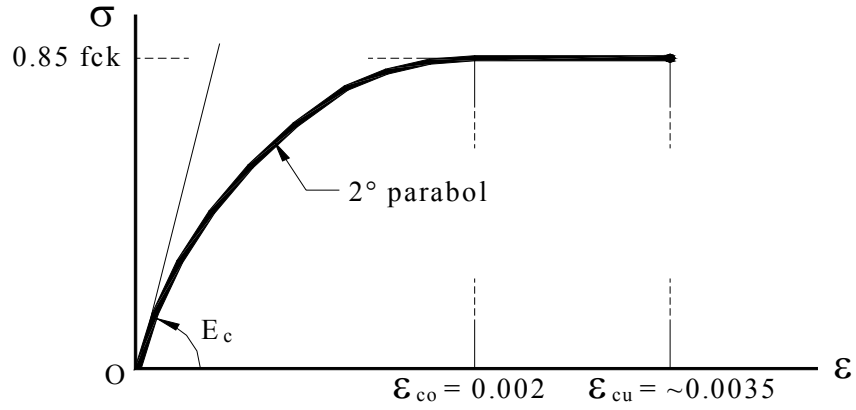
Betonarme yapı elemanlarının iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının elde edilmesinde, uygulanan analiz ve tasarım yaklaşımına bağlı olarak, beton çeliğinin σ - ϵ diyagramının bir bölümü veya tümü Şekil 2.5'teki modellerden birine uygun olarak idealleştirilebilir.



Şekil 2.5 : Beton Çeliğinin σ - ϵ Diyagramının İdealleştirilmesi

b) Beton

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



Şekil 2.6 : Betonarme Çubuğun Eğilmesinde Dış Basınç Lifindeki σ - ϵ Diyagramı

Şekil 2.6'da f_{ck} karakteristik basınç dayanımını, E_c ise

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

formülü ile hesaplanabilen beton elastisite modülünü göstermektedir.

Betonun ezilerek kırılmasına neden olan ϵ_{cu} birim kısalması sargısız betonda yaklaşık olarak 0.003-0.0035 iken, sargılı betonda sargı donatısı (etriye) miktarına bağlı olarak önemli oranda artabilmektedir.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği, başkaca bir seçim yapılmadığı durumlarda, sargılı veya sargısız beton modelleri için Mander beton modelinin kullanılmasını önermektedir, [18]. Mander sargılı beton modelinde, sargı etkisiyle artan beton basınç dayanımı ve ϵ_{cu} birim kısalması, malzeme dayanımlarının yanında elemanda enine ve boyuna donatı yerleşimi de gözönüne alınarak hesaplanır. Mander sargısız beton modelinde ise ϵ_{cu} birim kısalmasının değeri 0.004 olarak alınmaktadır. Mander modeli ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 2.3.4'te verilmiştir.

2.2.2 Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları

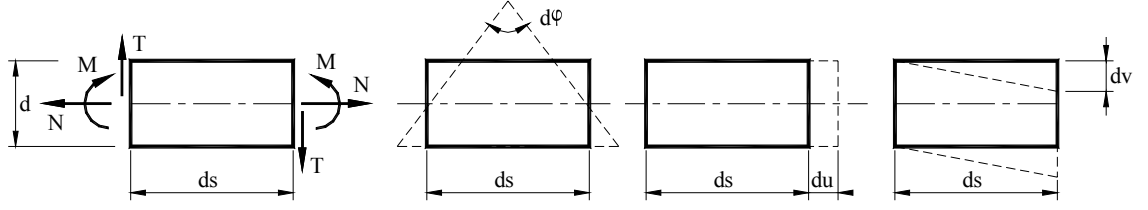
Düzlemi içindeki kuvvetlerin etkisi altında bulunan düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvetler (kesit zorları), M eğilme momenti, N normal kuvveti ve T kesme kuvvetidir. ds boyundaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre görelî (rölatif) yerdeğiştirmelerinin kesit zorları doğrultularındaki bileşenleri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

$$\chi = d\varphi / ds \quad : \quad \text{birim dönme (eğrilik)}$$

$$\epsilon = du / ds \quad : \quad \text{birim boy değişmesi}$$

$$\gamma = dv / ds \quad : \quad \text{birim kayma}$$

adını alırlar, Şekil 2.7.



Şekil 2.7 : Düzlem Çubuk Elemanda İç Kuvvetler ve Şekil Değişimleri

Düzlem çubuk sistemlerde iç kuvvetler ile şekil değişimleri arasındaki bağıntılar (bünye denklemleri), genel olarak

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

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

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

şeklinde. Burada F_1 , F_2 , F_3 malzeme karakteristiklerine ve kesit özelliklerine bağlı olarak belirlenen doğrusal olmayan fonksiyonları, t ve Δt kesite etkiyen düzgün ve farklı sıcaklık değişmelerini, α_t sıcaklık genişleme katsayısını göstermektedir.

İç kuvvetlerin artarak belirli bir sınır duruma erişmesi halinde, kırılma veya akma nedeniyle kesitin taşıma gücü sona erer. Kesitin daha büyük kesit zorlarını taşıyamayacağını ifade eden bu sınır durum kısaca akma veya kırılma olarak tanımlanır. Bu duruma karşı gelen iç kuvvetlere de kesitin taşıma gücü adı verilir. Akma (kırılma) durumunu kesit zorlarına veya şekil değişimlerine bağlı olarak ifade eden

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

veya

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

bağıntılarına akma (kırılma) koşulları denilmektedir.

Uygulamada genellikle öngörüldüğü gibi, kayma şekildeğiştirmeleri eğilme ve uzama şekildeğiştirmeleri yanında terk edilir ve kesme kuvvetinin birim dönme ve birim boy değişmesine etkileri ihmal edilirse, iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları (bünye denklemleri)

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

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

ve akma (kırılma) koşulu da

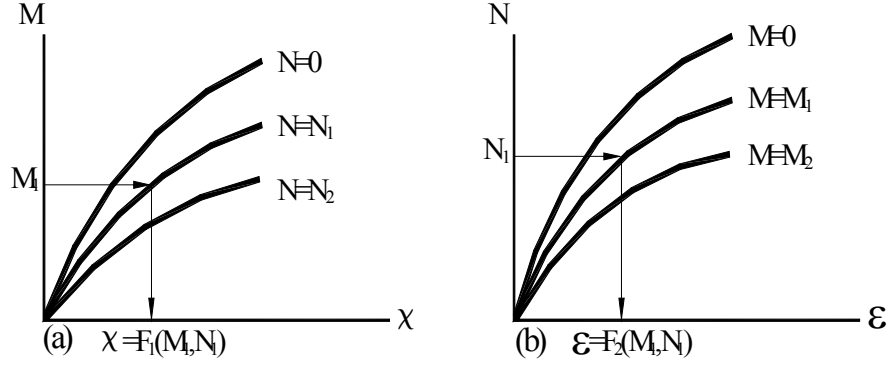
$$K_1(M, N) = 0 \quad (2.5a)$$

veya

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

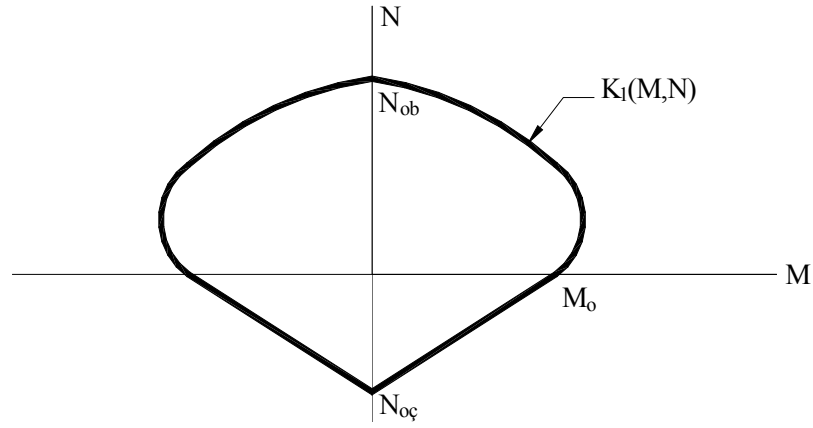
şeklini alır.

Bünye bağıntılarının belirlediği yüzeyler, pratikte genellikle eğri grupları halinde de gösterilebilirler, Şekil 2.8.



Şekil 2.8 : Bünye Denklemlerinin Eğri Grupları Halinde Gösterilimi

Akma koşulunu kesit zorları cinsinden ifade eden $K_1(M, N) = 0$ denkleminin belirlediği kapalı eğri, akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramı adını almaktadır, Şekil 2.9.



Şekil 2.9 : Akma Eğrisi (Karşılıklı Etki Diyagramı)

2.2.2.1 Betonarme çubuklar

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

a) Varsayımlar ve Esaslar

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

- 1- Dik kesit şekil değiştirdikten sonra da düzlem kalmaktadır.
- 2- Beton ve donatı arasında tam aderans bulunmaktadır.
- 3- Çatlamış betonun çekme dayanımı terk edilmektedir.
- 4- Betonun σ - ϵ diyagramı için Şekil 2.6'da verilen parabol + dikdörtgen modeli veya benzeri bir beton modeli, örneğin Mander modeli esas alınmaktadır.
- 5- Beton çeliğinin σ - ϵ diyagramı için ideal elastoplastik malzeme varsayımı yapılmaktadır, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5 (b).

b) Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisindeki Çubuklar

b1) Eğilme Momenti – Birim Dönme (M – χ) Bağıntısı

Sabit normal kuvvet ($N=N_0$) altında, artan eğilme momenti ile zorlanan betonarme bir kesitte M eğilme momenti ile χ birim dönmesi (eğriliği) arasındaki bağıntı üç bölgeden oluşmaktadır, Şekil 2.10. Bu bölgeleri sınırlayan L_0 , L_1 ve L_2 noktalarına karşı gelen durumlar aşağıda açıklanmıştır, [26].

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

$$f'_{ctk} = 0,70\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2.7)$$

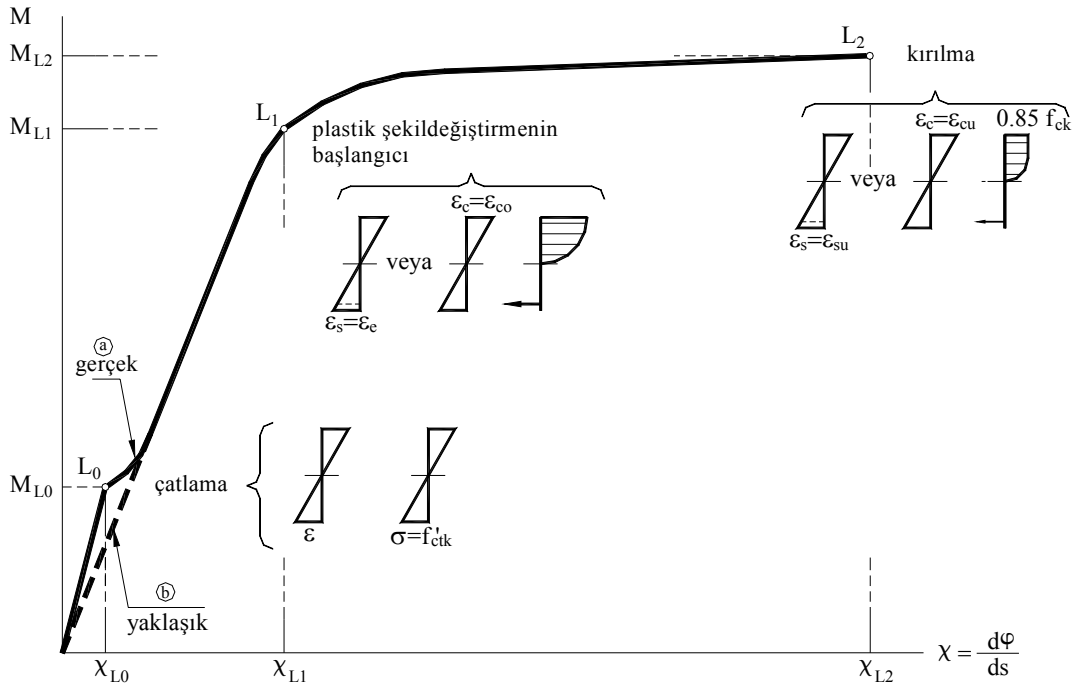
bağıntısı ile hesaplanabilir.

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

L_1 : Betonun dış basınç lifinde veya çekme donatısında plastik şekildeğişmelerin başlamasına karşı gelen durumdur. Plastik şekildeğişmelerin betonda

$\varepsilon_{co} = 0,002$ birim kısılmasında, çelikte ise ε_e akma sınırında başladığı gözönünde tutulmaktadır. M_{L1} eğilme momentinin hesabında betonun çekme dayanımı gözönüne alınmaz.

L₂: Eğilme momenti artarak betonarme kesitin taşıma gücü adı verilen $M_{L2} = M_p$ değerine eşit olunca basınç bölgesindeki beton ezilerek kırılır veya çekme donatısı kopar. Betonun ezilerek kırılması birim kısılmanın ε_{cu} sınır değerine erişmesi suretiyle meydana gelir. Sargısız betonda kısa süreli yükler için $\varepsilon_{cu} = 0.003 - 0,0035$ olan bu sınır değer sargı donatısına bağlı olarak artmaktadır. Betonarme kesitlerin boyutlandırılmasında, çekme donatısının kopması yerine, genellikle çelikteki birim uzamanın $\varepsilon_{su} = 0,01$ değeri ile sınırlandırılması esas alınır.



Şekil 2.10 : Betonarme Kesitlerde (M - χ) Diyagramı

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

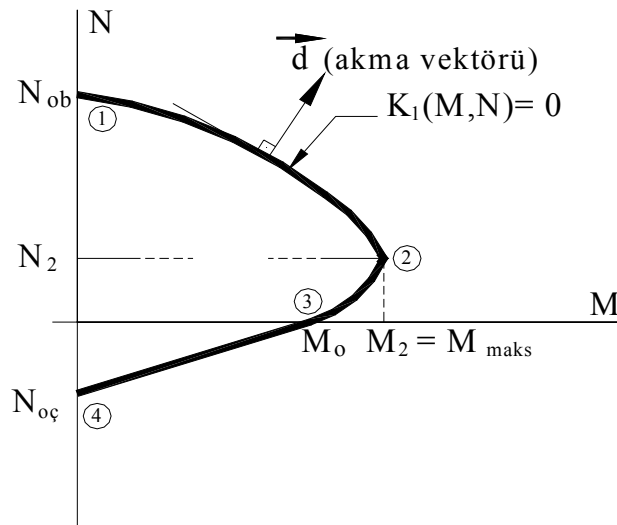
Betonarme kesitlerin taşıma gücü esasına göre boyutlandırılmasında, betonarme betonu ve beton çeliğinin karakteristik dayanımları malzeme güvenlik katsayılarına bölünerek küçültülür. Buna karşılık, betonarme sistemlerin dış yükler altındaki

davranışlarının incelenmesinde, örneğin kapasite diyagramlarının elde edilmesinde, malzeme güvenlik katsayılarının kullanılmasına ve çelikteki birim uzamanın $\epsilon_{su} = 0.01$ değeri ile sınırlandırılmasına gerek olmamaktadır.

b2) Akma Koşulu (Karşılıklı Etki Diyagramı)

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki betonarme bir kesitte taşıma gücünü ifade eden karşılıklı etki diyagramı Şekil 2.11’de şematik olarak gösterilmiştir.

Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin, plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı varsayılan betonarme sistemlerde, iç kuvvet durumunun bu eğri üzerinde bulunması bir plastik kesitin oluştuğunu ve bu kesitte sonlu plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiğini (yani kesitin aktığı) ifade etmektedir. Bu nedenle, karşılıklı etki diyagramına akma eğrisi de denilmektedir. Denklem 2.5a’daki bağıntı ile tanımlanan akma eğrisi N normal kuvvetinin çeşitli değerleri için hesaplanan $M_{L2} = M_p$ eğilme momentleri yardımı ile elde edilebilir.



Şekil 2.11: Betonarme Kesitlerde Karşılıklı Etki Diyagramı (Akma Eğrisi)

Akma eğrisi dört karakteristik noktası ile tanımlanmaktadır. Akma eğrisinin idealleştirilmesinde de yararlanılabilecek olan bu noktalar aksenal basınç, basit eğilme ve aksenal çekme hallerine karşı gelen (1), (3) ve (4) noktaları ile kesitin en büyük eğilme momenti taşıma gücüne sahip olduğu dengeli duruma karşı gelen (2) noktasıdır.

Bileşik eğilme etkisindeki betonarme kesitlerde, plastik şekildeğiştirme bileşenlerini içeren akma vektörünün bazı koşullar altında ve yaklaşık olarak akma eğrisine dik olduğu bilinmektedir, [27].

2.3 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Betonarme Sistemlerin Hesabı

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

2.3.1 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali

Malzeme bakımından doğrusal olmayan yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde sürekli olarak yayıldığı gözönüne alınması halinde, yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntılarının (kapasite eğrilerinin) belirlenmesi ve göçme yüklerinin hesabı için, ardışık yaklaşım yöntemlerinden veya yük artımı yöntemlerinden yararlanılabilir, [7, 25].

2.3.2 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığının varsayılması hali

Malzeme bakımından doğrusal olmayan ve yeterli düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsal (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, sistemin diğer bölümlerinin ise doğrusal-elastik davrandığı varsayımı yapılabilir, [25].

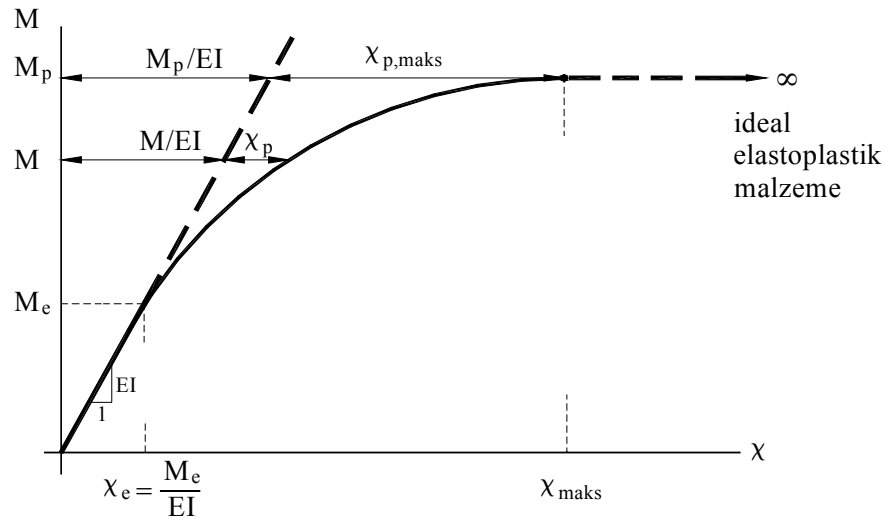
2.3.2.1 Plastik mafsal hipotezi

Toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise

sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, *plastik mafsal (plastik kesit) hipotezi* adı verilir.

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

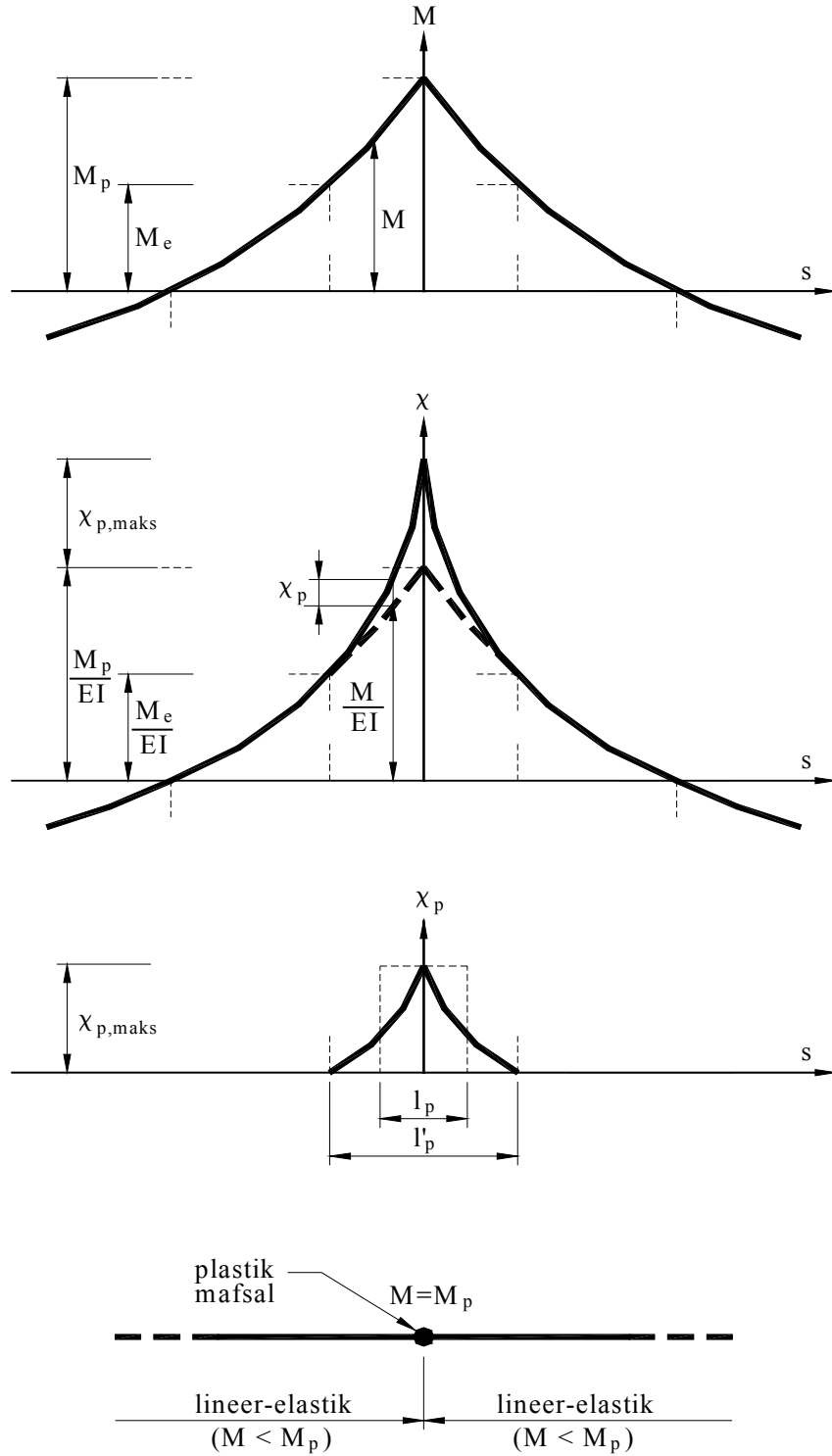
Doğrusal olmayan malzemeden yapılan ve bir kesitindeki gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 2.12’de verilen bir düzlem çubuk elemanın bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekildeğişimleri ve doğrusal olmayan şekildeğişimler Şekil 2.13’te gösterilmişlerdir.



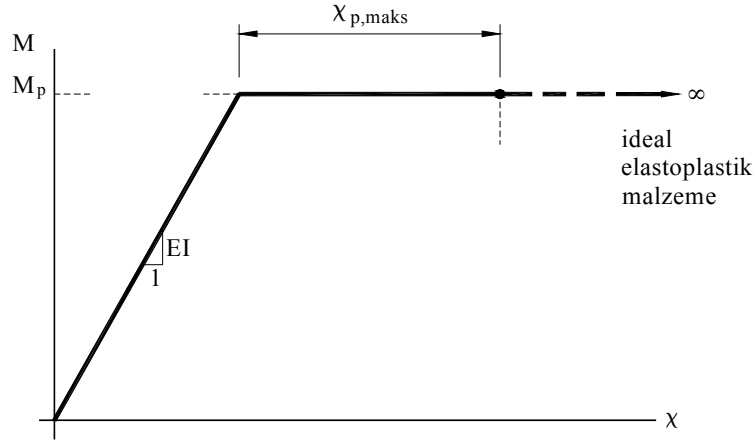
Şekil 2.12 : Eğilme Momenti - Eğrilik Diyagramı

Çelik kesitlerin ve yeterli süneklığe sahip olan betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik bağıntıları incelendiğinde, bu bağıntıların esas olarak iki farklı bölgeden oluştuğu gözlenir. Birinci bölgede, eğilme momentinin küçük değerleri için eğilme momenti-eğrilik ilişkisi yaklaşık olarak doğrusal-elastik varsayılabilir. Betonarme kesitlerde, bu bölgede beton ve beton çeliği doğrusal davranış bölgesinde kaldığı için, eğilme momenti-eğrilik bağıntısı da benzer özellik gösterir. Ancak beton ve çelik gerilmelerinin artmasına paralel olarak, doğrusal olmayan gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin kesitin davranışında etkili olmaya başlaması, eğilme momenti-eğrilik bağıntısının da doğrusal davranıştan ayrılmasına neden olur. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde eğrinin eğimi giderek azalır. Bu bölgede elastik ötesi, elastoplastik davranış etkilidir. Kesite etkiyen eğilme

momentinde çok küçük bir artım meydana gelirken, eğrilik belirgin bir şekilde artar ve eğriliğin bir sınır değere erişmesi ile kesitte güç tükenmesi meydana gelir. Plastik mafsalsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge ideal olarak, biri yatay olan iki doğru parçası ile ifade edilir, Şekil 2.14.



Şekil 2.13 : Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmeler



Şekil 2.14 : İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı

İdealleştirilmiş bünye bağıntısının her iki bölümü birbirinden kesin bir nokta ile ayrılmaz. Ancak, çekme donatısının akmaya başlaması veya betondaki birim kısalmanın ϵ_{co} sınır değerine erişmesi bu iki bölgeyi ayıran nokta olarak varsayılabilir ve bu duruma karşı gelen eğrilik χ_y olarak ifade edilir.

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

$$\mu = \chi_u / \chi_y \quad (2.8)$$

şeklinde tanımlanır.

Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısının iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir. Bu idealleştirme, Denklem (2.9) ve (2.10)'da verilen bağıntılarla temsil edilmektedir.

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

$$M = M_p \text{ için } \chi \rightarrow \chi_u \quad (2.10)$$

Şekil 2.14'ten görüldüğü gibi, doğrusal olmayan şekildeğştirmeler çubuk üzerindeki l_p uzunluğundaki bir bölgede yoğunlaşmaktadır. Plastik mafsal hipotezinde doğrusal olmayan (plastik) şekildeğştirmelerin çubuk elemanı üzerinde l_p uzunluğundaki bir

bölgede sürekli olarak düzgün yayıldığı varsayılmaktadır. Buna göre plastikleşen bölgedeki toplam plastik dönme

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

şeklinde hesaplanabilir ve *plastik mafsal dönmesi* olarak isimlendirilir.

Plastik mafsal dönmesi yaklaşık olarak

$$\varphi_p = l_p \chi_p \quad (2.12)$$

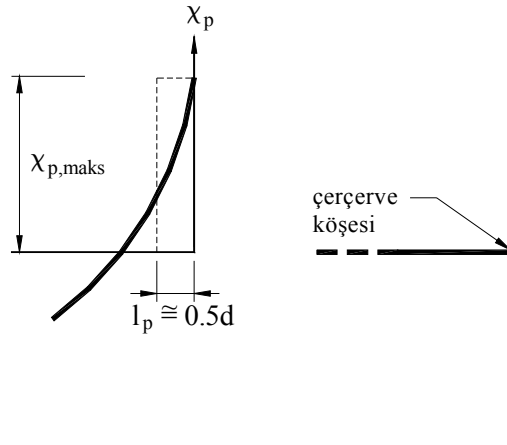
$$l_p \cong 0.5d \quad (2.13)$$

bağıntıları ile hesaplanabilir. Burada

d : enkesit yüksekliğini

l_p : plastik mafsal boyunu

göstermektedir, Şekil 2.15.



Şekil 2.15 : Plastik Mafsal Boyu

Yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan plastik mafsal hipotezinin esasları aşağıda özetlenmiştir.

1. Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsall oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti ($M=M_p$) sabit olarak kalır ve kesit serbestçe döner.
2. Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal-elastik olarak davranır.
3. Düzlem sistemlerde, kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment (M_p') değeri kullanılır.

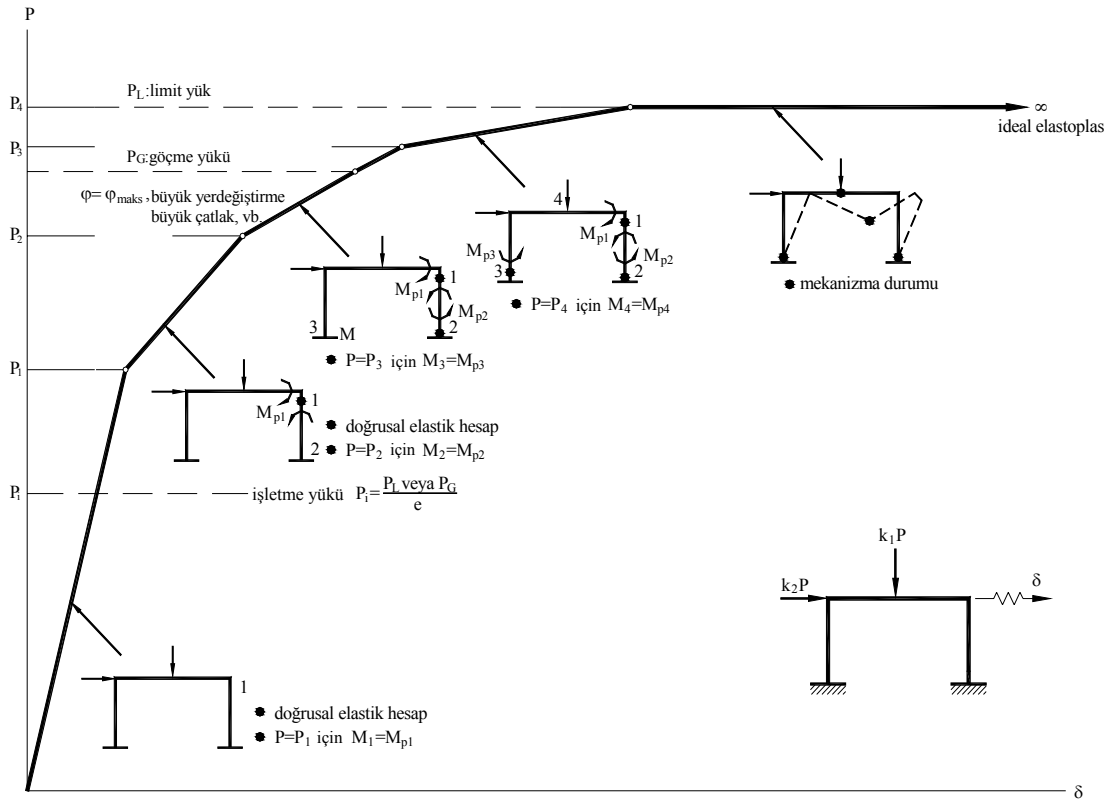
2.3.2.2 Yük artımı yöntemi

Plastik mafsall hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan dış yükler altındaki davranışı Şekil 2.16'da şematik olarak gösterilmiştir.

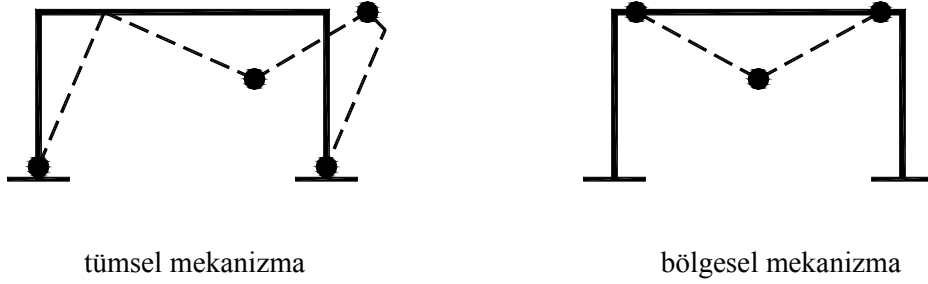
Bu davranışı izleyerek sistem analizinin gerçekleştirildiği yük artımı yönteminde, her plastik mafsallın oluşumundan sonra, o noktaya bir adi mafsall koymak ve M_p plastik momentini dış yük olarak etkitmek suretiyle elde edilen sistem doğrusal-elastik teoriye göre hesaplanır.

Belirli sayıda plastik mafsallın oluşumundan sonra, sistemin tümü veya bir bölümü mekanizma durumuna ulaşır, diğer bir deyişle, sistem stabilitesini yitirerek yük taşıyamaz hale gelir, Şekil 2.17. Bu duruma karşı gelen P_L yük parametresi limit yük (birinci mertebe limit yük) olarak tanımlanır. Bu tanıma göre, birinci mertebe limit yük sistemin tümünü veya bir bölümünü mekanizma durumuna getiren yüküdür.

Bazı hallerde, limit yükten önce plastik mafsallardaki dönmelerin yapı sistemi için öngörülen performans düzeyine karşı gelen sınır değerleri aşması, büyük yerdeğiştirmelerin oluşması veya betonarme sistemlerde büyük çatlaklar ve gevrek kırılma meydana gelmesi nedeniyle sistem kullanım dışı kalabilir. Bu duruma karşı gelen P_G yük parametresi *göçme yükü* olarak tanımlanır.



Şekil 2.16 : Plastik Mafsallı Hipotezinin Geçerli Olduğu Bir Yapı Sisteminin Artan Yükler Altındaki Davranışı



Şekil 2.17 : Tümşel ve Bölgesel Mekanizma Durumları

Bir yapı sisteminin artan yükler altındaki hesabı iki şekilde yapılabilir.

- 1- Sistem, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan düşey ve yatay yükler altında hesaplanarak bu yükler için ortak bir geçme güvenliği belirlenir.
- 2- Düşey yükler, bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etkilendikten sonra, artan yatay yükler için hesap yapılır ve yatay yüklerle

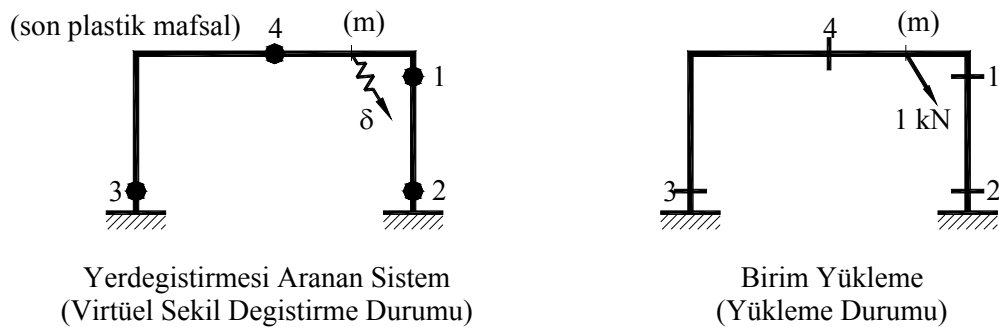
ait limit yük (veya göçme yükü) parametresi bulunur. Böylece, düşey yükler için öngörülen bir güvenlik altında, sistemin yatay yükler altındaki davranışı izlenir.

Büyük oranda yapı ağırlığından oluşan düşey yüklerin daha belirgin olduğu, buna karşılık rüzgar ve deprem etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olduğu gözönünde tutulduğunda, yapı sisteminin dış yükler altındaki gerçek davranışının izlenebilmesi açısından, ikinci yolun daha gerçekçi sonuç vereceği görülmektedir. Diğer taraftan, doğrusal olmayan yöntemlerle binaların deprem performansının belirlenmesinde uygulanan statik itme analizi ve kapasite eğrisinin elde edilmesi de artan yatay yükler altında gerçekleştirilmektedir.

Plastik mafsallarda eğilme momentinin yanında normal kuvvetin de bulunması halinde, akma koşulunu sağlayacak şekilde belirlenen indirgenmiş eğilme momenti (M_p') esas alınarak hesap yapılması gerekmektedir. Plastik mafsallardaki normal kuvvetler başlangıçta bilinmediğinden, bir ardışık yaklaşım yolu uygulanması gerekebilir. Bileşik iç kuvvetler etkisindeki sistemlerin, ardışık yaklaşıma gerek kalmaksızın, yük artımı yöntemi ile doğrudan doğruya hesabı için geliştirilen bir yöntem kaynak [10], [11] ve [28]'de verilmiştir.

Yerdeğiştirmelerin ve Plastik Mafsal Dönmelerinin Hesabı

Üzerinde plastik mafsallar bulunan bir sistemde, limit yüke karşı gelen son plastik mafsalın oluştuğu fakat dönmenin başlamadığı andaki yerdeğiştirmeler virtüel iş teoremi ile hesaplanabilir, Şekil 2.18.



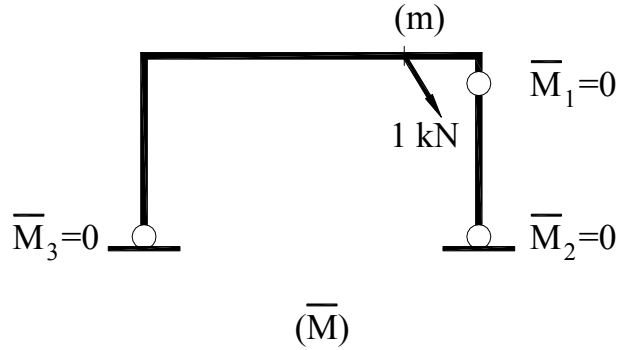
Kesit Zorlari : M , N , T
 Plastik Mafsal Dönmeleri : $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4 = 0$

Şekil 2.18 : Yerdeğiştirmelerin Hesabı

Yerdeğiştirmesi aranan sistem virtüel şekildeğiştirme durumu, yerdeğiştirmesi aranan noktaya aranan yerdeğiştirme doğrultusunda yapılan birim yükleme, yükleme durumu olarak alınır ve virtüel iş teoremi uygulanırsa

$$\sum 1.\delta = \int \bar{M} \frac{M}{EI} ds + \int \bar{N} \frac{N}{EF} ds + \int \bar{T} \frac{T}{GF'} + \sum M_i \varphi_i \quad (2.14)$$

elde edilir. Kısaltma teoremi uyarınca, son plastik mafsallın dışındaki plastik mafsalların bulunduğu noktalara adi mafsallar konularak elde edilen sisteme birim yükleme yapılırsa (şekil 2.19)



şekil 2.19 : Birim Yüklemede Kısaltma Teoreminin Uygulanması

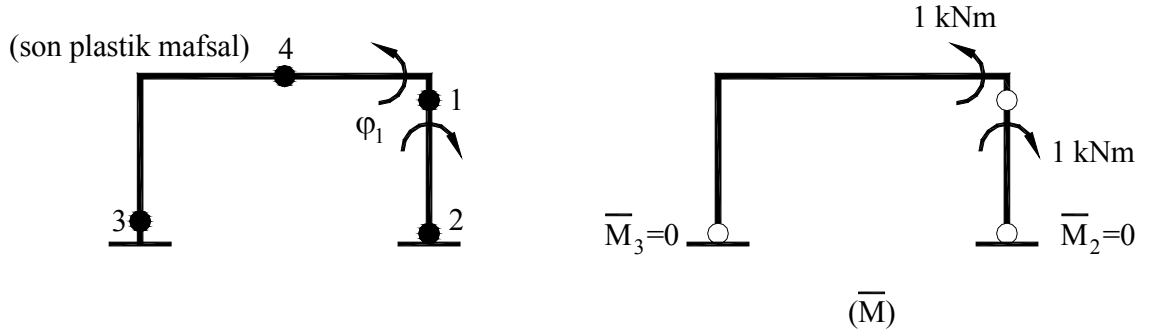
$$\bar{M}_1 \varphi_1 = \bar{M}_2 \varphi_2 = \bar{M}_3 \varphi_3 = \dots = 0 \quad (2.15)$$

olacağından, δ yerdeğiştirmesi

$$\delta = \int (\bar{M}) \frac{M}{EI} ds + \int (\bar{N}) \frac{N}{EF} ds + \int (\bar{T}) \frac{T}{GF'} ds \quad (2.16)$$

şeklinde, plastik mafsalların dönmelerinden bağımsız olarak hesaplanabilir.

Plastik mafsalların dönmeleri de benzer şekilde hesaplanabilir. Bunun için, plastik mafsallara birim moment çifti uygulanır, şekil 2.20.

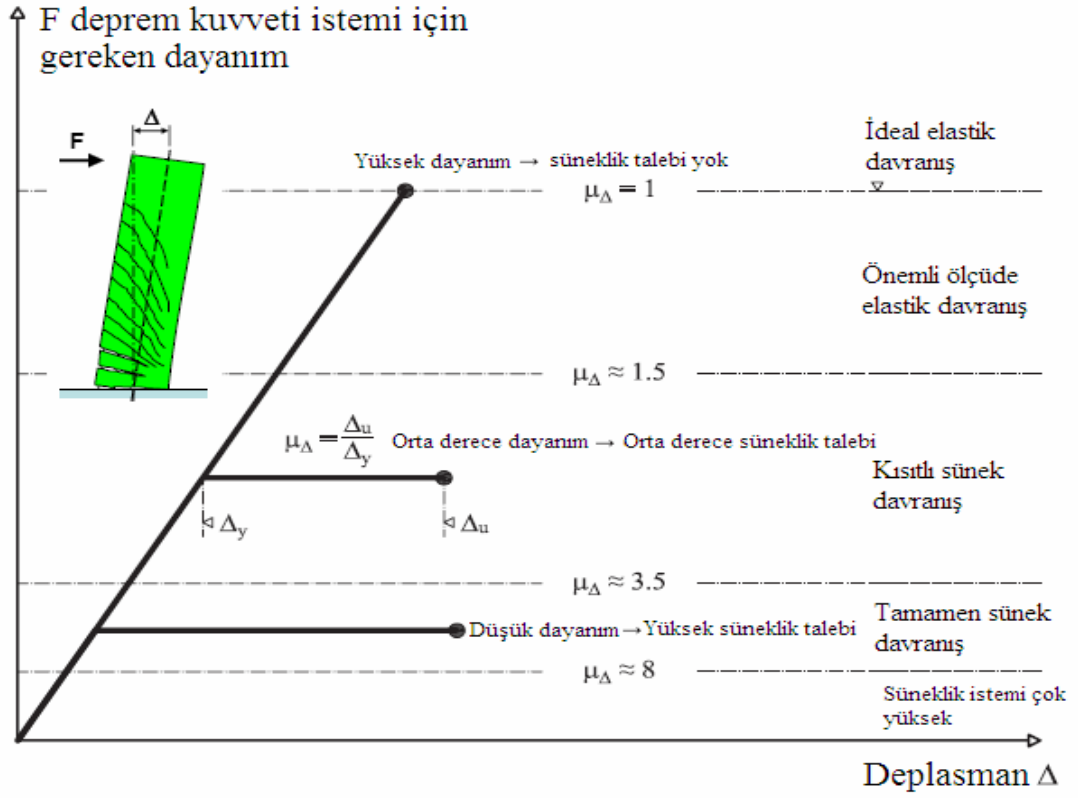


Şekil 2.20 : Plastik Mafsalların Dönmelerinin Bulunması

Limit yükten önceki aşamalara ait yerdeğiştirmeler de benzer şekilde hesaplanabilir. Ancak bu durumda, plastik mafsallar konulmak suretiyle elde edilen sistem hiperstatik olacağından, ayrıca kesimler yapılarak izostatik hale getirilir.

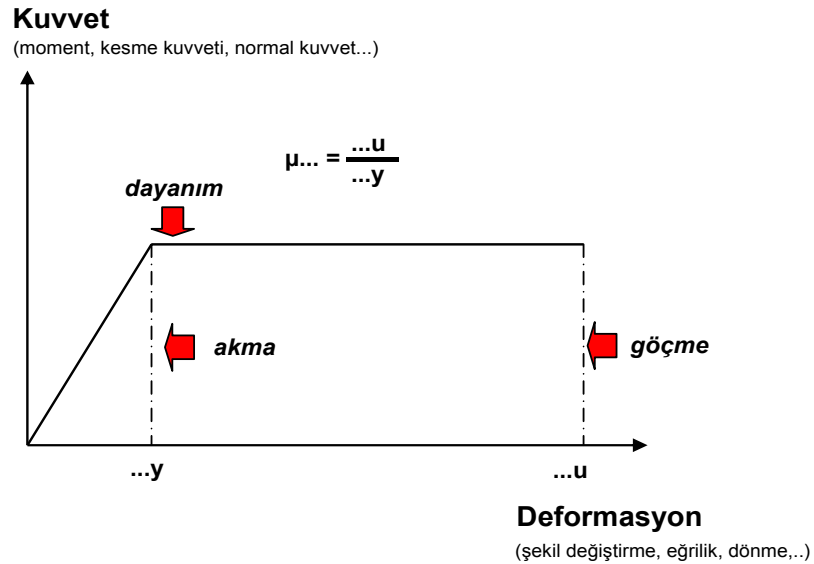
2.3.3 Yapı sistemlerinde süneklik

Yapıların şiddetli depremler altında dahi doğrusal-elastik olarak davranacak şekilde tasarlanması genel olarak ekonomik bir yaklaşım değildir, [21]. Bu nedenle tasarım, genellikle yapının taşıma kapasitesi elastik deprem isteminin altında kalacak şekilde yapılır. Depremün yapıya uyguladığı enerjinin yapı tarafından, göçmeye neden olmayacak biçimde tüketilmesi gerekir. Deprem, tasarımı elastik deprem kuvvetleri azaltılarak yapılan binadan, elastik sınıra karşı gelen gerilmeler aşıldıktan sonra, doğrusal olmayan yerdeğiştirme talep eder. Tasarımda yapı dayanımının azaltılması depremin yerdeğiştirme istemini artırır, Şekil 2.21. Yapılar şiddetli depremler nedeniyle maruz kalacakları yerdeğiştirme istemlerini, dayanımlarında önemli bir azalma meydana gelmeden karşılamalıdır. Bu davranış ancak sünek yapı tasarımı ile sağlanabilir.



Şekil 2.21 : Dayanım ve Süneklik Arasındaki İlişki [29]

Süneklik, yapı elemanlarının veya bir kesitin dayanımında önemli bir azalma olmaksızın, yapı sisteminin büyük şekildeğiştirme yapabilme özelliğidir.



Şekil 2.22 : Sünekliğin Genel Tanımı

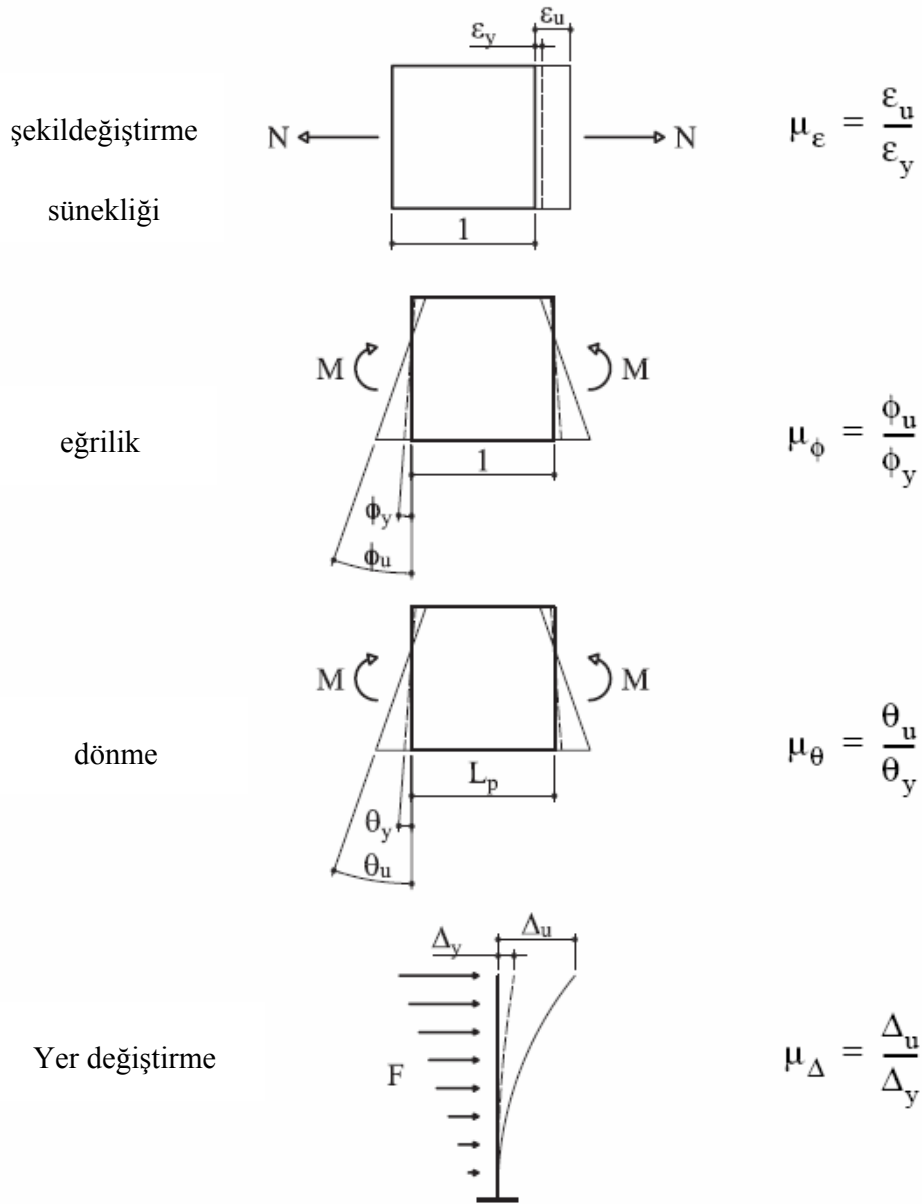
Süneklik sayısal olarak μ *süneklik katsayısı* ile tanımlanabilir. Şekil 2.22'den izlenebileceği gibi, en genel anlamda süneklik katsayısı, iç kuvvet (moment, kesme kuvveti, normal kuvvet...) etkileri altındaki yapının, yapı elemanının veya kesitin göçme şekildeğiştirmesinin (eğrilik, dönme, yerdeğiştirme) akma şekildeğiştirmesine oranıdır.

Şiddetli deprem etkisi altında, yapı sisteminin eleman enkesitlerindeki gerilmeler malzemenin akma dayanımına ulaştınca, yapıda plastik kesitler oluşur. Yapıdaki plastik şekildeğiştirmeler arttıkça yapı rijitliği azalır. Rijitliği azalan yapının maruz kaldığı deprem enerjisini tüketmesi, kesitin dayanımında önemli bir azalma olmaksızın, şekildeğiştirme kapasitesinin yüksek olması ile sağlanabilir. Yeterli sünekliğe sahip olmayan plastik kesitler, şekildeğiştirme kapasitelerine erişerek binada göçme mekanizmaları oluşturabilirler. Bu nedenle süneklik, yapıda deprem enerjisinin tüketilmesi ve deprem etkisi altında binanın göçme sınırından uzakta kalabilmesi açısından çok önemlidir.

Sünekliğin;

- şekildeğiştirme sünekliği
- eğrilik sünekliği
- dönme sünekliği
- yerdeğiştirme sünekliği

gibi, tanımları Şekil 2.23'te yapılan farklı türleri bulunmaktadır, [29].



Şekil 2.23 : Çeşitli Süneklik Tanımları

Sonuç olarak, sünekliğin önemi şu ana başlıklar altında sıralanabilir.

- Deprem gibi dinamik etkilerle yapıya aktarılan enerjinin yüksek şekildeğiştirme kapasitesi ile söndürülmesini sağlar.
- Yapı tasarımının azaltılmış elastik deprem kuvvetleri altında yapılmasına olanak tanır.

- Yapıda gevrek davranıştan (ani göçme) farklı olarak, göçmenin işaretlerini verir.
- Yapıda kuvvetlerin yeniden dağılımını sağlar.

2.3.4 Mander modeli

Yapıların performansını belirlemek için kullanılan analiz modellerinde gerçekçi eğilme momenti–eğrilik ilişkileri tanımlamak için, sargı etkisini de gözönüne alan beton modelleri kullanılmalıdır. Yüksek aksenal kuvvet etkisindeki bir kesitin tarafsız eksen derinliği büyük olduğundan, kolonların eğilme kapasiteleri betonun basınç altındaki gerilme dağılımına daha çok bağlıdır. Kullanılacak modelde kabuk betonu için sargısız, çekirdek betonu için sargılı model esas alınır. Mander 1988 yılında beton için sargı etkisini de gözönüne alan bir gerilme–şekildeğiştirme modeli önermiştir, Şekil2.24, [30].

Mander modelinde beton basınç gerilmesi

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r - 1 + x^r} \quad (2.17)$$

bağıntısı ile verilir. Denklemden f_{cc} sargılı beton dayanımını, x ise

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.18)$$

şeklinde tanımlanan bir oranı göstermektedir. Burada ε_c beton basınç birim şekildeğiştirmesi, ε_{cc} ise, λ_c sargılı beton dayanımı ile sargısız beton dayanımı arasındaki ilişkiyi kuran bir katsayı ve $\varepsilon_{co}=0.002$ olmak üzere

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad (2.19)$$

ile tanımlanan birim şekildeğiştirmedir.

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (2.20)$$

ile tanımlanan r katsayısı ifadesinde

$$E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} \quad (MPa) \quad (2.21)$$

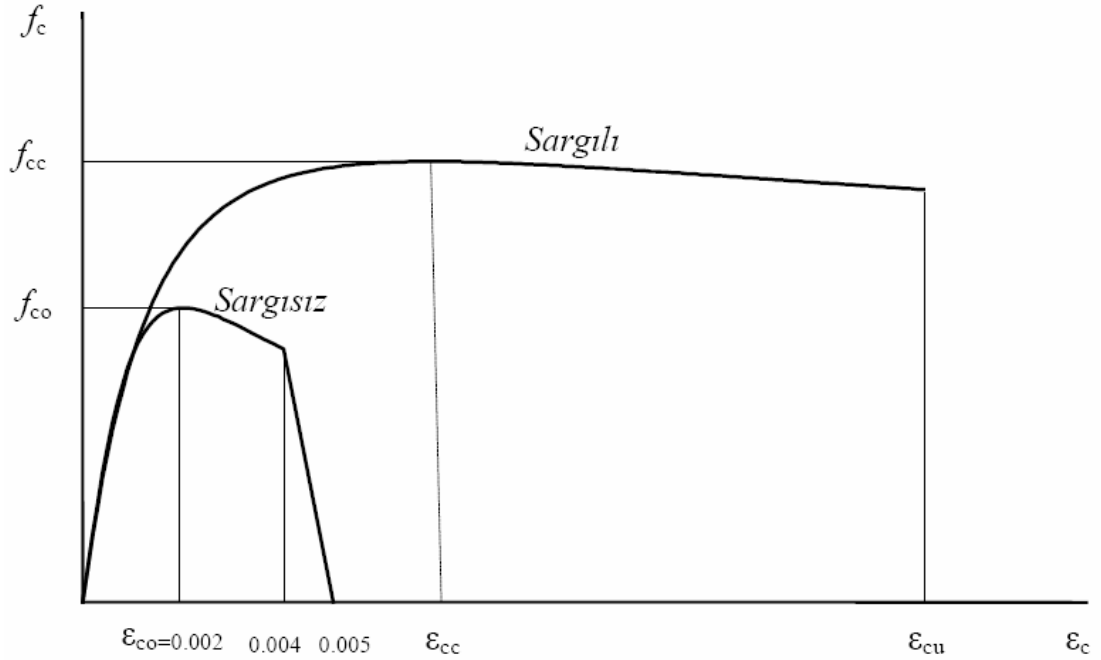
beton elastisite modülünü,

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (2.22)$$

sekant elastisite modülünü göstermektedir.

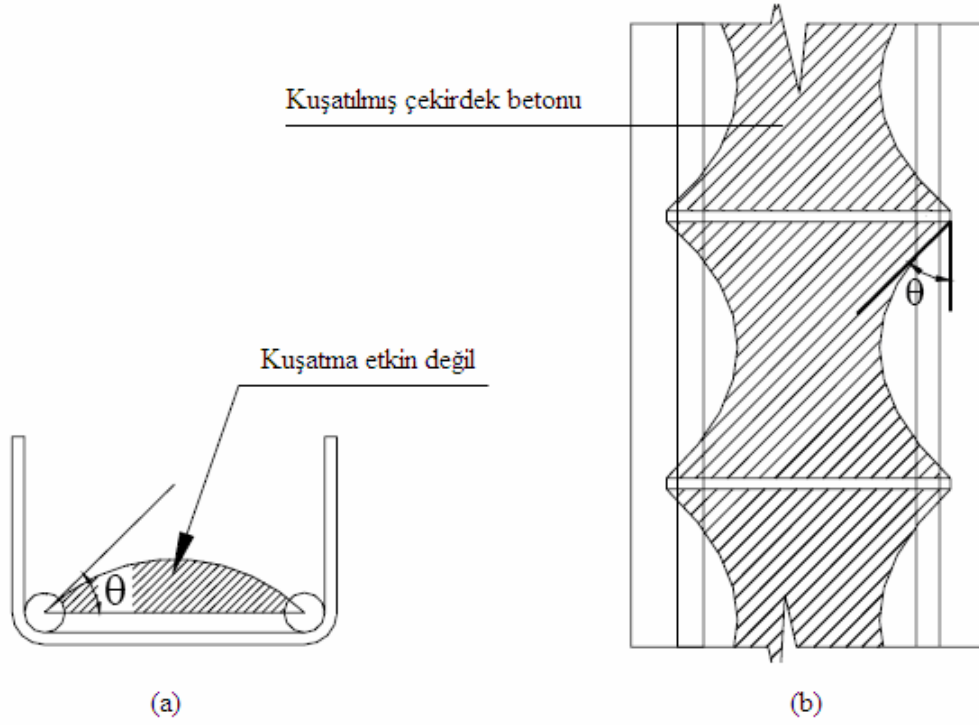
Sargısız kabuk betonu için $\epsilon_c > 2\epsilon_{c0}$ olan bölgede gerilme – birim şekildeğiştirme bağıntısının doğrusal olarak azaldığı varsayılarak betonun dökülmesine karşı gelen birim şekildeğiştirme değerinde gerilme sıfır değerini alır.

Sargılı kabuk betonu için $\epsilon_c > 2\epsilon_{c0}$ olan bölgede gerilme – birim şekildeğiştirme bağıntısının doğrusal olarak azaldığı varsayılarak betonun dökülmesine karşı gelen birim şekildeğiştirme değerinde gerilme sıfır değerini alır.



Şekil 2.24 : Mander Beton Modeli

Mander, betonarme kesitte sargı basıncının etkili olduğu bölgeleri belirlemek için Sheikh ve Üzümeri'nin [30] yaklaşımını kullanmış, düşeyde etriyeler arasındaki ve yatayda mesnetlenmiş boyuna donatı çubukları arasındaki bölgede, kesitteki sargı gerilmelerinin ikinci derece parabolü şeklinde değişeceği varsayımını yapmıştır, Şekil 2.25.



Şekil 2.25 : Kesitte ve Boyuna Doğrultuda Etkin Sargı Alanının Hesaplanması

Mander ikinci derece parabollerinin başlangıç teğet eğimini $\theta = 45^0$ olarak, kuşatmanın etkin olmadığı parabol alanlarını hesaplayarak bu değerleri çekirdek beton alanından çıkarmış ve etkin sargılanmış beton alanını bulmuştur. Bulunan etkin sargılanmış çekirdek beton alanını, çevre etriye eksenleri arasında kalan ve boyuna donatı alanı içermeyen çekirdek betonu alanına oranlayarak k_e sargılama etkinlik katsayısını belirlemiştir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_0h_0}\right)^{-1} \quad (2.23)$$

Bu katsayı kullanılarak, x ve y doğrultularındaki etkili sargılama basıncı

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (2.24)$$

ile hesaplanır.

Sargılanmış beton dayanımını veren

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad (2.25)$$

denkleminde, f_{co} sargısız betonun basınç dayanımıdır. λ_c ise

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

bağıntısı ile belirlenir.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde f_e etkili sargılama basıncı için dikdörtgen kesitlerde Denklem 2.24'te verilen değerlerin ortalamasının alınması öngörülmektedir.

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (2.27)$$

formülü ile hesaplanır.

Formülde ρ_s enine donatının hacimsel oranını, ε_{su} enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekildeğiştirmesini göstermektedir.

3 PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

Şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmeye bağı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmeye bağı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Özellikle 1999 Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, ülkemizde mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesini ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesini amaçlayan pratik uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Ancak o tarihlerde, diğeri bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine yönelik özel bir yönetmeliğin henüz mevcut olmaması nedeniyle, bu uygulamaların önemli bir bölümü yeni yapılacak yapılar için geçerli olan yönetmelik (1998 Türk Deprem Yönetmeliği) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu durumun oluşturduğu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla, 2003 yılından başlayarak, deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm (Bölüm 7) eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğeri bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları yürütülmüş ve bu çalışmaların sonucunda 2007 Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY'07) [18] tamamlanarak yayınlanmıştır.

Aşağıda, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nin mevcut betonarme binaların deprem performans ve güvenliklerinin değerlendirmesine ilişkin bölümünün (Bölüm 7) temel ilkelerine ve uygulanmasına yönelik bilgi verilecektir, [18].

3.1 Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, taşıyıcı sistemin geometrisine, elemanların enkesit özelliklerine, malzeme karakteristiklerine ve zemin özelliklerine ilişkin bilgiler, sözkonusu binanın 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 3.1.

Tablo 3.1 : Binalar için Bilgi Düzeyi Katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

3.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılmaktadır. Doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan ve *dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme* adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanının sünekliğini gözönüne alan, eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayıları çerçevesinde, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp

sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan, *yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin* esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

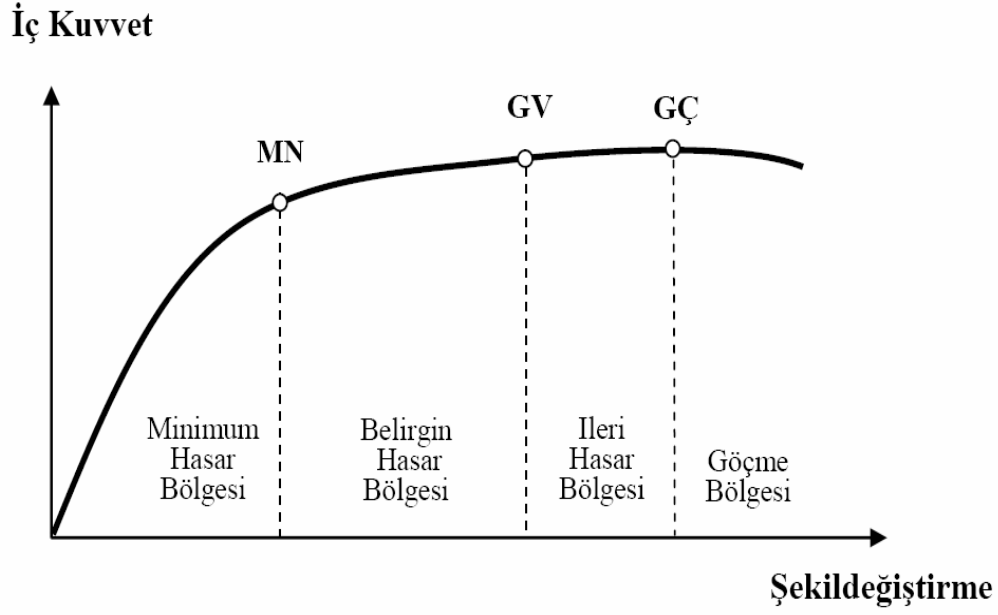
Her iki yaklaşımda da, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır. Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları “*sünek*” ve “*gevrek*” olarak iki sınıfa ayrılırlar. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaştıkları ile ilgilidir.

3.2.1 Kesit hasar sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ)’dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Eksenel basınç ve kesme gibi etkiler altında kapasitesine ulaşan gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışa izin verilmemektedir.

3.2.2 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı MN’ye ulaşmayan elemanlar *Minimum Hasar Bölgesi*’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*’nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*’nde, GÇ’yi aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*’nde kabul edilirler, Şekil 3.1.



Şekil 3.1 : Kesit Hasar Bölgeleri

3.3 Bina Deprem Performans Düzeyleri

Performans düzeyleri, verilen bir bina için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturmamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir, [25].

2007 Türk Deprem Yönetmeliği binaların deprem performansını, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen yapısal hasara bağlı olarak tanımlamaktadır. Yönetmelikte tanımlanan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile binanın deprem performans seviyesi belirlenir.

3.3.1 Hemen kullanım performans düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir ve elemanlar rijitlik ve dayanım özelliklerini korumaktadırlar. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmamıştır. Az sayıda elemanda akma sınırı aşılmış olabilir.

Yapısal olmayan elemanlarda çatlamlar görülebilir, ancak bunlar onarılabilir düzeydedir.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü minimum hasar bölgesi'ndedir. Eğer varsa gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile, bu durumdaki binaların *Hemen Kullanım Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir.

3.3.2 Can güvenliği performans düzeyi

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

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

3.3.3 Göçme öncesi performans düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli bir kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bir bölümünü yitirmişlerdir. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınması için yeterlidir; ancak bazıları aksenal kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarların bir bölümü yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmuştur.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si göçme bölgesine geçebilir. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum, belirgin veya ileri hasar bölgesindedir. Bu durumda bina, eğer varsa gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile, *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'nde kabul edilir. Göçme öncesi performans 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 aşmaması gerekir. Binanın mevcut durumunda kullanılması can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve bina güçlendirilmelidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

3.3.4 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 yıkılmıştır veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddette bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir.

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

3.4 Deprem Hareketleri

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 ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki 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 Yönetmelikleri'nde yeni yapılacak binaların tasarımında esas alınmaktadır.

3- *En büyük deprem* : 50 yılda aşılma olasılığı % 2, dönüş periyodu 2475 yıl olan bir depremdir. Bu depremin etkisi tasarım depreminin yaklaşık olarak 1.50 katıdır.

3.5 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri

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

Tablo 3.2 : Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri

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

3.6 Deprem Performansının Belirlenmesi ve Kullanılan Analiz Yöntemleri

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi istem ve kapasitedir. İstem yapıya etkiyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir. Aşağıdaki paragraflarda ilk olarak, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla uygulanan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için öngörülen genel ilke ve kurallar açıklanacak, daha sonra doğrusal elastik hesap yöntemleri ile deprem performansı belirlenmesi hakkında kısa bilgi verilecektir. İlerleyen bölümlerde, tez kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen hesap adımları incelenecek ve bu adımlar uygulanarak binaların deprem performansının nasıl belirleneceği açıklanacaktır.

3.6.1 Doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için genel ilke ve kurallar

2007 Türk Deprem Yönetmeliği, mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla uygulanmak üzere, doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri önermektedir. Teorik olarak farklı yaklaşımları esas alan bu yöntemlerle yapılacak performans değerlendirmelerinin tamamen aynı sonucu vermesi beklenmemektedir. Her iki yöntem için geçerli olan genel ilke ve kurallar aşağıda belirtilmiştir, [18].

- Deprem etkisinin tanımında, yönetmelikte aynı zamanda tasarım için de öngörülen, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremin elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılır. Çok seviyeli performans değerlendirmesi gerekli olan binalarda, 50 yılda aşılma olasılıkları %50 ve %2 olan depremler için tasarım depremi spektrumunun ordinatları sırası ile 0.5 ve 1.5 katsayıları ile çarpılır. Değerlendirmede bina önem katsayısı uygulanmaz ($I=1.0$).
- Binaların deprem performansı, yapıya etkiyen düşey sabit ve hareketli yükler ile deprem kuvvetlerinin birleşik etkileri altında değerlendirilir. Hareketli düşey yükler deprem hesabında gözönüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır.
- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilir.
- Deprem hesabında kullanılacak zemin parametreleri yönetmeliğin ilgili bölümüne göre belirlenir.
- Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem kuvvetleri ile düşey yüklerin ortak etkisi altında, yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelerin yeterli doğrulukta hesaplanmasını sağlayacak şekilde oluşturulur.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ile düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik dereceleri gözönüne alınır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanır ve ek dışmerkezlik uygulanmaz.

- Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, bilgi düzeyi katsayıları aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılır.
- Kısa kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanır.
- Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanması aşağıda verilen ilkelere göre yapılır.
 - (a) Analizde beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınır.
 - (b) Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 olarak alınabilir.
 - (c) Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemlili diyagramlar olarak modellenebilir.
- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak gözönüne alınabilir.
- Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlama kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için
 - (a) kirişlerde: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$
 - (b) kolon ve perdelerde, $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$ durumunda: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$
 $N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$ durumunda: $(EI)_e = 0.80 (EI)_o$
 değerleri kullanılır. Eksenel basınç kuvveti N_D' nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. N_D , deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin gözönüne alındığı ve çatlama kesitlere ait $(EI)_o$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı, çatlama kesit için tanımlanan etkin eğilme rijitliği $(EI)_e$ kullanılarak deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılır.

- Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik eğilme momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılabilir.
- Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatının akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksiklik oranında azaltılabilir.
- Zemindeki şekildeğişirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılır.

3.6.2 Doğrusal elastik hesap yöntemleri

3.6.2.1 Yöntemin esasları

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen ve binaların deprem performanslarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal elastik hesap yöntemleri *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi*' dir. Dayanım bazlı olan bu yöntemlerin amacı, verilen bir deprem etkisi altında, deprem yükü azaltma katsayısının $R_a=1$ değeri için hesaplanan etkiler ile yapı elemanlarının artık kapasiteleri arasındaki etki/kapasite oranlarının hesaplanması ve bu değerlerin ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle yapı elemanlarının kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi ve bunlardan yararlanarak bina düzeyinde performans değerlendirmesi yapılmasıdır.

3.6.2.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerindeki toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Toplam eşdeğer deprem yükünü (V_t taban kesme kuvvetini) veren denklemde

$$(V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,1 \cdot A_0 \cdot I \cdot W) \quad R_a=1 \text{ alınır ve denklemin sağ tarafı } \lambda \text{ katsayısı ile}$$

çarpılır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 değerini almaktadır.

3.6.2.3 Mod birleştirme yöntemi

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

3.6.2.4 Yapı elemanlarında hasar düzeylerinin belirlenmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile betonarme sünek elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesinde, gözönüne alınan elemanın etki/kapasite oranı (r) olarak ifade edilen sayısal değerler kullanılır.

Kırılma türü eğilme olan elemanlar sünek, kesme olan elemanlar ise gevrek eleman olarak sınıflanır. Kolon, kiriş ve perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmeleri için bu elemanların kritik kesitlerinde eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanan kesme kuvveti V_e 'nin, bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak TS-500'e göre hesaplanan kesme kapasitesi V_r 'yi aşmaması gereklidir. Bu koşulu sağlamayan betonarme elemanlar *gevrek olarak hasar gören elemanlar* olarak nitelendirilir.

Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranı, deprem etkisi altında elastik deprem yükü azaltma katsayısı $R_a = 1$ alınarak hesaplanan kesit eğilme momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir.

Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite (r) oranları, yönetmelikte verilen ilgili sınır değerler (r_s) ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir.

3.6.3 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

3.6.3.1 Tanım

Deprem etkileri altındaki mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik

şekildeğiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, bu bölümde tanımlanan şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılır.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*, *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*'dir. İlk iki yöntem, mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesinde ve güçlendirilmesinde artımsal itme analizinin esas alındığı yöntemlerdir. Aşağıda tez kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinden *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*'ne ilişkin ayrıntılı bilgi verilecektir.

3.6.3.2 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek hesap adımları

Artımsal İtme Analizi esas alınarak yapılan, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı performans değerlendirmesinde izlenen yolun adımları aşağıda özetlenmiştir.

(a) Genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesine ve analiz modelinin oluşturulmasına yönelik kurallar esas alınır.

(b) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak gözönüne alınır.

(c) Artımsal itme analizinin *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* kapsamında yapılması durumunda, koordinatları “modal yerdeğiştirme-modal ivme” olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilir. Bu diyagram ile birlikte, elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönme) ve iç kuvvet istemleri hesaplanır.

(d) Artımsal itme analizinin artımsal mod birleştirme yöntemi ile yapılması durumunda, gözönüne alınan bütün modlara ait “modal kapasite diyagramları” ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de elde edilir. Bunlara bağlı olarak, taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönme) ve iç kuvvet istemleri belirlenir.

(e) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve son olarak toplam eğrilik istemleri elde edilir. Daha sonra, bunlara bağlı olarak, betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için yönetmeliğin ilgili bölümünde tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, yönetmelikte tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır.

3.6.3.3 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi

Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile, *yığılı plastik davranış modeli* esas alınmıştır. 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 taşıma kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün olarak yayıldığı varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan bu *plastik şekildeğiştirme bölgesi*'nin uzunluğu (l_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (d)'nin yarısına eşit olarak alınır.

$$l_p = 0.5 d \quad (3.1)$$

Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekildeğiştirme yapan elemanların plastik şekildeğiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınır.

Yığılı plastik şekildeğiştirmeyi temsil eden *plastik kesit*'in, teorik olarak plastik şekildeğiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmeler yapılabilir.

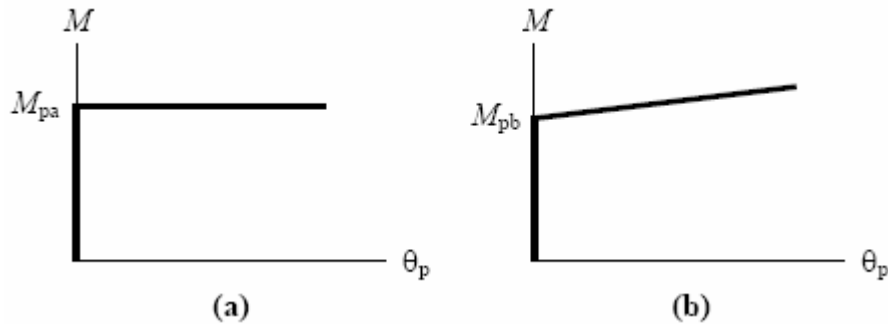
(a) Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer bir deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden dolayı kirişlerin açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönüne alınmalıdır.

(b) Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perdenin alt ucuna konulmasına izin verilebilir. 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.

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

(a) İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir, Şekil 3.2a. 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 şekildeğiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması özelliği gözönüne alınır.

(b) Pekleşme etkisinin hesaba katılması durumunda (Şekil 3.2b), 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 tanımlanır.



Şekil 3.2 : Eğilme Momenti – Plastik Dönme Bağıntıları

3.6.3.4 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

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

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç sekizden fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın, doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması gereklidir.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız olarak sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme gözönüne alınır.

Sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi sonucunda, koordinatları “tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti” olan *itme eğrisi* elde 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 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 hesaplanır:

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (3.2)$$

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

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

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (3.3)$$

Birinci (hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} , x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımındaki doğrusal elastik davranışı için tanımı ilgili bölümde yapılan L_{x1} ve birinci doğal titreşim moduna ait modal kütle M_1 'den yararlanılarak:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (3.4)$$

şeklinde elde edilir.

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıklı deprem istemi için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer bir deyişle modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{d1} 'e eşittir:

$$d_1^{(p)} = S_{d1} \quad (3.5)$$

Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) 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 (linear) spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak Denk.(3.6) ile elde edilir:

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (3.6)$$

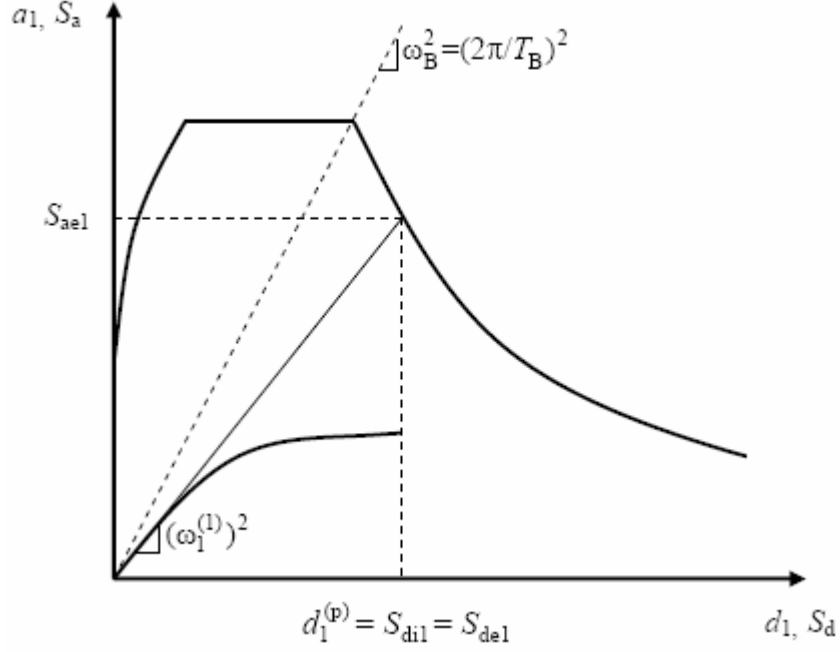
Doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} 'den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (3.7)$$

Spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'in değerine ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$) bağlı olarak 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 (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{di1} , *eşit yerdeğiştirme kuralı* uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan *eşlenik doğrusal elastik sistem*'e ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e eşit alınır. Buna göre spektral yerdeğiştirme oranı:

$$C_{R1} = 1 \quad (3.8)$$

olarak tanımlanır. Şekil 3.3.

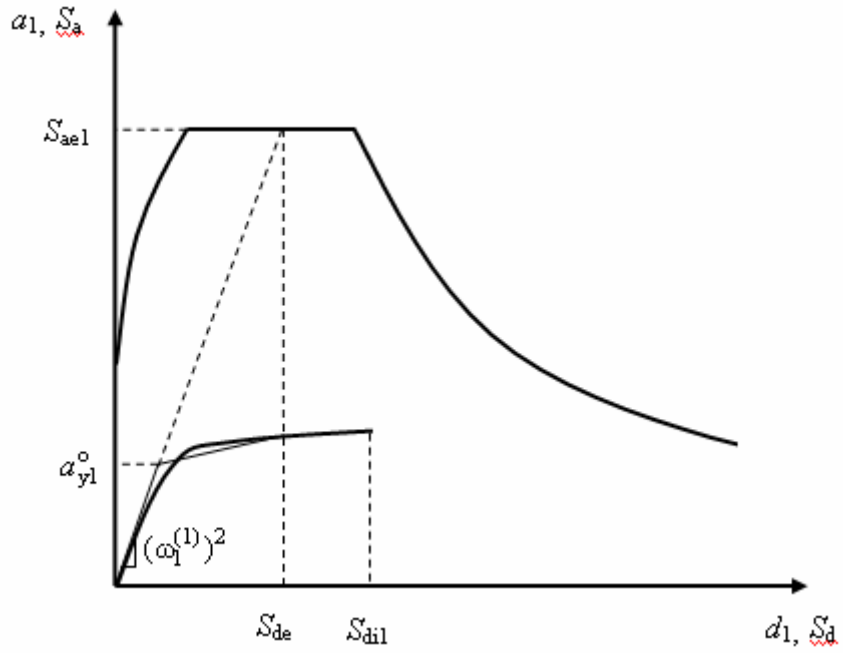


Şekil 3.3 : Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} \geq T_B$)

Şekilde birinci (hakim) titreşim moduna ait ve koordinatları (d_1, a_1) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları “spektral yerdeğiştirme (S_d) – spektral ivme (S_a)” 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, spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , ardışık yaklaşımla hesaplanır. Hesap adımları şu şekildedir.

(a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 3.4'te görüldüğü gibi, yaklaşık olarak iki doğrusu (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki ($i=1$) doğrunun eğimi olan birinci moda ait $(\omega_1^{(1)})^2$ özdeğerine, eşit alınır ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$).



Şekil 3.4 : Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$)

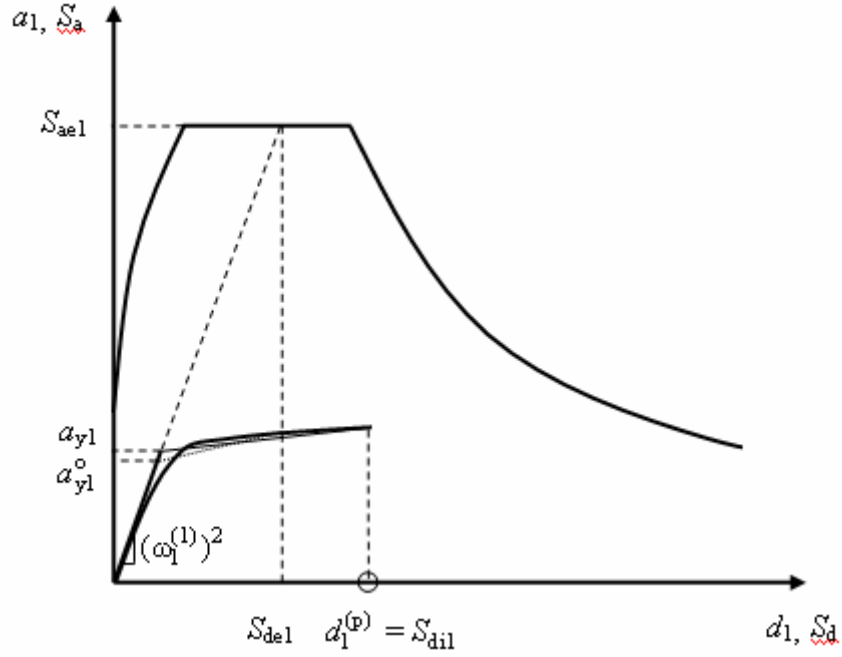
(b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ varsayımı yapılarak, eşdeğer akma noktası'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 3.4'te görülen a_{y1}^o esas alınarak C_{R1} aşağıda şekilde tanımlanır:

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (3.9)$$

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

$$R_{y1} = \frac{S_{ael}}{a_{y1}} \quad (3.10)$$

Denklem 3.9'dan bulunan C_{R1} kullanılarak, Denklem 3.6'ya göre hesaplanan S_{dil} esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları, Şekil 3.5'te 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.



Şekil 3.5 : Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$)

Son itme adımı $i = p$ için Denk.(3.5)'e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$ 'nin Denk.(3.3)'te yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (3.11)$$

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

3.6.3.5 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

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

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizde, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet

şekildeğiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, en az üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım ve değerlendirme için esas alınır.

3.6.3.6 Kesitteki birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi

Yönetmelikte belirtilen artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılan hesap sonucunda, çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak, *plastik eğrilik istemi* aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{l_p} \quad (3.12)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de gözönüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki aksenal kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, Denk.(3.12) ile tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilir:

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.13)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirme istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, Denk.(3.13) ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanır.

Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit bazında hasar bölgesi belirlenir.

3.6.3.7 Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri

Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği sünek betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında, performans düzeylerine göre izin verilen şekildeğiştirme sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır.

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

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (3.14)$$

b) *Kesit Güvenlik Sınırı* (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesinin üst sınırları için:

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (3.15)$$

c) *Kesit Göçme Sınırı* (GÇ) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları için:

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (3.16)$$

değerleri öngörülmektedir.

Performans düzeylerine göre izin verilen şekildeğiştirme sınırlarını (kapasiteleri) tanımlarken kullanılan ρ_s ve ρ_{sm} , sırasıyla kesitte mevcut bulunan ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine göre kesitte bulunması gereken hacimsel enine donatı yüzdelerini göstermektedir. Gözönüne alınan enine donatının özel deprem etriyeleri ve çirozları olarak düzenlenmiş olması da [18] zorunludur.

4 1968 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ ve 1953 BETONARME ŞARTNAMESİ' NİN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ

Bu bölümde, çalışmanın parametrik sayısal incelemelerinde esas alınan taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında yararlanılan 1968 Türk Deprem Yönetmeliği ve söz konusu yönetmelik ile birlikte yürürlükte olan TKİC (Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti) 1953 Betonarme Şartnamesi gözden geçirilecektir. Bilindiği gibi, bu yönetmeliklerin en belirgin özelliği, günümüzdeki yönetmelik ve standartlardan farklı olarak, tasarımda *Emniyet Gerilmeleri Yöntemi*'nin esas alınmasıdır.

4.1 TKİC 1953 Betonarme Şartnamesi

1953 Betonarme Şartnamesinde yer alan ve bu çalışmada esas alınan başlıca bilgiler ve tasarım kuralları aşağıda özetlenmiştir.

4.1.1 Malzeme Bilgileri

Bu şartnameye göre, yapılarda kullanılması öngörülen beton ve beton çeliği sınıfları ile bunların karakteristik dayanımları ve diğer özellikleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Beton Sınıfları ve Karakteristik Küp Dayanımları

Beton Sınıfları	28 Günlük Minimum Küp Dayanımı	
	Kg / cm ²	N / mm ²
B 120	120	12
B 160	160	16
B 225	225	22.5
B 300	300	30

Tablo 4.2: Beton Çeliği Sınıfları ve Özellikleri

Sınıf	Çap mm	Minimum Akma Sınırı Kg/cm ² (N/mm ²)	Çekme Dayanımı Kg/cm ² (N/mm ²)	Minimum Kopma Uzaması %
St I	----	2200 (220)	3400 - 5000 (340 - 500)	16
St IIa	≤ 18	3600 (360)	5000 - 6200 (500 - 620)	20
	> 18	3400 (340)	5000 - 6400 (500 - 640)	18
St IIb	≤ 18	3600 (360)	≥ 5000 ≥ 500	14
	> 18	3400 (340)	≥ 5000 ≥ 500	14
St IIIa	≤ 18	4200 (420)	≥ 5000 ≥ 500	18
	> 18	4000 (400)	≥ 5000 ≥ 500	18
St IIIb	≤ 18	4200 (420)	≥ 5000 ≥ 500	8
	> 18	4000 (400)	≥ 5000 ≥ 500	8
St IVa	----	5000 (500)	----- -----	16
St IVb	----	5000 (500)	----- -----	8

Tablolardan görüldüğü gibi, beton çeliği sınıfları ve karakteristikleri genel olarak günümüzde kullanılan beton çelikleri ile uyumludur. Buna karşılık beton sınıfları, günümüzden farklı olarak, küp dayanımına göre tanımlanmakta ve en yüksek dayanımlı beton sınıfı olarak B300 betonunu (TS500 Betonarme Standardına göre C25) içermektedir.

4.1.2 Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Boyutlandırılmasında Temel İlkeler

4.1.2.1 Kirişler

Düşey yüklerin etkisi altında eğilmeye çalışan betonarme kirişlerde üç türlü gerilme durumu söz konusu olabilir.

Gerilme Durumu I : Kesitin çekmeye çalışan kenarındaki gerilmeler betonun çekme dayanımından daha küçüktür. Bu halde beton çekme bölgesinde de çalışır ve çekme gerilmeleri hem beton hem çekme donatısı tarafından karşılanır.

Gerilme Durumu II : Kesit zorlarının artması sonucunda çekme gerilmeleri de artar ve betonun çekme dayanımını aşar. Bu halde tüm çekme gerilmeleri çekme donatısı tarafından karşılanır.

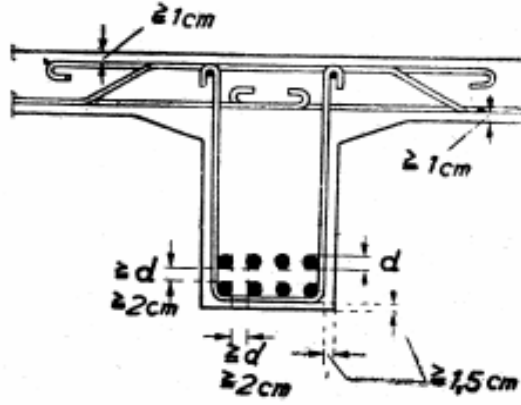
Gerilme Durumu III : Kesit zorlarının daha da artması ile, çekme donatısındaki gerilmeler kopma sınırına doğru yaklaşır ve bu durum kirişin taşıma kapasitesinin sona ermesine neden olur.

Pratikte eğilmeye çalışan betonarme kirişlerin kesit hesapları *Gerilme Durumu II*'ye göre yapılır. Bu hesaplarda ayrıca, şu varsayımlar da yapılmaktadır.

- Çekme bölgesinde bütün gerilmeler donatı tarafından karşılanır.
- Şekildeğiştirmeler için Hook Kanunu (doğrusal teori) geçerlidir.

Konstrüktif Kurallar

- Eksenel kuvvet etkisi olmaksızın yalnız eğilme momenti etkisindeki yapı elemanlarında basınç donatısı genellikle tek sıra haline konulabilir.
- Dikdörtgen ve tablalı kirişlerde daima ve bütün kiriş enkesit yüksekliği boyunca çekme ve basınç bölgeleri arasında bağlantı sağlayacak şekilde etriye konmalıdır. Çift donatı halinde etriyenin basınç demirlerini iyice sarmasına dikkat edilmelidir. Etriyelerin aralığı basınç donatısı çapının 12 katından fazla olmamalıdır.
- Demirlerin kiriş içine yerleştirilmelerinde lüzumlu pas paylarının bırakılması gerekir, Şekil 4.1.



Şekil 4.1 : Kirişlerde Pas Payları ve Donatı Detayları

4.1.2.2 Kolonlar

Betonarme kolonlar, kuvvetin etki şekline göre, merkezi basınca maruz kolonlar ve eksantrik (dışmerkez) basınca maruz kolonlar olarak sınıflandırılır.

Dışmerkez basınç etkisindeki kolonlarda, eğilme momenti ve normal kuvvete göre yapılan kesit hesabına ek olarak, yalnız normal kuvvet altında da kesit kontrolü yapılmalıdır.

Normal kuvvet etkisindeki etriyeli kolonların emniyetle taşıyabileceği kuvvet, beton ve donatı çeliği için $e=3$ güvenlik katsayısı esas alınarak

$$P_{em} = \frac{P_b}{3} = \frac{K_b * F_b + \sigma_s * F_e}{3} = \sigma_b * F_b + \sigma_s * F_e \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifade belirli bir P kuvvetinin emniyetle taşınabilmesi için gerekli olan kolon kesit alanı cinsinden yazılırsa

$$F_b = \frac{P}{\sigma_b + \mu * \sigma_e} = \frac{P}{\sigma_i} \quad (4.2)$$

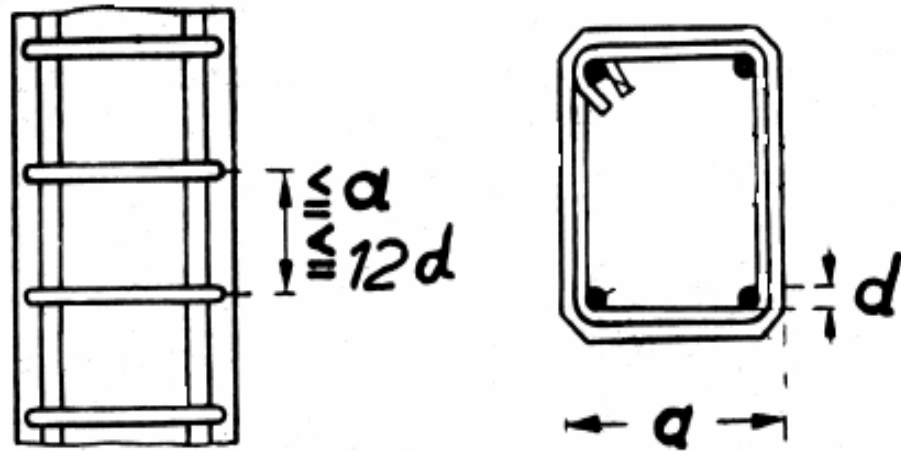
eşitliği elde edilir. Buradaki σ_i eşdeğer emniyet gerilmesi, homojen malzemeden yapılmış F_b kesit alanına sahip olan bir kolondaki gerilmeyi gösterir. Görüldüğü gibi, σ_i eşdeğer emniyet gerilmesi μ donatı oranı ile kullanılan beton ve donatının emniyet gerilmelerine bağlı olarak hesaplanır, Tablo 4.3.

Tablo 4.3 : Normal Kuvvet Kontrolünde Kullanılacak Beton ve Donatı Çeliği Emniyet Gerilmeleri

Beton Sınıfı	Beton Emniyet Gerilmesi σ_b		Donatının Basınç Altındaki Emniyet Gerilmeleri σ_e					
			St I		St II		St III – IV	
	Kg/cm ²	N/mm ²	Kg/cm ²	N/mm ²	Kg/cm ²	N/mm ²	Kg/cm ²	N/mm ²
B120	36	3.6	800	80	-----	-----	-----	-----
B160	48	4.8	800	80	1200	120	-----	-----
B225	65	6.5	800	80	1200	120	1400	140
B300	80	8.0	800	80	1200	120	1400	140

Konstrüktif Kurallar

- Kolonların minimum kenar uzunluğu 20 cm den küçük olamaz.
- Kolonlarda kullanılan boyuna donatı çapı en az 14 mm olmalıdır.
- Kolon boyuna donatısı etriyelerle çevrilmelidir. Etriye aralıkları kolonun kısa kenar uzunluğundan ve kullanılan boyuna donatı çapının 12 katından büyük olmamalıdır, Şekil 4.2.



Şekil 4.2 : Kolonlarda Etriye Detayları

4.1.3 Emniyet Gerilmeleri

Betonarme kesit hesaplarında kullanılacak emniyet gerilmeleri Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4 : Emniyet Gerilmeleri

Yapı Elemanı ve Yükleme Şekli	Kullanım Sahası	Emniyet Gerilmeleri			
		B 160		S 220	
		(Kg/cm ²)	(N/mm ²)	(Kg/cm ²)	(N/mm ²)
Moment Tesiri Altında Plaklar ve Dikdörtgen Kesitli Kirişler	h < 8	50	5	1400	140
	h > 8	60	6	1400	140
Moment Tesiri Altında Tablalı Döşemeler ve Dışlı Döşemeler	Tabladaki Gerilmeler Dikkate Alınınca	50	5	1400	140
	Negatif Moment Bölgesinde	70	7	1400	140
Eğilme ve Normal Kuvvete Maruz Plaklar, Dikdörtgen Kirişler, Tablalı Kirişler, Çerçeveler	Dikdörtgen Kesitler Tek Yönlü Eğilmeye Maruz	70	7	1400	140
	Dikdörtgen Kesitler Çift Yönlü Eğilmeye Maruz	80	8	1400	140
	Tablalı Kirişlerde Tabladaki Basınç Gerilmesi Dikkate Alınır	60	6	1400	140
Eğilme Neticesinde Kayma Gerilmeleri	Kayma Emniyeti Hesapla Gösterilmediği Takdirde Plaklarda	8	0.8		
	Kayma Emniyeti Hesapla Gösterilmediği Takdirde Diğer Yapı	6	0.6		
	Kayma Donatısı Hesaba Katılmaksızın Maksimum Kayma	16	1.6		

4.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1968)

1968 Türk Deprem Yönetmeliğine (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik) göre, betonarme çerçeve sistemlerin kolon ve kirişlerinin tasarımında uyulması gereken minimum koşullar ile depreme dayanıklı betonarme binalar için öngörülen hesap esasları aşağıda özetlenmiştir.

4.2.1 Taşıyıcı Sistem Elemanları Hakkında Yönetmelik Koşulları

4.2.1.1 Kolonlar

- Kolonlar bodrum katından başlayarak yukarıya doğru, birbirinin üstüne gelecek şekilde düzenlenecektir. Bütün kolonların eksenleri planda mümkün olduğunca her iki doğrultuda da aynı doğru üzerine getirilmelidir.
- Düğüm noktaları civarında kolon ve kirişlerin etriye aralığı, bu elemanların orta bölgesindeki etriye aralığının yarısı kadar olacak ve kolon yüzünden

başlayarak açıklığa doğru kiriş yüksekliği kadar devam edecektir. Kolonlara ait etriyeler kat kirişleri içinde de devam edecektir.

- Kolonların en küçük kenarı 24 cm. den ve kat yüksekliğinin 1/20 sinden daha küçük olamaz.

4.2.1.2 Kirişler

- Kirişler en az 15×30 cm. kesitinde olacak ve yükseklikleri kendilerine bağlı plak döşeme kalınlığının üç katından daha fazla olacaktır.
- Kirişlerin boyuna donatı oranı en az % 0.25 olacaktır. Ayrıca, gerekli etriye donatısı konacaktır.
- Kirişlerin kolonlara birleşiminde guse yapılması yararlıdır.

4.2.2 Depreme Dayanıklı Binalar İçin Hesap Esasları

Deprem etkilerinden dolayı yapıda meydana gelen tesirler, binanın döşemeleri seviyesinde yapı sistemine etkitilen yatay deprem kuvvetlerine göre hesaplanır. Yatay kuvvetlerin binanın birbirine dik iki esas eksenine doğrultusunda etkidiği, fakat her iki doğrultuda aynı zamanda etkimeydiği kabul edilecektir.

Deprem hesaplarında beton ve çelik emniyet gerilmeleri en fazla %50 arttırılacaktır.

Deprem Kuvvetlerinin Hesabı

Depremden dolayı binaya aktarılan toplam taban kesme kuvveti

$$F = C * W \quad (4.3)$$

formülü ile hesaplanır. Burada **W** toplam bina ağırlığıdır. **C** ise, deprem katsayısı olup

$$C = C_0 * \alpha * \beta * \gamma \quad (4.4)$$

şeklinde ifade edilir.

Bu bağıntıdaki C_0 deprem bölge katsayısı değerleri Tablo 4.5'te, α deprem zemin katsayısı değerleri Tablo 4.6'da, β bina önem katsayısı değerleri Tablo 4.7'de, γ bina dinamik katsayısı değerleri ise Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.5 : Deprem Bölge Katsayısı

Deprem Bölgesi	C_0
1	0.06
2	0.04
3	0.02

Bu tablodaki değerler, deprem bölgeleri için, hesapta kullanılacak en küçük deprem katsayılarını göstermektedir.

Tablo 4.6 : Deprem Zemin Katsayısı

Zemin Cinsleri	α
1-Sert ve yekpare kayalık zeminler	0.80
2-Kum, çakıl, sert kumlu kil gibi sağlam ve sıkışık zeminler, çatlak ve kolayca tabakalara ayrılan kayalar	1.00
3- Suyu havi gevşek ve yukarıdaki sağlam zeminler haricindeki daha az sağlam bilimum zeminler	1.20

Tablo 4.7 : Bina Önem Katsayısı

	β
-Bir deprem süresince veya hemen sonra kullanılması zorunlu binalar (PTT binaları, itfaiye binaları, kuvvet santralleri, radyo evi, pompa istasyonları, hastaneler gibi)	1.50
-Önemli veya değerli malları saklayan binalar (müzeler gibi)	
-Halkın çok yığıldığı binalar (okullar, stadyumlar, tiyatrolar, sinemalar, ibadet mahalleri, tren istasyonları gibi)	
-Halkın az yığıldığı binalar (özel ikametgah, apartmanlar, oteller, işyerleri, lokantalar, sanayi binaları gibi)	1.00

Tablo 4.8 : Bina Dinamik Katsayısı

T_1 (saniye)	γ
≤ 0.5	1
> 0.5	$0.5 / T$

Bina dinamik katsayısı, binada meydana gelen deprem kuvvetlerini etkileyen önemli faktörlerden biri olan bina temel periyodu T_1 'e bağlıdır. Deneysel veya güvenilir teknik verilere göre hesabı yapılmadığı sürece, bina temel periyodu

$$T_1 = \frac{0.09 * H}{\sqrt{D}} \quad (4.5)$$

formülü ile hesaplanacaktır.

Toplam deprem yatay kuvvetinin hesabında gözönüne alınacak kat ağırlığı

$$W_i = G_i + n_i * P_i \quad (4.6)$$

formülü ile bulunur.

Bu formüldeki n_i hareketli yük katılım katsayısı değerleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9 : Hareketli Yük Katılım Katsayısı

	n
Sinema, tiyatro, okul, stadyum, depo ve antrepo gibi binalar	1.00
Sağlık yapıları, idare yapıları, otel,apartman, ve ikametgah gibi yapılarda	0.50

Toplam yatay kuvvet F , bina yüksekliğince aşağıdaki formüle göre dağıtılacaktır.

$$F_i = \frac{W_i * H_i}{\sum W_i * H_i} \quad (4.7)$$

Bu bağıntıda H_i , (i) numaralı katın temel tabanından yüksekliğini göstermektedir.

5 SAYISAL İNCELEMELER

Bu bölümde, 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'ne ve bu yönetmelik ile birlikte yürürlükte olan betonarme şartnamesine göre boyutlandırılan çerçeve türündeki betonarme bina taşıyıcı sistemlerinin ve uygulamadaki beton kalitesi ve dayanımı açısından alternatiflerinin deprem etkileri altındaki yapısal performanslarını belirlemek amacıyla, doğrusal olmayan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* uygulanarak gerçekleştirilen parametrik sayısal incelemelere yer verilmiştir.

Sayısal incelemeler, orta yükseklikli mevcut betonarme binaları temsil etmek üzere seçilen, farklı geometriye sahip iki taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Düşey yükler ve 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen yatay deprem etkileri altında iki farklı şekilde boyutlandırılan bu taşıyıcı sistem modellerinin, ayrıca uygulamadaki beton dayanımı bakımından alternatifleri oluşturulmuştur. Böylece, incelemeler toplam sekiz taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Aşağıdaki bölümlerde, önce seçilen taşıyıcı sistem modelleri tanıtılarak 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'ne ve ilgili 1953 Betonarme Şartnamesi'ne göre tasarımı hakkında bilgi verilmiş, daha sonra bu sistemlerin deprem etkileri altındaki kesit hasar bölgelerinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan *Doğrusal Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile değerlendirilmesine ait hesap adımları açıklanmıştır. Farklı sistem geometrisine, tasarım yaklaşımlarına ve beton dayanımlarına sahip olan taşıyıcı sistem modellerinin kesit hasar bölgeleri belirlenerek elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Bu bölümde ayrıca, incelemede yapılan varsayımlar ve kullanılan bilgisayar programları hakkında bilgi verilmiştir.

5.1 İncelenen Taşıyıcı Sistem Modelleri

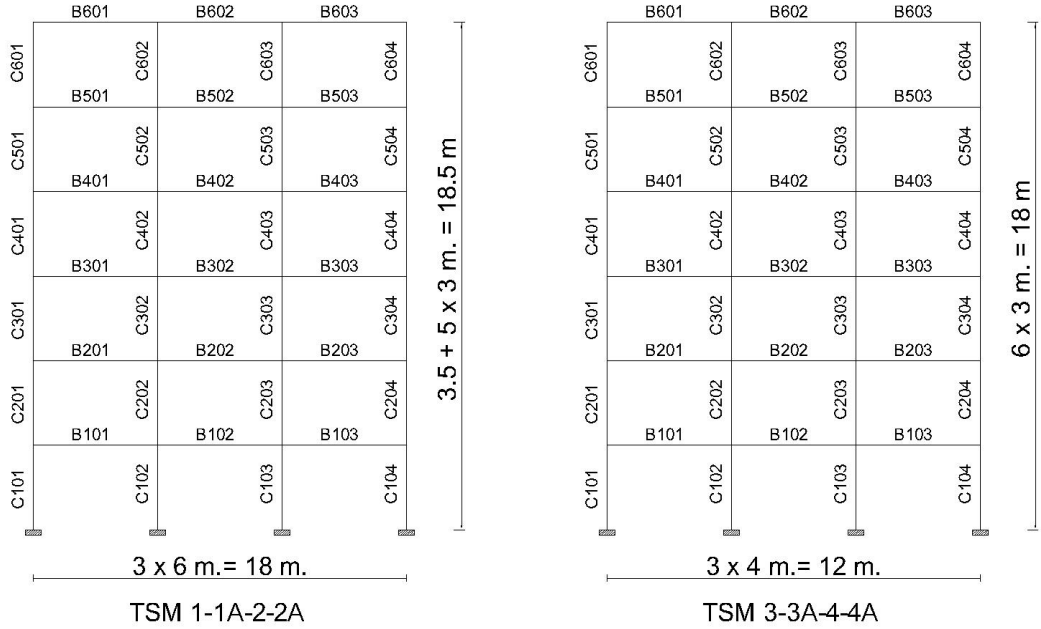
Bu çalışmanın parametrik sayısal incelemelerinde esas alınan taşıyıcı sistem modelleri (TSM), ülkemizdeki mevcut yapı stokunu belirli ölçüde temsil etmek üzere seçilen altı katlı, iki farklı geometrideki betonarme çerçeve sistemlerdir. Taşıyıcı sistem modellerinin B160 (C14) betonu ve St I (S220) beton çeliği kullanılarak, 1953 Betonarme Şartnamesi [31] ile 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'ne [24] göre iki farklı şekilde, kolonlarda aksel kuvvet altında kesit kontrolü yapılarak ve yapılmaksızın boyutlandırıldığı gözönünde tutulmuştur. Bu taşıyıcı sistem modelleri, uygulamada gerçekleştirilen farklı beton dayanımına sahip olan alternatifleri ile birlikte Tablo 5.1 'de tanımlanmıştır.

Tablo 5.1 : Taşıyıcı Sistem Modelleri

TSM	Beton Silindir Dayanımı (MPa)	Eksenel Kuvvet Altında Kesit Kontrolü	Kat Yükseklikleri (m)	Kiriş Açıklıkları (m)
TSM-1	14.0	Var	3.5 – 3.0	6.0
TSM-1A	10.0	Var	3.5 – 3.0	6.0
TSM-2	14.0	Yok	3.5 – 3.0	6.0
TSM-2A	10.0	Yok	3.5 – 3.0	6.0
TSM-3	14.0	Var	3.0	4.0
TSM-3A	10.0	Var	3.0	4.0
TSM-4	14.0	Yok	3.0	4.0
TSM-4A	10.0	Yok	3.0	4.0

Alternatif taşıyıcı sistem modelleri (TSM-1A,...), ülkemizde genellikle karşılaşıldığı gibi, beton kalite ve dayanımı açısından projeye uygun olmadan inşa edilen mevcut yapıları temsil etmek amacıyla oluşturulmuştur.

Sayısal incelemeler için seçilen taşıyıcı sistem modelleri, üç açıklıklı ve altı katlı düzlem betonarme çerçeve sistemler olup, plandaki çerçeve aralıkları 4.0 m'dir. Tüm taşıyıcı sistem modellerinin geometrik özellikleri ile giriş ve kolon numaraları Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 : Taşıyıcı Sistem Modelleri

5.2 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması

5.2.1 Malzeme Bilgileri

Taşıyıcı sistem modellerinin tasarımında kullanılan beton ve donatı çeliği sınıfları ile alternatif sistemlerin beton dayanımları (f_{ck}) aşağıda verilmiştir.

TSM-1, TSM-2, TSM-3, TSM-4 : Beton sınıfı B160 (C14)
Donatı çeliği sınıfı St I (S220)

TSM-1A, TSM-2A, TSM-3A, TSM-4A : Beton silindir dayanımı $f_{ck}=10$ Mpa
Donatı çeliği sınıfı St I (S220)

5.2.2 Deprem Karakteristikleri

1968 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılan TSM-1, TSM-2, TSM-3 ve TSM-4 taşıyıcı sistem modellerinin tasarımında gözönüne alınan deprem parametreleri aşağıda belirtilmiştir.

$C_0 = 0.04$ Deprem Bölgesi Katsayısı

$\alpha = 0.80$ Zemin Katsayısı

$\beta = 1.00$ Bina Önem Katsayısı

$T_1 = 0.39$ olarak hesaplanmıştır.

$\gamma = 1.00$ Bina Dinamik Katsayısı

$n = 0.50$ Hareketli Yük Azaltma Katsayısı

yukarıda verilen değerler kullanılarak, Denk.(4.4) ile deprem katsayısı bulunmuştur.

$C = 0.032$ Deprem Katsayısı

5.2.3 Boyutlandırmada Esas Alınan Yükler

Tüm taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında aşağıda verilen düşey yükler gözönüne alınmıştır.

Normal kat döşemeleri, $g = 5.25 \text{ kN/m}^2$

$q = 2.00 \text{ kN/m}^2$

Çatı katı döşemesi, $g = 6.15 \text{ kN/m}^2$

$q = 2.00 \text{ kN/m}^2$ (kar yükü dahil)

5.2.4 Modelleme ve Tasarımda Yapılan Varsayımlar

Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında gözönünde tutulan başlıca varsayımlar şunlardır.

- a) Boyutlandırmaya esas olan sistem analizleri doğrusal teoriye göre gerçekleştirilmiştir ve tüm taşıyıcı sistem modellerinin betonarme kesit hesaplarında emniyet gerilmeleri yöntemi kullanılmıştır.
- b) Düğüm noktaları rijit olarak alınmış, kolonların temele ankastre olarak bağlandığı gözönünde tutulmuştur.
- c) Döşeme yükleri kirişlere üçgen ve trapez yayılı yükler olarak aktarılmıştır. Dış duvar yükleri ise (4.00 kN/m) dış kolonlara tekil yük olarak etkilmiştir.
- d) Düzlem çerçeve olarak modellenen sistemlerin çerçeve düzlemi dışındaki yanal yerdeğiştirmelerinin önlenmesi varsayılmıştır.

5.2.5 Boyutlandırmada Esas Alınan Yükleme Kombinasyonları

Tüm taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında, düşey yükler ve düşey yükler+deprem kuvvetleri altında yapılan sistem analizleri sonucunda hesaplanan kesit tesirleri gözönüne alınmıştır.

5.2.6 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması

Taşıyıcı sistem modellerinin 1968 Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılmasında yukarıda ayrıntıları verilen deprem yükleri gözönüne alınmıştır.

Sabit yükler (yapı yükleri), hareketli yükler ve çerçeve doğrultusunda hesaplanan bu deprem etkileri altında, SAP Analiz Programı [12] sonuçlarından alınan kesit tesiri değerleri kullanılarak, Bölüm 5.2.5'te belirtilen yüklemeler için betonarme kesit hesapları yapılmış ve kiriş, kolon en kesit boyutları ile boyuna donatıları belirlenmiştir.

5.3 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Performans Değerlendirmesi

Yukarıda açıklandığı şekilde boyutlandırılan dört taşıyıcı sistem modelinin ve alternatiflerinin her biri için, SAP2000 bilgisayar programının doğrusal olmayan analiz modülünden [12] yararlanarak statik itme analizi yapılmıştır. Binaların deprem performansları, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde belirtildiği şekilde, kesit hasar

bölgelerine bağı olarak belirlenmektedir. Statik itme analizi sonucunda elde edilen plastik mafsalların kesit hasar bölgeleri, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan hasar sınırlarının XTRACT bilgisayar programına [32] veri olarak girilmesi ile alınan sonuçlardan yararlanarak elde edilmiştir. Performans değerlendirmesinde sargı etkisi hesaba katılmamış, diğer bir deyişle, incelenen sistemlerin yeterli sargı donatısı koşullarını sağlamadığı gözönünde tutulmuştur.

5.4 TSM-1 İçin Ayrıntılı İnceleme

Bu bölümde, seçilen taşıyıcı sistem modelleri ve alternatifleri üzerinde, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan sayısal incelemelere ve sonuçlarına yer verilmiştir.

TSM-1 taşıyıcı sistem modeli üzerinde, uygulanan hesap adımları ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ayrıntılı hesap adımları, taşıyıcı sistemin boyutlandırılması ve tasarım sonuçlarını, doğrusal elastik olmayan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ile kesit hasar bölgelerinin belirlenmesini içermektedir. TSM-1 için ayrıntılı incelemenin ardından, gözönüne alınan diğer taşıyıcı sistem modelleri için elde edilen sonuçlar tablolar ve grafiklerle, karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

5.4.1 Sistemin Boyutlandırılması

TSM-1 taşıyıcı sistem modelinin genel özellikleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir, Tablo 5.2.

Tablo 5.2 : TSM-1 Genel Özellikleri

Bina Geometrik Özellikleri	Deprem Karakteristikleri (1968 Yönetmeliği)	Malzeme Özellikleri
Kat Adedi : 6	$C_0 = 0.04$	$f_{ck} = 14 \text{ Mpa}$
Açıklık Sayısı : 3	$\alpha = 0.80$	$f_{cd} = 9 \text{ Mpa}$
Normal kat Yüksekliği: 3.0	$\beta = 1.00$	$f_{yk} = 220 \text{ Mpa}$
1. Kat Yüksekliği : 3.5	$\gamma = 1.00$	$f_{yd} = 191 \text{ Mpa}$
Kiriş Açıklığı : 6.0	$n = 0.50$	$E_c = 26160 \text{ Mpa}$
Çerçeve Aralığı : 4.0	$C = 0.032$	$E_s = 200000 \text{ Mpa}$

Düşey yük hesabı

Tasarımda, döşemelerden kirişlere aktarılan düşey yükleri belirlemek için esas alınan, normal kat ve çatı katı döşemelerinin yük analizleri aşağıda verilmiştir.

Normal Kat Döşemeleri

	h (m)	γ (kN/m ³)	Toplam
Betonarme Plak:	0.15	25	3.75 kN/m ²
Siva :	0.02	20	0.4 kN/m ²
Kaplama :	0.05	22	1.1 kN/m ²
g =			5.25 kN/m²

$$g = 5.25 \text{ kN/m}^2$$
$$q = 2 \text{ kN/m}^2$$

Çatı Kati Döşemesi

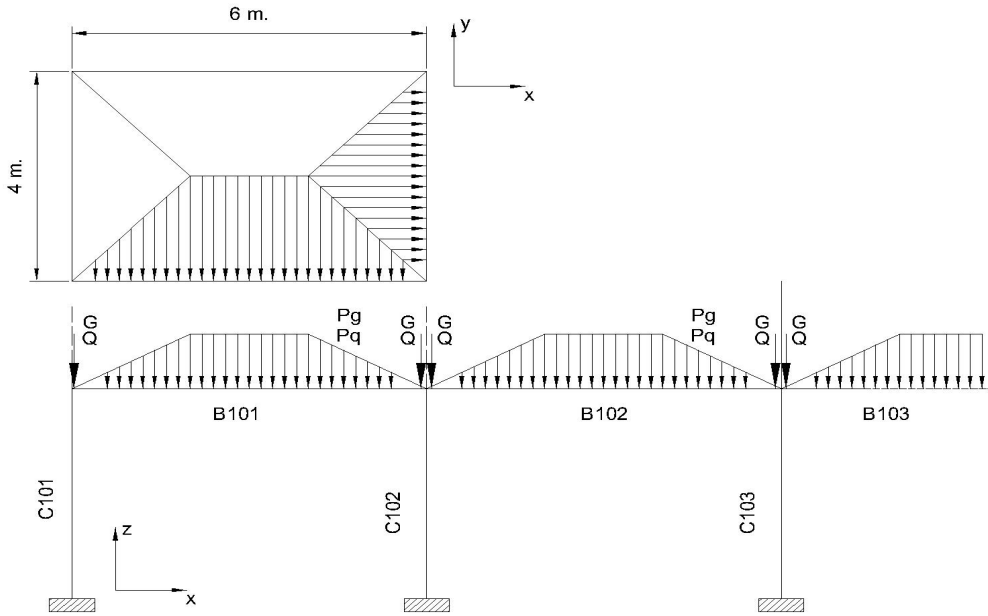
	h (m)	γ (kN/m ³)	Toplam
Betonarme Plak:	0.15	25	3.75 kN/m ²
Siva :	0.02	20	0.4 kN/m ²
Çatı Kaplama + İzolasyon :			2 kN/m ²
g =			6.15 kN/ m²

$$g = 6.15 \text{ kN/m}^2$$
$$q = 2 \text{ kN/m}^2 \quad \text{kar yükü dahil}$$

Döşemelerden kirişlere aktarılan yükler trapez yayılı yük olarak, kiriş öz ağırlığı ise düzgün yayılı yük olarak alınmıştır, Şekil 5.2. Ayrıca çerçeve düzlemine dik doğrultudaki kirişlerden gelen yükler düğüm noktalarına tekil yük olarak etkilmiştir, Tablo 5.3 ve Tablo 5.4.

Dış duvar (4 kN/m) yükleri planda çerçeve aralığı ile çarpılarak dış kolonlara tekil yük olarak etkilmiştir.

Tasarımda gözönüne alınan düşey yükler ve deprem yükleri ile ilgili olarak oluşturulan tablolar, ön tasarım aşamasında kiriş ve kolon kesit boyutları henüz belirli olmadığından, ön tasarım sonucunda elde edilen eleman boyutları kullanılarak düzenlenmiştir.



Şekil 5.2 : Sisteme Etkiyen Düşey Yükler

Tablo5.3 : Normal Kat Düşey Yükleri

Y DOĞRULTUSUNDAKİ TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARINDAN KOLONLARA GELEN TEKİL YÜKLER :

KİRİŞ BOYUTU :	b = 20 cm	h = 50 cm
KİRİŞTEN GELEN TEKİL YÜK :	10	kN
DÖŞEMEDEN GELEN TEKİL YÜK :	21	kN
DIŞ DUVARLARDAN GELEN YÜK :	16	kN

ORTA KOLONLARA :	52	kN
KENAR KOLONLARA :	47	kN

DÖŞEMELERDEN KİRİŞLERE GELEN TRAPEZ YAYILI YÜKLER :

MESAFE (m) :	0	2	4	6
YÜK DEĞERİ (kN/m) :	0	21	21	0

1B - HAREKETLİ YÜKLER

Y DOĞRULTUSUNDAKİ TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARINDAN KOLONLARA GELEN TEKİL YÜKLER :

DÖŞEMEDEN GELEN TEKİL YÜK :	8	kN
-----------------------------	---	----

ORTA KOLONLARA :	16	kN
KENAR KOLONLARA :	8	kN

DÖŞEMELERDEN KİRİŞLERE GELEN TRAPEZ YAYILI YÜKLER :

MESAFE (m) :	0	2	4	6
YÜK DEĞERİ (kN/m) :	0	8	8	0

Tablo5.4 : Çatı Katı Düşey Yükleri

Y DOĞRULTUSUNDAKİ TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARINDAN KOLONLARA GELEN TEKİL YÜKLER :

KİRİŞ BOYUTU :	b = 20 cm	h = 50 cm
KİRİŞTEN GELEN TEKİL YÜK :	10	kN
DÖŞEMEDEN GELEN TEKİL YÜK :	24.6	kN

ORTA KOLONLARA :	59.2	kN
KENAR KOLONLARA :	34.6	kN

DÖŞEMELERDEN KİRİŞLERE GELEN TRAPEZ YAYILI YÜKLER :

MESAFE (m) :	0	2	4	6
YÜK DEĞERİ (kN/m) :	0	24.6	24.6	0

2B - HAREKETLİ YÜKLER

Y DOĞRULTUSUNDAKİ TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARINDAN KOLONLARA GELEN TEKİL YÜKLER :

DÖŞEMEDEN GELEN TEKİL YÜK :	8	kN
-----------------------------	---	----

ORTA KOLONLARA :	16	kN
KENAR KOLONLARA :	8	kN

DÖŞEMELERDEN KİRİŞLERE GELEN TRAPEZ YAYILI YÜKLER :

MESAFE (m) :	0	2	4	6
YÜK DEĞERİ (kN/m) :	0	8	8	0

Deprem yükü hesabı

Tasarımda gözönüne alınan deprem yükleri 1968 Türk Deprem Yönetmeliği esas alınarak hesaplanmıştır. Taban kesme kuvveti ve eşdeğer deprem yükü hesabında izlenen hesap adımları aşağıda özetlenmiştir.

Binanın deprem karakteristikleri gözönüne alınarak

2. Derece deprem bölgesi için deprem bölge katsayısı $C_0 = 0.04$ (Tablo 4.4)

Zemin cinsi: 2 için deprem zemin katsayısı $\alpha = 0.80$ (Tablo 4.5)

Bina önem katsayısı $\beta = 1.00$ (Tablo 4.6)

Bina doğal titreşim periyodu T_1 , Denklem (4.5) ile

$$T_1 = \frac{0.09 \times 18.5}{\sqrt{18}} = 0.39s$$

$T_1 < 0.5$ durumu için yapı dinamik katsayısı $\gamma = 1.00$ (Tablo 4.7)

Deprem katsayısı C yukarıda bulunan parametreler ve Denklem (4.4) yardımı ile

$$C = 0.04 \times 0.80 \times 1.00 \times 1.00 = 0.032$$

şeklinde elde edilir.

Bina ağırlığı, Tablo 4.8'den özel konutlar için alınan hareketli yük katsayısı $n = 0.5$ için Denklem (4.6) ile hesaplanmıştır, Tablo 5.5.

Tablo 5.5 : Bina Ağırlığının Hesabı

KATLAR	ÖLÜ YÜKLER					HAREKETLİ YÜKLER
	KİRİŞLER	KOLONLAR	DÖŞEMELER	DIŞ DUVAR	KİRİŞLER (Y)	
1	67.5	66.9375	378	32	40	144
2	67.5	57.375	378	32	40	144
3	67.5	39.75	378	32	40	144
4	67.5	39.75	378	32	40	144
5	67.5	26.25	378	32	40	144
6	67.5	26.25	442.8	0	40	144
TOPLAM	405	256.3125	2332.8	160	240	864
			3394.1125			

Toplam bina ağırlığı : $W = 3394.1125 + 0.5 * 864 = 3826.13 \text{ kN}$

Hesaplanan bina ağırlığı için taban kesme kuvveti F , Denklem (4.3) ile

$$F = 0.032 \times 3826.13 = 122.44 \text{ kN}$$

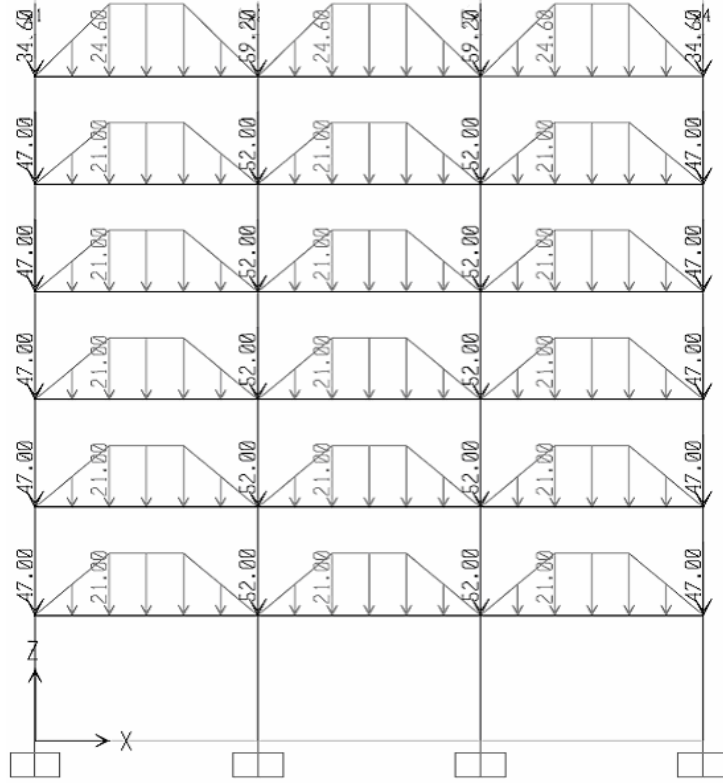
bulunur.

Hesaplanan taban kesme kuvveti Denklem (4.7) ile uyumlu olarak kat düzeylerine dağıtılır, Tablo 5.6.

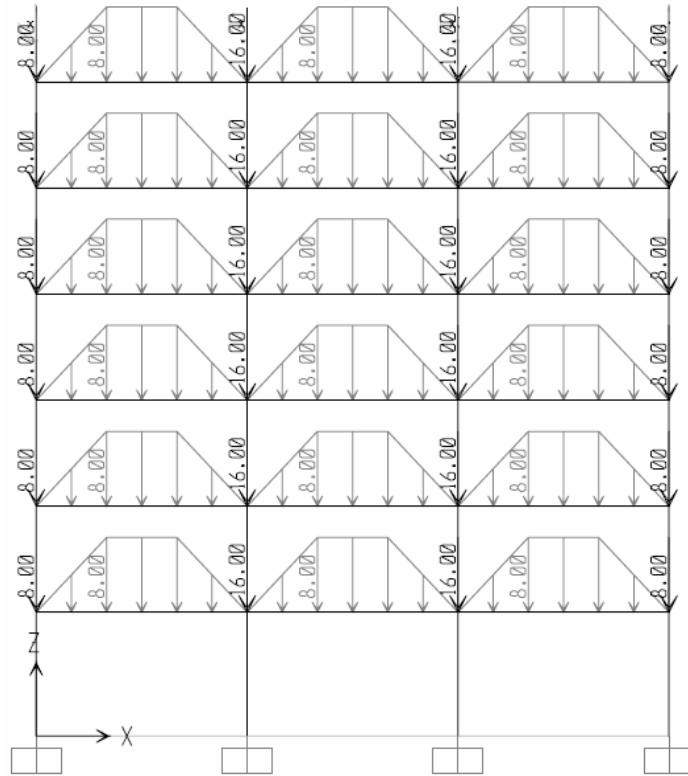
Tablo 5.6 : Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesabı

KATLAR	KAT AĞIRLIĞI	KAT YÜKSEKLİĞİ	Wi X Hi	Wi X Hi	Fi (kN)
				$\Sigma Wi X Hi$	
1	656.44	3.50	2297.53	0.05	6.72
2	646.88	6.50	4204.69	0.10	12.29
3	629.25	9.50	5977.88	0.14	17.47
4	629.25	12.50	7865.63	0.19	22.99
5	615.75	15.50	9544.13	0.23	27.90
6	648.55	18.50	11998.18	0.29	35.07

Sisteme etkiyen sabit düşey yükler Şekil 5.3' te, hareketli düşey yükler ise Şekil 5.4' te gösterilmiştir.

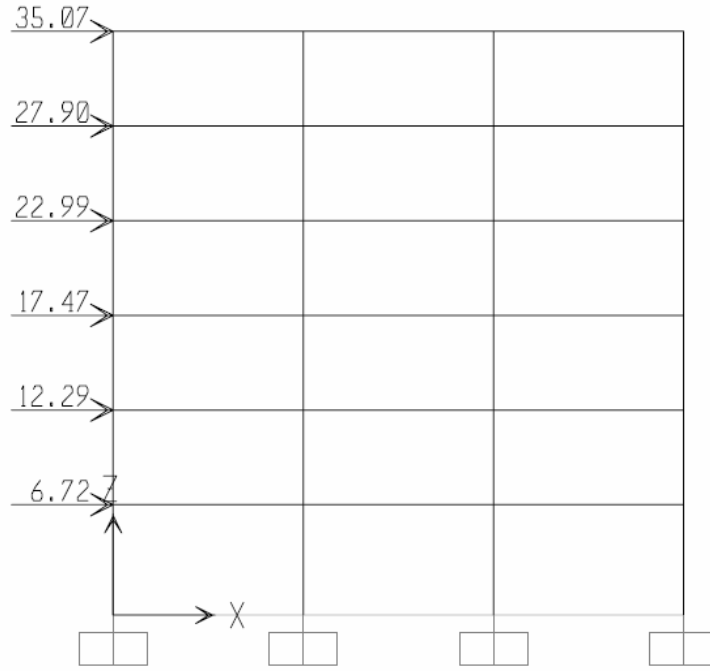


Şekil 5.3 : Sabit Düşey Yükler



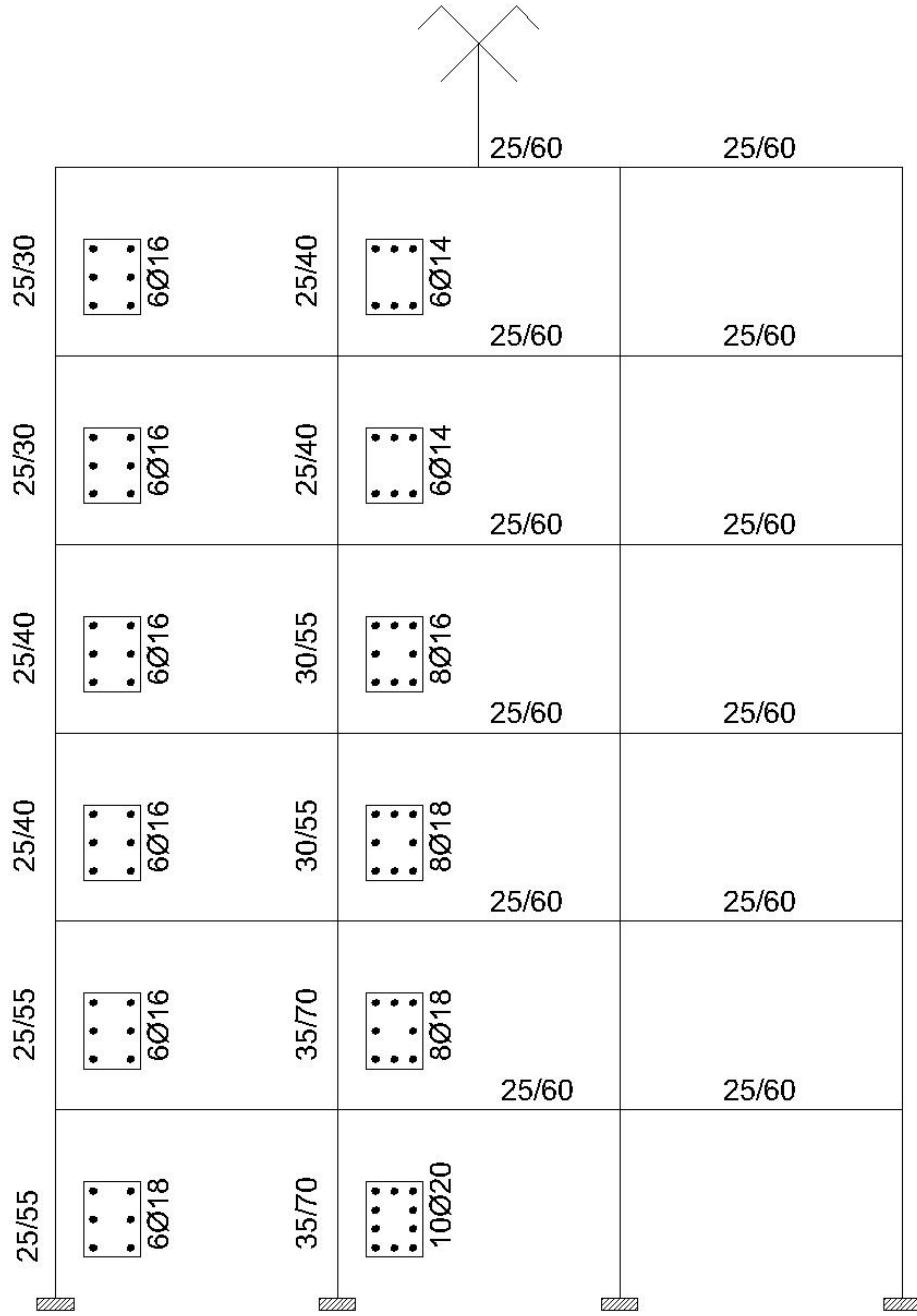
Şekil 5.4 : Hareketli Düşey Yükler

Sisteme etkiyen yatay deprem yükleri Şekil 5.5 'te görülmektedir..

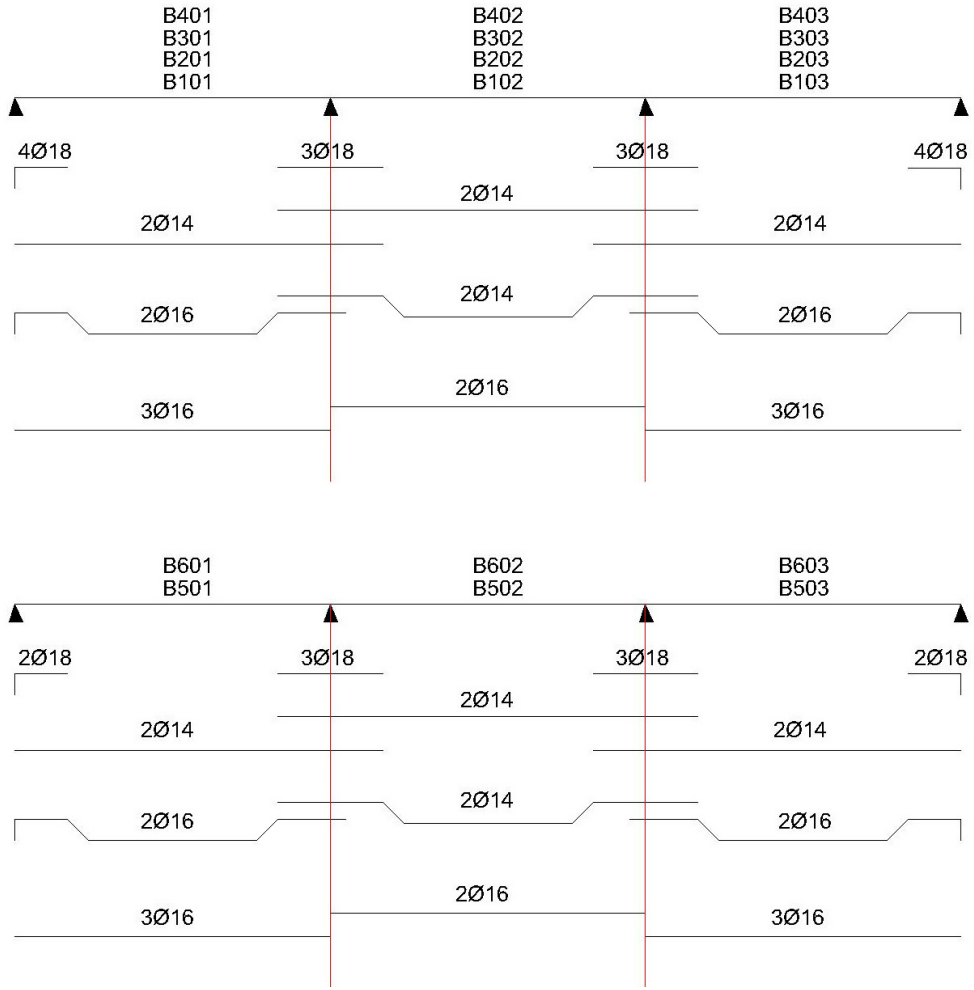


Şekil 5.5 : Deprem Yükleri

Yukarıda belirtilen yüklere bağlı olarak oluşturulan yükleme kombinasyonları için gerçekleştirilen sistem analizleri ve betonarme kesit hesapları sonucunda elde edilen kolon ve kiriş enkesit boyutları ile boyuna donatıları Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de verilmiştir.



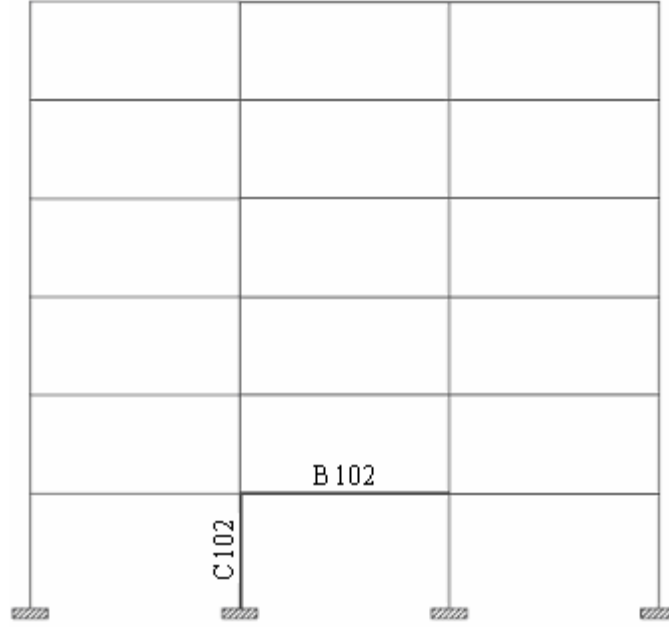
Şekil 5.6 : TSM-1 Kiriş – Kolon Boyutları ve Kolon Donatıları



Şekil 5.7 : TSM-1 Kiriş Donatıları

5.4.2 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Sistemin Deprem Performansının Belirlenmesi

TSM-1 taşıyıcı sistem modelinin, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile kesit hasar bölgelerinin belirlenmesinde izlenen hesap adımları aşağıda sayısal olarak açıklanmıştır. Hesap adımları Şekil 5.8'de gösterilen C102 kolonu ve B102 kirişi için ayrıntılı olarak verilmiş, diğer elemanlar için ise tablolar halinde özetlenmiştir.



Şekil 5.8 : Ayrıntılı Hesabı Açıklanan Kolon ve Kiriş Elemanlar

a) Sistem, deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu olan düşey işletme yükleri altında hesaplanarak kolon normal kuvvetleri (N_D) bulunur. Aşağıda verilen bağıntılar kullanılarak kolonların çatlama kesit eğilme rijitlikleri hesaplanır. N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılır. Kirişlerde çatlama kesit eğilme rijitliği $0.40 EI_0$ olarak alınır. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabında ve deprem kuvvetleri için hesapta, bu şekilde elde edilen etkin eğilme rijitlikleri kullanılır.

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

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

C102 Kolonu İçin Örnek Hesap

$$b = 35 \text{ cm}$$

$$h = 70 \text{ cm}$$

$$f_{cm} = 14 \text{ Mpa}$$

$$N_D = 1344.345 \text{ kN}$$

$$A_c = bh = 245000 \text{ mm}^2$$

$$A_c f_{cm} = 245000 \times 14 \times 10^{-3} = 3430 \text{ kN}$$

$$N_D / (A_c f_{cm}) = 1344.345 / 3430 = 0.391$$

Bu bağıntılarda f_{cm} mevcut malzeme dayanımı, bilgi düzeyi katsayısı için 1.0 değeri kullanılarak hesaplanmıştır. N_D 'nin ara değeri için yukarıda verilen sınır değerler arasında doğrusal entarpolasyon yapılarak, C102 kolonu için çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği aşağıdaki şekilde bulunur.

$$(EI_e)_{C102} = 0.79 (EI_o)_{C102}$$

B102 Kirişi İçin Örnek Hesap

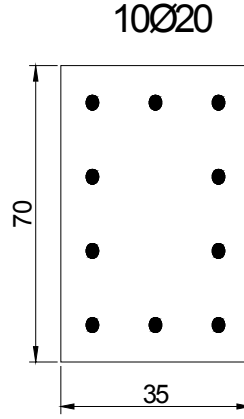
B102 kirişi için etkin eğilme rijitliği 0.40 EI_0 alınır.

$$(EI_e)_{B102} = 0.40 (EI_0)_{B102}$$

b) Kolon ve kirişlerin her iki ucunda olası plastik kesitler tanımlanır. Plastik kesitlerin akma yüzeylerinin belirlenmesinde betonarme betonu ve beton çeliğinin mevcut dayanımları kullanılır. Bu dayanım değerlerine malzeme güvenlik katsayıları uygulanmaz; buna karşılık mevcut dayanımlar bilgi düzeyi katsayısı ile çarpılır. Akma yüzeylerinin oluşturulmasında, betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 olarak alınır. Plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi terk edilir. Oluşturulan plastik kesitlerin akma yüzeyleri statik itme analizi yapılan modele veri olarak girilir.

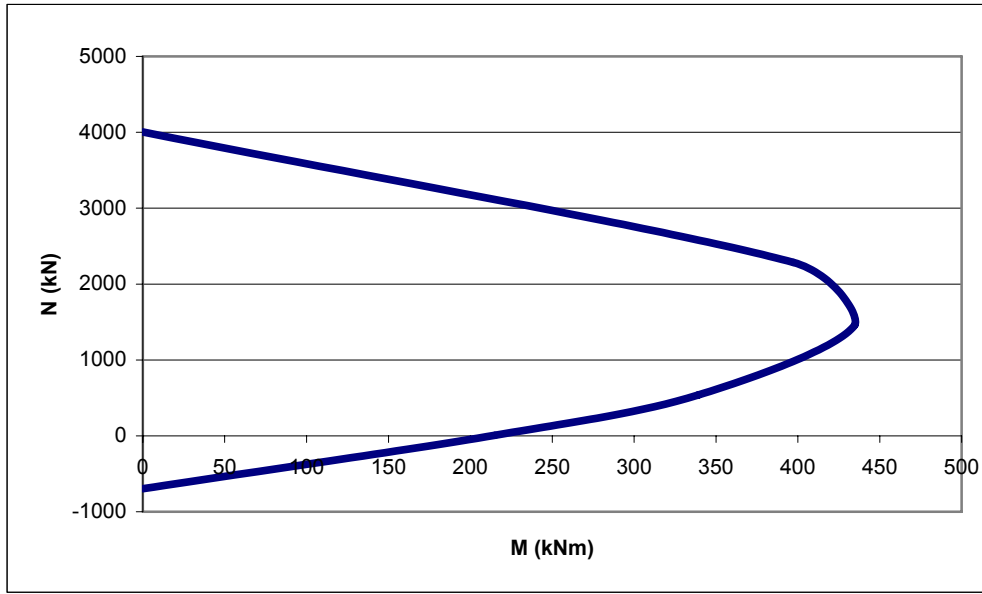
C102 Kolonu İçin Örnek Hesap

Plastik kesitlerin akma yüzeyleri XTRACT [32] kesit analiz programıyla oluşturulmuştur. Modellemede Şekil 5.9'da donatı detayı verilen C102 kolonunda Mander sargısız beton modeli kullanılmış ve donatıda pekleşme gözönüne alınmamıştır. Beton maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliği maksimum birim şekildeğiştirmesi 0.01, sınır değerleri programa veri olarak girilmiştir.



Şekil 5.9 : C102 Kolonu Donatı Detayı

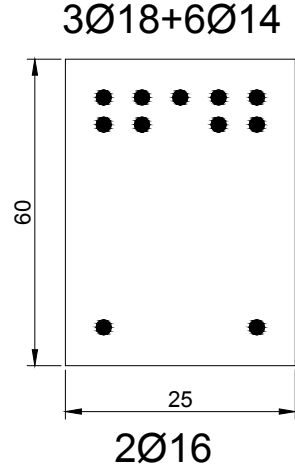
C102 kolonu için kesit analizi sonucunda elde edilen karşılıklı etki diyagramı Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Bu karşılıklı etki diyagramı statik itme analizi yapılan modele veri olarak girilmektedir.



Şekil 5.10 : C102 Kolonu İçin Karşılıklı Etki Diyagramı

B102 Kirişi İçin Örnek Hesap

Şekil 5.11'de kiriş sol ucu için donatı detayı verilen B102 kirişinde Mander sargısız beton modeli kullanılmıştır. Donatı çeliğinde pekleşme gözönüne alınmamış, beton maksimum basınç birim şekildeğiştirilmesi için 0.003, donatı çeliği maksimum birim şekildeğiştirilmesi için 0.01 sınır değerleri programa veri olarak girilmiştir.



Şekil 5.11 : B102 ,Kirişi Donatı Detayı

B102 kirişi için kesit analizi sonucunda, plastik moment değerleri aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

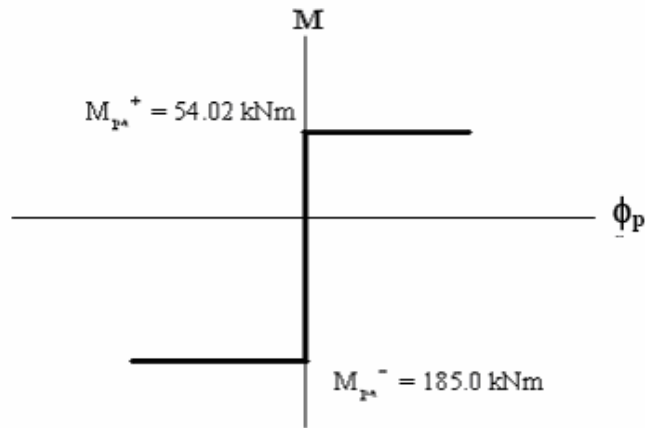
Pozitif eğilme momenti (Altta çekme)

$$M_{pa}^+ = 54.02 \text{ kNm}$$

Negatif eğilme momenti (Üstte çekme)

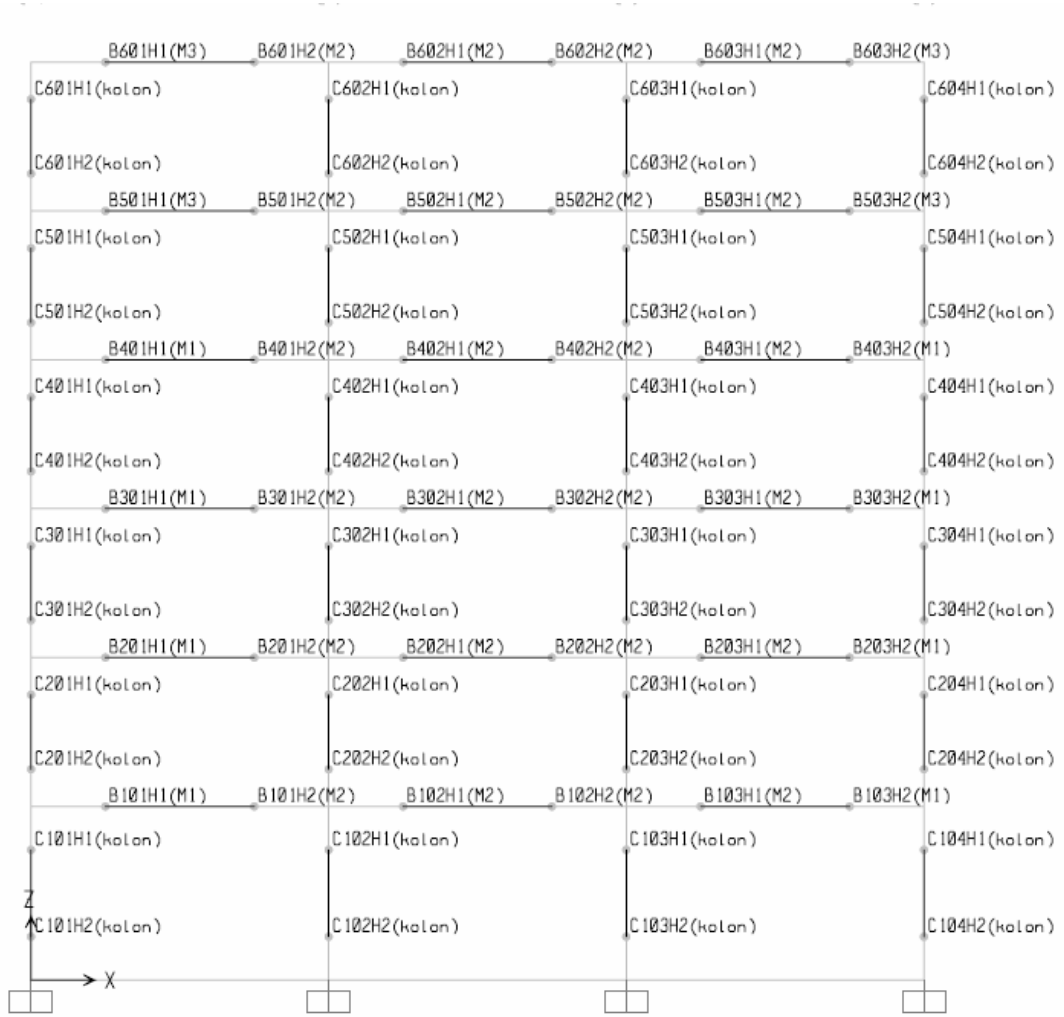
$$M_{pa}^- = 185.0 \text{ kNm}$$

Kiriş uç kesitinin eğilme momenti-plastik dönme bağıntısı Şekil 5.12’de görülmektedir. Kiriş için elde edilen bu bağıntı statik itme analizi programına veri olarak girilir.



Şekil 5.12 : B102 Kirişi Sol Mesnedi Eğilme Momenti-Plastik Dönme Grafiği

Yukarıda plastik kesitlerdeki akma eğrilerinin tanımlanması için verilen örnek hesap adımları sistem üzerindeki her olası plastik mafsal bölgesi için tekrarlanır. Tanımlanan plastik mafsallar, kolon ve kiriş uçlarında, çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit olan plastik mafsal boyunun ortasına yerleştirilir. Şekil 5.13'te, kolon ve kiriş uçlarına yerleştirilen olası plastik mafsallar ve isimleri verilmiştir.



Şekil 5.13 : Kolon ve Kiriş Uçlarındaki Olası Plastik Mafsallar

c) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu olan düşey yüklerin ($G+0.3Q$) gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır. Bu analiz sonuçları artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.

d) Kütlelerle uyumlu düşey yüklerin gözönüne alındığı doğrusal olmayan statik analizden ardından sistem, orantılı olarak arttırılan eşdeğer deprem yükleri altında doğrusal olmayan teoriye göre hesaplanır. Eşdeğer deprem yükü dağılımı, taşıyıcı

sistemdeki plastik kesitlerin oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılarak, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerlerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Bu aşamada, yapı sisteminin deprem doğrultusundaki birinci titreşim moduna ait özellikler elde edilir. Statik itme analizine, başlangıçta seçilen bir yatay yerdeğiştirme değerine kadar devam edilir.

Tablo 5.7 : TSM-1 Periyot, Etkin Kütle ve Etkin Kütle Oranı

Mod	Periyot (sn)	Etkin Kütle Oranı (%)	Toplam E.K.O. (%)
1	1.318	75.977	75.977
2	0.487	12.659	88.636
3	0.275	4.791	93.427
4	0.195	3.018	96.445
5	0.128	2.031	98.476
6	0.097	1.524	100.000

e) İtme analizinin her adımı için taban kesme kuvveti ve tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi bulunur. Analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.8’de topluca verilmiş ve bu değerlerden yararlanarak çizilen statik itme eğrisi Şekil. 5.14’te gösterilmiştir.

Tablo 5.8 : Taban Kesme Kuvveti – Tepe Noktası Yerdeğiştirmesi Değerleri

Adım	Un (cm)	Vb (kN)	Adım	Un (cm)	Vb (kN)
1	0.00	0	11	13.044	316.91
2	2.22	125.41	12	13.044	316.91
3	3.98	224.64	13	15.718	316.91
4	4.80	265.78	14	18.32	316.91
5	5.98	297.15	15	18.32	316.91
6	7.06	310.59	16	20.147	316.91
7	7.66	315.29	17	20.307	316.91
8	7.81	315.89	18	21.202	316.89
9	8.1044	316.18	19	22.193	316.85
10	10.579	316.91			



Şekil 5.14 : TSM-1 Statik İtme Eğrisi

f) Elde edilen statik itme eğrisine koordinat dönüşümü uygulanarak, birinci moda ait modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerlerinden oluşan modal kapasite diyagramı Denklem (3.2) ve Denklem (3.3)'den yararlanarak elde edilir. Denklemlerde geçen birinci (hakim) moda ait etkin kütle M_{x1} ve modal katkı çarpanı Γ_{x1} 'in bulunmasına ilişkin hesap özeti Tablo 5.9'da gösterilmiştir.

Tablo 5.9 : Etkin Kütle ve Modal Katkı Çarpanının Belirlenmesi

KAT	Wi	mi	$m_j * \phi_{xin}$	$m_j * \phi_{xin}^2$
1	627.638	63.9794	29.4625	13.5675
2	618.075	63.0046	71.107	80.2513
3	600.45	61.208	117.476	225.472
4	600.45	61.208	161.503	426.143
5	586.95	59.8318	205.702	707.203
6	619.75	63.1753	251.147	998.411
$L_{x1} = 836.3981467$ $M_1 = 2451.047133$ $\Gamma_{x1} = 0.3412411$ $\phi_{xN1} = 3.9754$ $M_{x1} = 282.94365$				

Koordinat dönüşümü ile bulunan modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerleri Tablo 5.10'da gösterilmiştir.

Tablo 5.10 : Modal Yerdeğiştirme ve Modal İvme Değerleri

$U_{xN1}^{(i)}$ (m)	$d_1^{(i)}$ (m)	$V_{x1}^{(i)}$ (kN)	$a_1^{(i)}$ (m/sn ²)
$U_{xN1}^{(1)} = 0.00$	$d_1^{(1)} = 1.43081E-14$	$V_{x1}^{(1)} = 0$	$a_1^{(1)} = 0$
$U_{xN1}^{(2)} = 2.22$	$d_1^{(2)} = 1.635964143$	$V_{x1}^{(2)} = 125.408$	$a_1^{(2)} = 0.045181046$
$U_{xN1}^{(3)} = 3.98$	$d_1^{(3)} = 2.930478914$	$V_{x1}^{(3)} = 224.641$	$a_1^{(3)} = 0.08093196$
$U_{xN1}^{(4)} = 4.80$	$d_1^{(4)} = 3.535386848$	$V_{x1}^{(4)} = 265.784$	$a_1^{(4)} = 0.095754649$
$U_{xN1}^{(5)} = 5.98$	$d_1^{(5)} = 4.410314005$	$V_{x1}^{(5)} = 297.149$	$a_1^{(5)} = 0.107054594$
$U_{xN1}^{(6)} = 7.06$	$d_1^{(6)} = 5.206808061$	$V_{x1}^{(6)} = 310.593$	$a_1^{(6)} = 0.111898097$
$U_{xN1}^{(7)} = 7.66$	$d_1^{(7)} = 5.648141694$	$V_{x1}^{(7)} = 315.287$	$a_1^{(7)} = 0.113589216$
$U_{xN1}^{(8)} = 7.81$	$d_1^{(8)} = 5.756724363$	$V_{x1}^{(8)} = 315.886$	$a_1^{(8)} = 0.113805019$
$U_{xN1}^{(9)} = 8.10$	$d_1^{(9)} = 5.974184564$	$V_{x1}^{(9)} = 316.18$	$a_1^{(9)} = 0.113910939$
$U_{xN1}^{(10)} = 10.58$	$d_1^{(10)} = 7.798491355$	$V_{x1}^{(10)} = 316.912$	$a_1^{(10)} = 0.114174658$
$U_{xN1}^{(11)} = 13.04$	$d_1^{(11)} = 9.615058037$	$V_{x1}^{(11)} = 316.912$	$a_1^{(11)} = 0.114174658$
$U_{xN1}^{(12)} = 13.04$	$d_1^{(12)} = 9.615058037$	$V_{x1}^{(12)} = 316.912$	$a_1^{(12)} = 0.114174658$
$U_{xN1}^{(13)} = 15.72$	$d_1^{(13)} = 11.58672176$	$V_{x1}^{(13)} = 316.912$	$a_1^{(13)} = 0.114174658$
$U_{xN1}^{(14)} = 18.32$	$d_1^{(14)} = 13.50486815$	$V_{x1}^{(14)} = 316.912$	$a_1^{(14)} = 0.114174658$
$U_{xN1}^{(15)} = 18.32$	$d_1^{(15)} = 13.50486815$	$V_{x1}^{(15)} = 316.912$	$a_1^{(15)} = 0.114174658$
$U_{xN1}^{(16)} = 20.15$	$d_1^{(16)} = 14.8517208$	$V_{x1}^{(16)} = 316.912$	$a_1^{(16)} = 0.114174658$
$U_{xN1}^{(17)} = 20.31$	$d_1^{(17)} = 14.96922303$	$V_{x1}^{(17)} = 316.91$	$a_1^{(17)} = 0.114173938$
$U_{xN1}^{(18)} = 21.20$	$d_1^{(18)} = 15.62890144$	$V_{x1}^{(18)} = 316.891$	$a_1^{(18)} = 0.114167093$
$U_{xN1}^{(19)} = 22.19$	$d_1^{(19)} = 16.35964143$	$V_{x1}^{(19)} = 316.846$	$a_1^{(19)} = 0.11415088$

g) Bulunan modal kapasite diyagramı ile zemin sınıfına ait ivme spektrumu eğrisi gözönüne alınarak modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{dil} 'e eşittir.

Önce doğrusal elastik (linear) spektral yerdeğiştirme S_{del} , elastik spektral ivme S_{ael} 'e bağlı olarak

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

$$(\omega_1^{(1)})^2 = 23.36$$

$$S_{ael} = 3.894 \text{ m/s}^2$$

$$S_{de1} = 0.16356 \text{ m}$$

şeklinde bulunur.

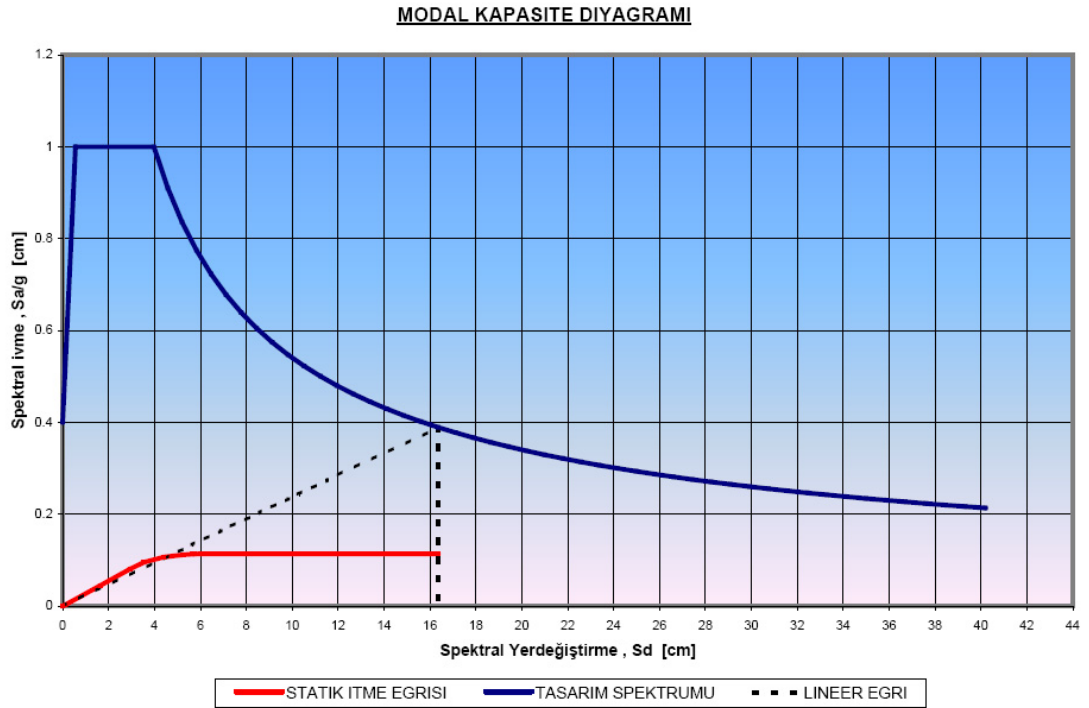
İtme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$, ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B ile karşılaştırılır.

$T_1^{(1)}$, ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'den daha büyük olduğu için eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme doğrusal elastik spektral yerdeğiştirmeye eşit olarak alınır, Tablo 5.11.

Tablo 5.11 : Modal Yerdeğiştirme İsteminin Hesaplanması

A_0	T_1	T_B	S_{ae1}	S_{de1}	CR_1	$S_{dl1}=d_1^{(p)}$
0.4	1.318	0.4	3.894	0.16356	1	0.16356

Modal yerdeğiştirmenin grafik üzerinde bulunuşu Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.15 : Spektral İvme – Spektral Yerdeğiştirme Diyagramı

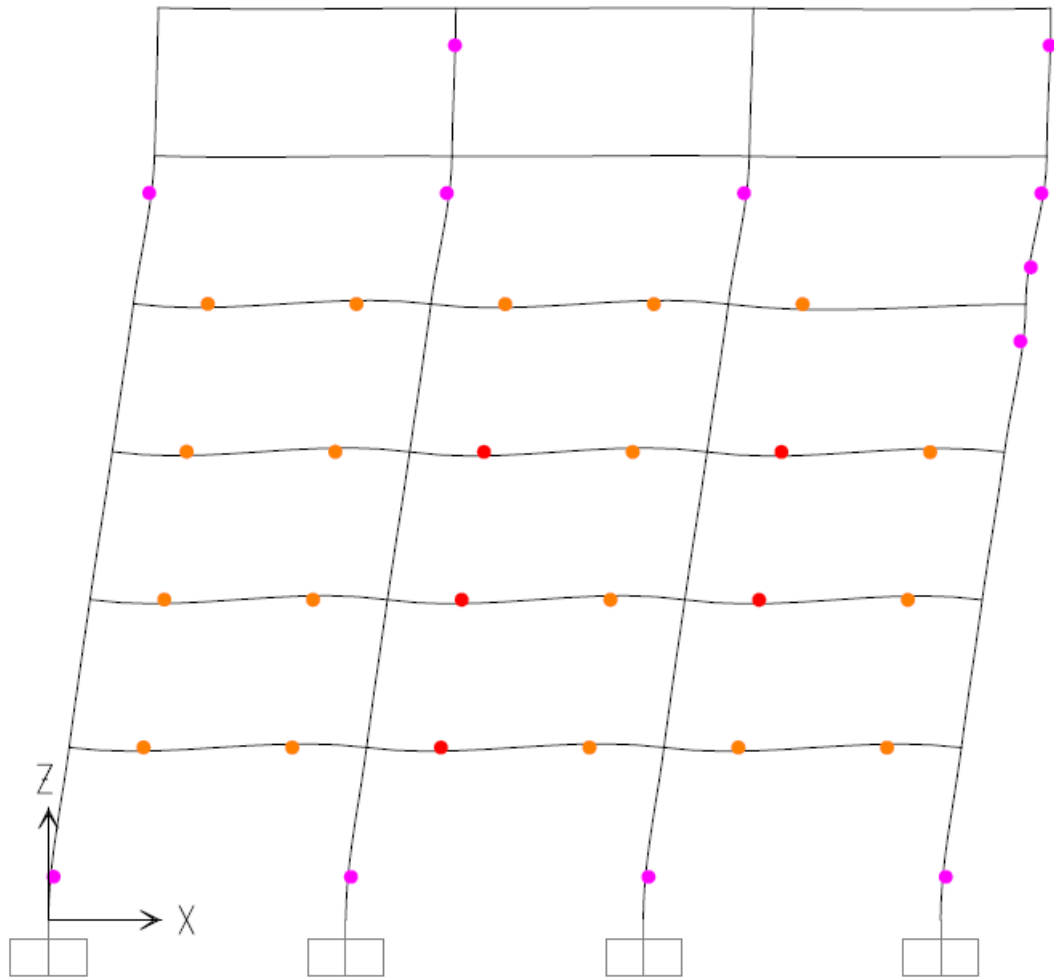
h) x deprem doğrultusundaki tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi istemi Denklem (3.11) yardımı ile hesaplanır, Tablo 5.12.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (3.11)$$

Tablo 5.12 : Tepe Noktası Yatay Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi

$\Gamma_{x1} =$	0.3412411
$\phi_{xN1} =$	3.9754
$M_{x1} =$	282.94365
$d_1^{(p)} =$	0.16356
$U_{xN1} =$	0.22193

i) Yapı sistemi bu yatay yerdeğiştirme istemine kadar itilir. Bu itme sonucunda sistemde oluşan plastik mafsallar Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16 : Yerdeğiştirme İsteminde Sistemde Oluşan Plastik Mafsallar

j) İtme analizi sonucunda tüm plastik kesitlerde elde edilen plastik mafsal dönmeleri plastik mafsal boyuna bölünerek, bu kesitlere ait plastik eğrilik istemleri elde edilir.

k) Eşdeğer akma eğriliği ϕ_y , Priestley formülü yardımıyla hesaplanır, [33].

$$\phi_y = \frac{2.1\varepsilon_{sy}}{h} \quad (5.1)$$

l) Eşdeğer akma eğriliği plastik eğrilik istemine eklenerek toplam eğrilik istemi elde edilir.

m) Kirişler için hesapta (j - l) sayılı adımlar ile hesaplanan eğrilik istemi değerleri aşağıda Tablo 5.13'te görülmektedir.

Tablo 5.13 : TSM-1’de Kirişler İçin Toplam Eğrilik İstem Değerlerinin Elde Edilmesi

Mafsal	θ_p Radian	L_p m	K_p 1/m	K_y 1/m	K_{toplam} 1/m
B101H1	0.009538	0.3	0.031793	0.003887	0.03568
B101H2	-0.011224	0.3	0.037413	0.003887	0.0413
B102H1	0.010441	0.3	0.034803	0.003887	0.03869
B102H2	-0.010711	0.3	0.035703	0.003887	0.03959
B103H1	0.009691	0.3	0.032303	0.003887	0.03619
B103H2	-0.011775	0.3	0.03925	0.003887	0.043137
B201H1	0.010504	0.3	0.035013	0.003887	0.0389
B201H2	-0.012365	0.3	0.041217	0.003887	0.045103
B202H1	0.011572	0.3	0.038573	0.003887	0.04246
B202H2	-0.011903	0.3	0.039677	0.003887	0.043563
B203H1	0.010885	0.3	0.036283	0.003887	0.04017
B203H2	-0.012723	0.3	0.04241	0.003887	0.046297
B301H1	0.010379	0.3	0.034597	0.003887	0.038483
B301H2	-0.012239	0.3	0.040797	0.003887	0.044683
B302H1	0.011469	0.3	0.03823	0.003887	0.042117
B302H2	-0.011834	0.3	0.039447	0.003887	0.043333
B303H1	0.010823	0.3	0.036077	0.003887	0.039963
B303H2	-0.012119	0.3	0.040397	0.003887	0.044283
B401H1	0.009368	0.3	0.031227	0.003887	0.035113
B401H2	-0.010834	0.3	0.036113	0.003887	0.04
B402H1	0.010103	0.3	0.033677	0.003887	0.037563
B402H2	-0.010459	0.3	0.034863	0.003887	0.03875
B403H1	0.008973	0.3	0.02991	0.003887	0.033797
B403H2	0	0.3	0	0.003887	0.003887
B501H1	0	0.3	0	0.003887	0.003887
B501H2	0	0.3	0	0.003887	0.003887
B502H1	0	0.3	0	0.003887	0.003887
B502H2	0	0.3	0	0.003887	0.003887
B503H1	0	0.3	0	0.003887	0.003887
B503H2	0	0.3	0	0.003887	0.003887
B601H1	0	0.3	0	0.003887	0.003887
B601H2	0	0.3	0	0.003887	0.003887
B602H1	0	0.3	0	0.003887	0.003887
B602H2	0	0.3	0	0.003887	0.003887
B603H1	0	0.3	0	0.003887	0.003887
B603H2	0	0.3	0	0.003887	0.003887

n) Kirişlerde, toplam eğrilik istemi için, ilgili kesitte verilen beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak eğilme momenti - eğrilik diyagramları çizilir ve betonun birim kısalma, donatı çeliğinin ise birim boy değişmesi istemleri bulunur.

Yapılan sayısal incelemelerde, donatı çeliğinin birim boy değişmesi nedeniyle hasar sınırına ulaşan kiriş kesitlerinde, donatı çeliğinin birim uzama istemi ile kesitin toplam eğrilik istemi arasında, yaklaşık olarak doğrusal bir bağıntı bulunduğu belirlenmiştir.

Bu özellikten yararlanarak, tüm kesitlerde toplam eğrilik istemine karşılık gelen donatı çeliği birim uzama istemleri kolaylıkla elde edilebilmektedir. Bu istem

değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak sünek davranışa ilişkin kesit hasar bölgeleri belirlenir, Tablo 5.14.

Tablo 5.14 : TSM-1’de Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri (+X yönü)

KAT	KIRIS	MAFSAL	Kp 1/m	Ky 1/m	Ktoplam 1/m	Es	KESIT HASAR BOLGESI
1	B101	B101H1	0.0318	0.0039	0.0357	0.0170	BHB
	B101	B101H2	0.0374	0.0039	0.0413	0.0221	BHB
	B102	B102H1	0.0348	0.0039	0.0387	0.0175	BHB
	B102	B102H2	0.0357	0.0039	0.0396	0.0212	BHB
	B103	B103H1	0.0323	0.0039	0.0362	0.0164	BHB
	B103	B103H2	0.0393	0.0039	0.0431	0.0225	BHB
2	B201	B201H1	0.0350	0.0039	0.0389	0.0185	BHB
	B201	B201H2	0.0412	0.0039	0.0451	0.0241	BHB
	B202	B202H1	0.0386	0.0039	0.0425	0.0192	BHB
	B202	B202H2	0.0397	0.0039	0.0436	0.0233	BHB
	B203	B203H1	0.0363	0.0039	0.0402	0.0182	BHB
	B203	B203H2	0.0424	0.0039	0.0463	0.0242	BHB
3	B301	B301H1	0.0346	0.0039	0.0385	0.0183	BHB
	B301	B301H2	0.0408	0.0039	0.0447	0.0239	BHB
	B302	B302H1	0.0382	0.0039	0.0421	0.0191	BHB
	B302	B302H2	0.0394	0.0039	0.0433	0.0232	BHB
	B303	B303H1	0.0361	0.0039	0.0400	0.0181	BHB
	B303	B303H2	0.0404	0.0039	0.0443	0.0231	BHB
4	B401	B401H1	0.0312	0.0039	0.0351	0.0167	BHB
	B401	B401H2	0.0361	0.0039	0.0400	0.0214	BHB
	B402	B402H1	0.0337	0.0039	0.0376	0.0170	BHB
	B402	B402H2	0.0349	0.0039	0.0388	0.0207	BHB
	B403	B403H1	0.0299	0.0039	0.0338	0.0153	BHB
	B403	B403H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
5	B501	B501H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
	B501	B501H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B502	B502H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B502	B502H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B503	B503H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B503	B503H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
6	B601	B601H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
	B601	B601H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B602	B602H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B602	B602H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B603	B603H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B603	B603H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB

o) Kolonlar için hesapta, (j - l) sayılı adımlar ile elde edilen eğrilik istemi değerleri aşağıda Tablo 5.15’de verilmiştir.

Tablo 5.15 : TSM-1’de Kolonlar İçin Toplam Eğrilik İstem Değerlerinin Elde Edilmesi

Mafsal	P KN	θ_p Radian	Lp m	Kp 1/m	Ky 1/m	Ktoplam 1/m
C101H1	-461.551	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C101H2	-473.582	0.009447	0.275	0.034353	0.00424	0.038593
C102H1	-1150.02	0	0.35	0	0.003331	0.003331
C102H2	-1171.458	0.009732	0.35	0.027806	0.003331	0.031137
C103H1	-1167.826	0	0.35	0	0.003331	0.003331
C103H2	-1189.263	0.009735	0.35	0.027814	0.003331	0.031146
C104H1	-806.978	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C104H2	-819.01	0.009519	0.275	0.034615	0.00424	0.038855
C201H1	-384.747	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C201H2	-395.059	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C202H1	-955.026	0	0.35	0	0.003331	0.003331
C202H2	-973.401	0	0.35	0	0.003331	0.003331
C203H1	-971.644	0	0.35	0	0.003331	0.003331
C203H2	-990.019	0	0.35	0	0.003331	0.003331
C204H1	-656.883	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C204H2	-667.195	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C301H1	-310.737	0	0.2	0	0.00583	0.00583
C301H2	-318.237	0	0.2	0	0.00583	0.00583
C302H1	-765.772	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C302H2	-778.147	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C303H1	-781.498	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C303H2	-793.873	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C304H1	-509.843	0	0.2	0	0.00583	0.00583
C304H2	-517.343	0	0.2	0	0.00583	0.00583
C401H1	-236.892	0	0.2	0	0.00583	0.00583
C401H2	-244.392	0	0.2	0	0.00583	0.00583
C402H1	-576.849	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C402H2	-589.224	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C403H1	-590.755	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C403H2	-603.13	0	0.275	0	0.00424	0.00424
C404H1	-362.904	-0.011822	0.2	0.05911	0.00583	0.06494
C404H2	-370.404	0	0.2	0	0.00583	0.00583
C501H1	-164.984	-0.00749	0.15	0.049933	0.007773	0.057707
C501H2	-170.609	0	0.15	0	0.007773	0.007773
C502H1	-392.729	-0.011182	0.2	0.05591	0.00583	0.06174
C502H2	-400.229	0	0.2	0	0.00583	0.00583
C503H1	-401.915	-0.010504	0.2	0.05252	0.00583	0.05835
C503H2	-409.415	0	0.2	0	0.00583	0.00583
C504H1	-220.821	-0.01163	0.15	0.077533	0.007773	0.085307
C504H2	-226.446	0.011155	0.15	0.074367	0.007773	0.08214
C601H1	-83.028	0	0.15	0	0.007773	0.007773
C601H2	-88.653	0	0.15	0	0.007773	0.007773
C602H1	-203.491	-0.000335	0.2	0.001675	0.00583	0.007505
C602H2	-210.991	0	0.2	0	0.00583	0.00583
C603H1	-209.879	0	0.2	0	0.00583	0.00583
C603H2	-217.379	0	0.2	0	0.00583	0.00583
C604H1	-97.102	-0.000747	0.15	0.00498	0.007773	0.012753
C604H2	-102.727	0	0.15	0	0.007773	0.007773

p) Kolonlarda, her farklı kolon kesiti için, beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak eğilme momenti - eğrilik ilişkileri elde edilir. Moment - eğrilik ilişkisi elde edilirken seçilen Mander sargısız beton modeli ile gözönüne alınır. Kesit analizi yapılan programa (XTRACT) performans düzeylerine göre izin verilen

şekildeğiştirme sınırları tanımlanarak ilgili kesitin, bu sınırlara karşılık gelen normal kuvvet - toplam eğrilik diyagramları elde edilir. Analiz sonucunda bulunan normal kuvvet - toplam eğrilik istemi değerleri bu diyagram üzerine yerleştirilerek kesitin hasar bölgesi belirlenir, Tablo 5.16.

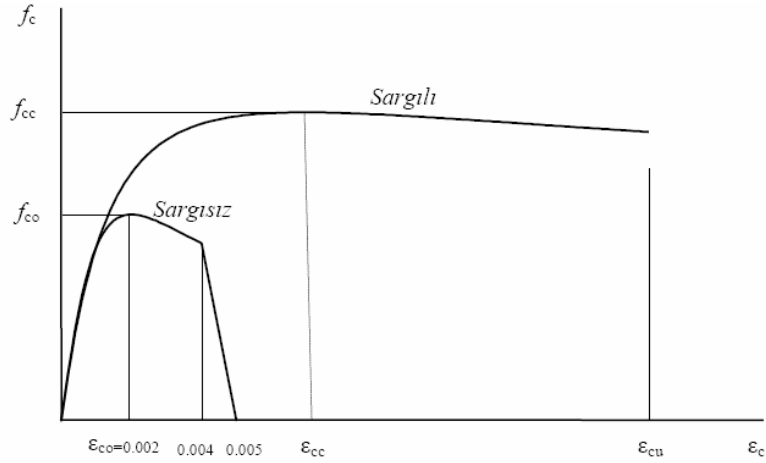
r) Yukarıda +X yönü için uygulanan hesap adımları -X yönü için de tekrarlanarak performans değerlendirmesi yapılır.

Tablo 5.16 : TSM-1’de Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri (+X yönü)

KAT	KOLON	MAFSAL	Kp 1/m	Ky 1/m	Ktoplam 1/m	P KN	KESIT HASAR BOLGESI
1	C101	C101H1	0.0000	0.0042	0.0042	461.55	MHB
	C101	C101H2	0.0344	0.0042	0.0386	473.58	GB
	C102	C102H1	0.0000	0.0033	0.0033	1150.02	MHB
	C102	C102H2	0.0278	0.0033	0.0311	1171.46	GB
	C103	C103H1	0.0000	0.0033	0.0033	1167.83	MHB
	C103	C103H2	0.0278	0.0033	0.0311	1189.26	GB
	C104	C104H1	0.0000	0.0042	0.0042	806.98	MHB
C104	C104H2	0.0346	0.0042	0.0389	819.01	GB	
2	C201	C201H1	0.0000	0.0042	0.0042	384.75	MHB
	C201	C201H2	0.0000	0.0042	0.0042	395.06	MHB
	C202	C202H1	0.0000	0.0033	0.0033	955.03	MHB
	C202	C202H2	0.0000	0.0033	0.0033	973.40	MHB
	C203	C203H1	0.0000	0.0033	0.0033	971.64	MHB
	C203	C203H2	0.0000	0.0033	0.0033	990.02	MHB
	C204	C204H1	0.0000	0.0042	0.0042	656.88	MHB
C204	C204H2	0.0000	0.0042	0.0042	667.20	MHB	
3	C301	C301H1	0.0000	0.0058	0.0058	310.74	MHB
	C301	C301H2	0.0000	0.0058	0.0058	318.24	MHB
	C302	C302H1	0.0000	0.0042	0.0042	765.77	MHB
	C302	C302H2	0.0000	0.0042	0.0042	778.15	MHB
	C303	C303H1	0.0000	0.0042	0.0042	781.50	MHB
	C303	C303H2	0.0000	0.0042	0.0042	793.87	MHB
	C304	C304H1	0.0000	0.0058	0.0058	509.84	MHB
C304	C304H2	0.0000	0.0058	0.0058	517.34	MHB	
4	C401	C401H1	0.0000	0.0058	0.0058	236.89	MHB
	C401	C401H2	0.0000	0.0058	0.0058	244.39	MHB
	C402	C402H1	0.0000	0.0042	0.0042	576.85	MHB
	C402	C402H2	0.0000	0.0042	0.0042	589.22	MHB
	C403	C403H1	0.0000	0.0042	0.0042	590.76	MHB
	C403	C403H2	0.0000	0.0042	0.0042	603.13	MHB
	C404	C404H1	0.0591	0.0058	0.0649	362.90	GB
C404	C404H2	0.0000	0.0058	0.0058	370.40	MHB	
5	C501	C501H1	0.0499	0.0078	0.0577	164.98	GB
	C501	C501H2	0.0000	0.0078	0.0078	170.61	MHB
	C502	C502H1	0.0559	0.0058	0.0617	392.73	GB
	C502	C502H2	0.0000	0.0058	0.0058	400.23	MHB
	C503	C503H1	0.0525	0.0058	0.0584	401.92	GB
	C503	C503H2	0.0000	0.0058	0.0058	409.42	MHB
	C504	C504H1	0.0775	0.0078	0.0853	220.82	GB
C504	C504H2	0.0744	0.0078	0.0821	226.45	MHB	
6	C601	C601H1	0.0000	0.0078	0.0078	83.03	MHB
	C601	C601H2	0.0000	0.0078	0.0078	88.65	MHB
	C602	C602H1	0.0017	0.0058	0.0075	203.49	MHB
	C602	C602H2	0.0000	0.0058	0.0058	210.99	MHB
	C603	C603H1	0.0000	0.0058	0.0058	209.88	MHB
	C603	C603H2	0.0000	0.0058	0.0058	217.38	MHB
	C604	C604H1	0.0050	0.0078	0.0128	97.10	MHB
C604	C604H2	0.0000	0.0078	0.0078	102.73	MHB	

B102 Kirişi İçin Örnek Hesap

Plastik mafsalların kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan moment - eğrilik diyagramları kesit analiz programı XTRACT ile elde edilmiştir. Analiz modelinde, Şekil 5.4'te geometrisi ve donatı detayı verilen B102 kirişi için Mander sargısız beton modeli seçilmiştir, Şekil 5.17.



Şekil 5.17 : Kesit Analizinde Kullanılan Beton Modeli

Sargısız beton malzeme modelinde beton ezilme birim kısalması $\epsilon_{cu} = 0.004$, beton dağılma birim kısalması $\epsilon_c = 0.005$ ve sargısız beton dayanımı $f_{co} = 14$ Mpa alınmıştır. Çelik modelinde ise, S220 çeliği için akma birim uzaması $\epsilon_{sy} = 0.0011$, $\epsilon_{su} = 0.16$, donatı çeliği akma dayanımı $f_{sy} = 220$ Mpa alınmıştır.

Statik itme analizi sonucunda B101 kirişinin sol ucu için elde edilen plastik dönme değeri plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik bulunur. Plastik mafsal boyu, çalışan kesit boyutunun yarısı olarak alınır.

$$b = 25 \text{ cm}$$

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

$$L_p = 60/2 = 30 \text{ cm}$$

$$\theta_p = 0.01044 \text{ radyan}$$

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = \frac{0.01044}{0.3} = 0.0348 \text{ rad / m}$$

Hesaplanan eğrilik akma eğriliği ile toplanarak toplam eğrilik elde edilir. Akma eğriliğinin hesabı için Denklem (5.1)'da verilen Priestley formülü kullanılır.

$$\phi_y = \frac{2.1\varepsilon_{sy}}{h} = \phi_y = \frac{2.1 \times 0.0011}{0.6} = 0.00385 \text{ rad / m}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.03865 \text{ rad / m}$$

Yapılan moment - eğrilik analizi sonucunda, bulunan toplam eğriliklerden yararlanarak beton basınç birim şekildeğiştirmesi ve donatı çeliği birim şekildeğiştirme değerleri elde edilir.

$$\varepsilon_c = 0.00164, \quad \varepsilon_s = 0.0175$$

Bu istem değerleri kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak sünek davranışa ilişkin kesit hasar bölgeleri belirlenir.

$$\varepsilon_c = 0.00164 < (\varepsilon_c)_{MN} = 0.0035$$

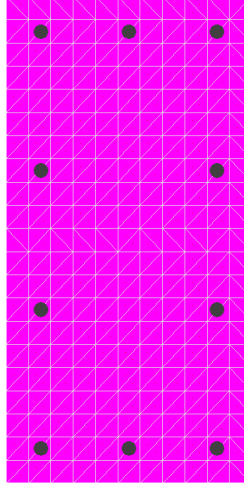
$$(\varepsilon_s)_{MN} = 0.01 < \varepsilon_s = 0.0175 < (\varepsilon_s)_{GV} = 0.04$$

Kesit hasar bölgesi *belirgin hasar bölgesi* olarak belirlenir.

Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi minimum ve güvenlik hasar sınırları arasında bulunduğundan kesit hasar bölgesi *belirgin hasar bölgesi* olarak belirlenir.

C102 Kolonu İçin Örnek Hesap

Şekil 5.8'de geometrisi ve donatı detayı verilen C102 kolonunun alt ucuna ait moment-eğrilik bağıntısı için, kolon betonunda Mander sargısız beton modeli kullanılmıştır, Şekil 5.18.



Şekil 5.18 : C102 Kolonu Kesit Analiz Modeli

Statik itme analizi sonucunda S102 kolonunun alt ucu için elde edilen plastik dönme değeri plastik mafsalsal boyuna bölünerek plastik eğrilik bulunur. Plastik mafsalsal boyu çalışan kesit boyutunun yarısı alınır.

$$b = 35 \text{ cm}$$

$$h = 70 \text{ cm}$$

$$L_p = 70/2 = 35 \text{ cm}$$

$$\theta_p = 0.009732 \text{ radyan}$$

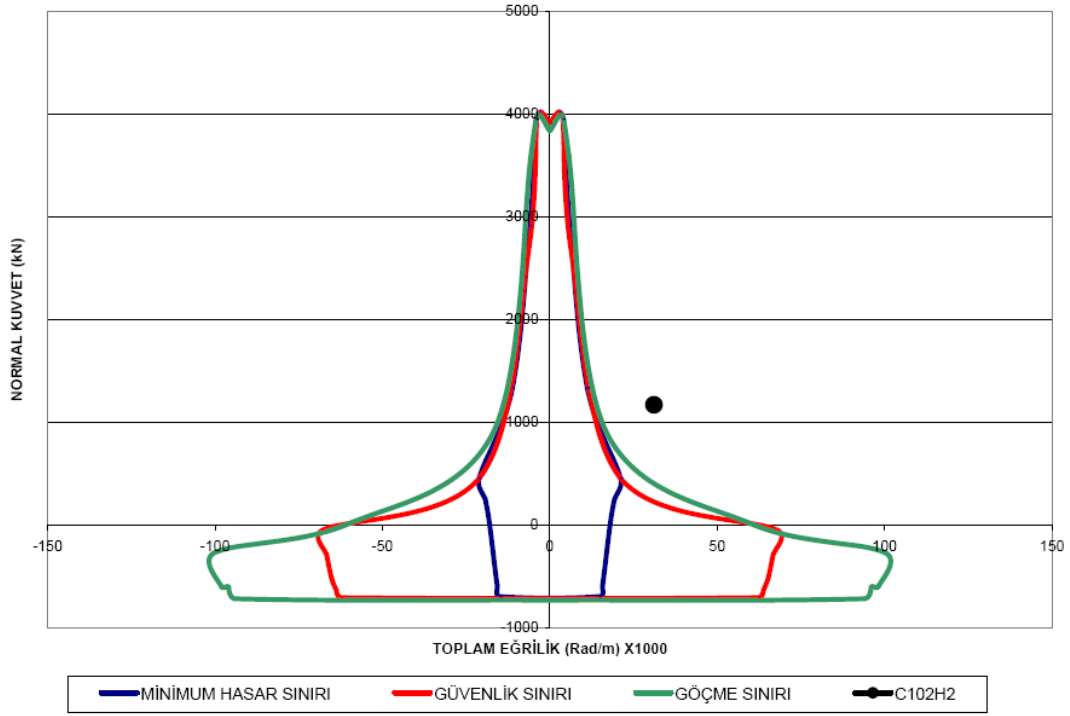
$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = \frac{0.009732}{0.35} = 0.0278 \text{ rad / m}$$

Hesaplanan eğrilik akma eğrili ile toplanarak toplam eğrilik elde edilir. Akma eğriliğinin hesabı için Denklem 5.1'de verilen Priestley formülü kullanılır.

$$\phi_y = \frac{2.1\varepsilon_{sy}}{h} = \phi_y = \frac{2.1 \times 0.0011}{0.7} = 0.0033 \text{ rad / m}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.0311 \text{ rad / m}$$

C102 kolonu için, çeşitli hasar bölgelerine göre izin verilen beton ve çelik birim şekildeğiştirme sınırları kesit analizi yapılan programa tanımlanarak, ilgili kesitin bu sınırlara karşılık gelen normal kuvvet - toplam eğrilik diyagramları elde edilir. Analiz sonucunda bulunan normal kuvvet ve toplam eğrilik istemi değerleri bu diyagram üzerine yerleştirilerek kesitin hasar bölgesi belirlenir, Şekil 5.19.



Şekil 5.19 : C102 Kolonu Kesit Hasar Bölgesinin Belirlenmesi

5.5 TSM-1A İçin Performans Değerlendirmesi

TSM-1A taşıyıcı sistem modeli, TSM-1 taşıyıcı sistem modelinden farklı olarak 10 N/mm^2 karakteristik beton dayanımına sahiptir. Kolon ve kirişlere ait boyuna donatılar TSM-1 olarak tanımlanan sistem ile benzerdir.

Bu taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilen benzer incelemeler sonucunda belirlenen, kolon ve kiriş kesitlerine ait kesit hasar bölgeleri aşağıdaki tablolarda görülmektedir, Tablo 5.17, Tablo 5.18.

Tablo 5.17 : TSM-1A'da Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri (+X yönü)

KAT	KIRIS	MAFSAL	Kp 1/m	Ky 1/m	Ktoplam 1/m	Es	KESIT HASAR BOLGESI
1	B101	B101H1	0.0335	0.0039	0.0374	0.0184	BHB
	B101	B101H2	0.0399	0.0039	0.0437	0.0234	BHB
	B102	B102H1	0.0366	0.0039	0.0405	0.0184	BHB
	B102	B102H2	0.0381	0.0039	0.0420	0.0224	BHB
	B103	B103H1	0.0342	0.0039	0.0381	0.0173	BHB
	B103	B103H2	0.0418	0.0039	0.0457	0.0239	BHB
2	B201	B201H1	0.0348	0.0039	0.0387	0.0191	BHB
	B201	B201H2	0.0412	0.0039	0.0451	0.0241	BHB
	B202	B202H1	0.0382	0.0039	0.0421	0.0191	BHB
	B202	B202H2	0.0398	0.0039	0.0436	0.0233	BHB
	B203	B203H1	0.0359	0.0039	0.0398	0.0180	BHB
	B203	B203H2	0.0430	0.0039	0.0469	0.0245	BHB
3	B301	B301H1	0.0320	0.0039	0.0359	0.0177	BHB
	B301	B301H2	0.0385	0.0039	0.0424	0.0227	BHB
	B302	B302H1	0.0355	0.0039	0.0394	0.0179	BHB
	B302	B302H2	0.0371	0.0039	0.0410	0.0219	BHB
	B303	B303H1	0.0323	0.0039	0.0362	0.0164	BHB
	B303	B303H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
4	B401	B401H1	0.0275	0.0039	0.0314	0.0154	BHB
	B401	B401H2	0.0332	0.0039	0.0371	0.0198	BHB
	B402	B402H1	0.0304	0.0039	0.0343	0.0155	BHB
	B402	B402H2	0.0319	0.0039	0.0358	0.0191	BHB
	B403	B403H1	0.0253	0.0039	0.0292	0.0132	BHB
	B403	B403H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
5	B501	B501H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
	B501	B501H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B502	B502H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B502	B502H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B503	B503H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B503	B503H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
6	B601	B601H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
	B601	B601H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B602	B602H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B602	B602H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B603	B603H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B603	B603H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB

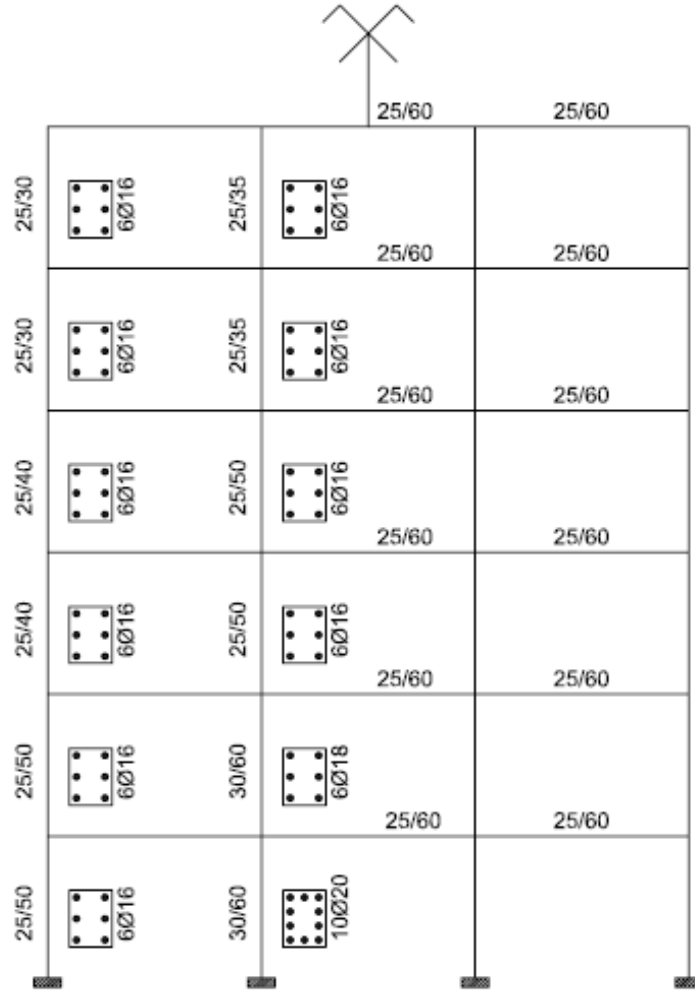
Tablo 5.18: TSM-1A’da Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri (+ X yönü)

KAT	KOLON	MAFSAL	K _p 1/m	K _y 1/m	K _{topl} 1/m	P KN	KESİT HASAR BÖLGESİ
1	C101	C101H1	0.0000	0.0042	0.0042	466.07	MHB
	C101	C101H2	0.0402	0.0042	0.0444	478.10	GB
	C102	C102H1	0.0000	0.0033	0.0033	1147.70	MHB
	C102	C102H2	0.0323	0.0033	0.0357	1169.14	GB
	C103	C103H1	0.0000	0.0033	0.0033	1175.03	MHB
	C103	C103H2	0.0324	0.0033	0.0357	1196.47	GB
	C104	C104H1	0.0000	0.0042	0.0042	797.58	MHB
C104	C104H2	0.0412	0.0042	0.0455	809.61	GB	
2	C201	C201H1	0.0000	0.0042	0.0042	388.65	MHB
	C201	C201H2	0.0000	0.0042	0.0042	398.96	MHB
	C202	C202H1	0.0000	0.0033	0.0033	952.83	MHB
	C202	C202H2	0.0000	0.0033	0.0033	971.21	MHB
	C203	C203H1	0.0000	0.0033	0.0033	978.45	MHB
	C203	C203H2	0.0000	0.0033	0.0033	996.82	MHB
	C204	C204H1	0.0000	0.0042	0.0042	648.37	MHB
C204	C204H2	0.0000	0.0042	0.0042	658.69	MHB	
3	C301	C301H1	0.0000	0.0058	0.0058	314.28	MHB
	C301	C301H2	0.0000	0.0058	0.0058	321.78	MHB
	C302	C302H1	0.0000	0.0042	0.0042	763.95	MHB
	C302	C302H2	0.0000	0.0042	0.0042	776.33	MHB
	C303	C303H1	0.0000	0.0042	0.0042	787.61	MHB
	C303	C303H2	0.0000	0.0042	0.0042	799.98	MHB
	C304	C304H1	0.0632	0.0058	0.0690	502.01	GB
C304	C304H2	0.0000	0.0058	0.0058	509.51	MHB	
4	C401	C401H1	0.0000	0.0058	0.0058	239.87	MHB
	C401	C401H2	0.0000	0.0058	0.0058	247.37	MHB
	C402	C402H1	0.0000	0.0042	0.0042	575.14	MHB
	C402	C402H2	0.0000	0.0042	0.0042	587.52	MHB
	C403	C403H1	0.0000	0.0042	0.0042	595.60	MHB
	C403	C403H2	0.0000	0.0042	0.0042	607.98	MHB
	C404	C404H1	0.0634	0.0058	0.0692	356.79	GB
C404	C404H2	0.0572	0.0058	0.0630	364.29	GB	
5	C501	C501H1	0.0489	0.0078	0.0567	167.38	GB
	C501	C501H2	0.0000	0.0078	0.0078	173.00	MHB
	C502	C502H1	0.0506	0.0058	0.0565	391.07	GB
	C502	C502H2	0.0000	0.0058	0.0058	398.57	MHB
	C503	C503H1	0.0476	0.0058	0.0534	403.66	GB
	C503	C503H2	0.0000	0.0058	0.0058	411.16	MHB
	C504	C504H1	0.0770	0.0078	0.0848	218.34	GB
C504	C504H2	0.0779	0.0078	0.0857	223.97	GB	
6	C601	C601H1	0.0000	0.0078	0.0078	83.64	MHB
	C601	C601H2	0.0000	0.0078	0.0078	89.27	MHB
	C602	C602H1	0.0019	0.0058	0.0077	203.22	MHB
	C602	C602H2	0.0000	0.0058	0.0058	210.72	MHB
	C603	C603H1	0.0000	0.0058	0.0058	210.21	MHB
	C603	C603H2	0.0000	0.0058	0.0058	217.71	MHB
	C604	C604H1	0.0096	0.0078	0.0174	96.43	MHB
C604	C604H2	0.0003	0.0078	0.0080	102.06	MHB	

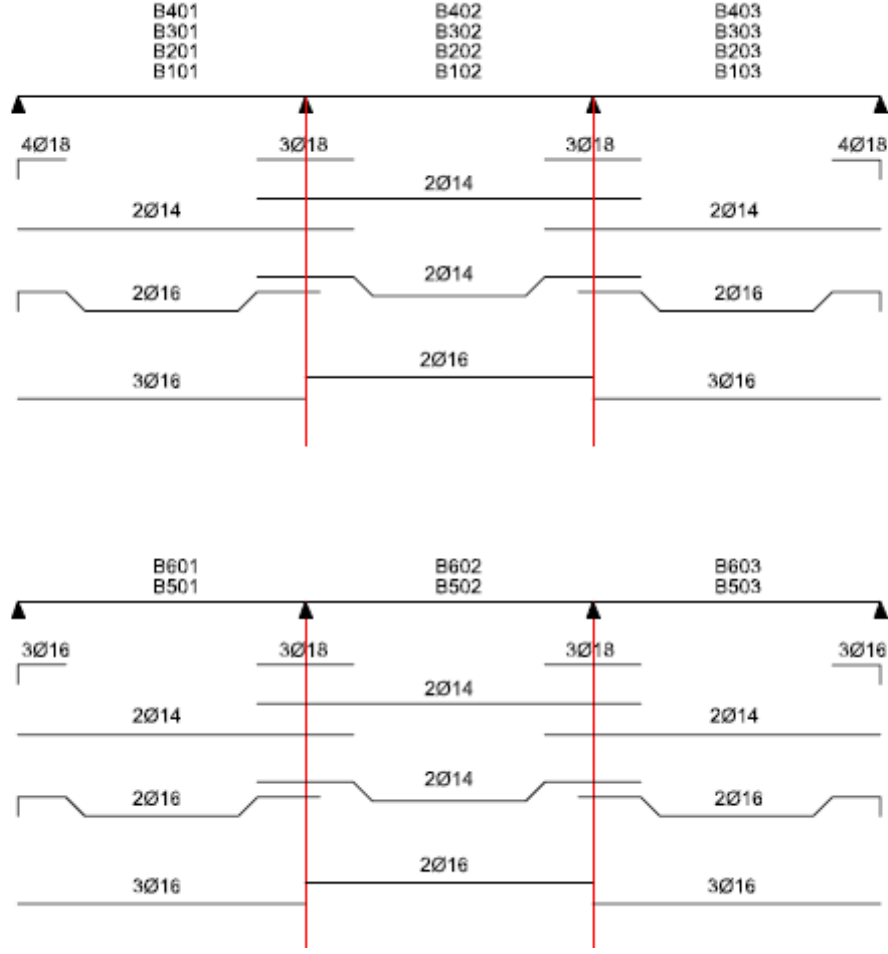
5.6 TSM-2 İçin Performans Değerlendirmesi

TSM-2 taşıyıcı sistem modeli, TSM-1 taşıyıcı sistem modelinden farklı olarak, kolonlarda normal kuvvet için kontrol yapılmaksızın boyutlandırılmış, kolon kesitleri ve boyuna donatıları dışmerkez basınca maruz bir eleman için yapılan boyutlandırma

sonucunda seçilmiştir. Seçilen kolon ve kiriş enkesitleri ile boyuna donatıları Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 : TSM-2 Kiriş – Kolon Kesitleri ve Kolon Donatıları



Şekil 5.21 : TSM-2 Kiriş Donatıları

Bu taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilen benzer incelemeler sonucunda belirlenen, kolon ve kiriş kesitlerine ait kesit hasar bölgeleri aşağıdaki tablolarda görülmektedir, Tablo 5.19, Tablo 5.20.

Tablo 5.19 : TSM-2’de Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri (+X yönü)

KAT	KIRIS	MAFSAL	Kp 1/m	Ky 1/m	Ktoplam 1/m	Es	KESIT HASAR BOLGESI
1	B101	B101H1	0.0461	0.0039	0.0500	0.0238	BHB
	B101	B101H2	0.0518	0.0039	0.0557	0.0298	BHB
	B102	B102H1	0.0492	0.0039	0.0530	0.0240	BHB
	B102	B102H2	0.0503	0.0039	0.0542	0.0289	BHB
	B103	B103H1	0.0472	0.0039	0.0510	0.0231	BHB
	B103	B103H2	0.0533	0.0039	0.0572	0.0298	BHB
2	B201	B201H1	0.0483	0.0039	0.0522	0.0248	BHB
	B201	B201H2	0.0530	0.0039	0.0569	0.0304	BHB
	B202	B202H1	0.0506	0.0039	0.0545	0.0247	BHB
	B202	B202H2	0.0514	0.0039	0.0553	0.0296	BHB
	B203	B203H1	0.0484	0.0039	0.0523	0.0237	BHB
	B203	B203H2	0.0550	0.0039	0.0589	0.0307	BHB
3	B301	B301H1	0.0212	0.0039	0.0251	0.0119	BHB
	B301	B301H2	0.0213	0.0039	0.0252	0.0134	BHB
	B302	B302H1	0.0192	0.0039	0.0230	0.0104	BHB
	B302	B302H2	0.0202	0.0039	0.0241	0.0129	BHB
	B303	B303H1	0.0172	0.0039	0.0211	0.0096	MHB
	B303	B303H2	0.0232	0.0039	0.0271	0.0141	BHB
4	B401	B401H1	0.0122	0.0039	0.0161	0.0077	MHB
	B401	B401H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B402	B402H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0018	MHB
	B402	B402H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B403	B403H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0018	MHB
	B403	B403H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
5	B501	B501H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
	B501	B501H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B502	B502H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B502	B502H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B503	B503H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B503	B503H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
6	B601	B601H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
	B601	B601H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B602	B602H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B602	B602H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B603	B603H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B603	B603H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB

Tablo 5.20: TSM-2’de Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri (+ X yönü)

KAT	KOLON	MAFSAL	Kp	Ky	Ktoplam	P	KESIT HASAR BÖLGESİ
			1/m	1/m	1/m	KN	
1	C101	C101H1	0.0573	0.0047	0.0619	476.25	GB
	C101	C101H2	0.0000	0.0047	0.0047	465.31	MHB
	C102	C102H1	0.0472	0.0039	0.0510	1160.80	GB
	C102	C102H2	0.0000	0.0039	0.0039	1145.05	MHB
	C103	C103H1	0.0472	0.0039	0.0510	1164.41	GB
	C103	C103H2	0.0000	0.0039	0.0039	1148.66	MHB
	C104	C104H1	0.0577	0.0047	0.0623	810.92	GB
	C104	C104H2	0.0000	0.0047	0.0047	799.98	MHB
2	C201	C201H1	0.0000	0.0047	0.0047	398.79	MHB
	C201	C201H2	0.0000	0.0047	0.0047	389.41	MHB
	C202	C202H1	0.0000	0.0039	0.0039	968.28	MHB
	C202	C202H2	0.0000	0.0039	0.0039	954.78	MHB
	C203	C203H1	0.0000	0.0039	0.0039	970.68	MHB
	C203	C203H2	0.0000	0.0039	0.0039	957.18	MHB
	C204	C204H1	0.0000	0.0047	0.0047	660.55	MHB
	C204	C204H2	0.0000	0.0047	0.0047	651.18	MHB
3	C301	C301H1	0.0000	0.0058	0.0058	322.86	MHB
	C301	C301H2	0.0309	0.0058	0.0367	315.36	GB
	C302	C302H1	0.0000	0.0047	0.0047	778.18	MHB
	C302	C302H2	0.0347	0.0047	0.0394	768.80	GB
	C303	C303H1	0.0000	0.0047	0.0047	779.12	MHB
	C303	C303H2	0.0346	0.0047	0.0392	769.75	GB
	C304	C304H1	0.0000	0.0058	0.0058	511.69	MHB
	C304	C304H2	0.0424	0.0058	0.0483	504.19	GB
4	C401	C401H1	0.0000	0.0058	0.0058	248.99	MHB
	C401	C401H2	0.0000	0.0058	0.0058	241.49	MHB
	C402	C402H1	0.0000	0.0047	0.0047	592.09	MHB
	C402	C402H2	0.0239	0.0047	0.0286	582.71	GB
	C403	C403H1	0.0000	0.0047	0.0047	591.62	MHB
	C403	C403H2	0.0205	0.0047	0.0252	582.24	GB
	C404	C404H1	0.0000	0.0058	0.0058	364.70	MHB
	C404	C404H2	0.0306	0.0058	0.0364	357.20	GB
5	C501	C501H1	0.0000	0.0078	0.0078	173.75	MHB
	C501	C501H2	0.0253	0.0078	0.0331	168.13	MHB
	C502	C502H1	0.0371	0.0067	0.0438	401.55	GB
	C502	C502H2	0.0418	0.0067	0.0485	394.99	GB
	C503	C503H1	0.0325	0.0067	0.0391	402.19	GB
	C503	C503H2	0.0383	0.0067	0.0449	395.63	GB
	C504	C504H1	0.0437	0.0078	0.0514	225.46	GB
	C504	C504H2	0.0495	0.0078	0.0573	219.83	GB
6	C601	C601H1	0.0000	0.0078	0.0078	89.68	MHB
	C601	C601H2	0.0000	0.0078	0.0078	84.06	MHB
	C602	C602H1	0.0000	0.0067	0.0067	210.48	MHB
	C602	C602H2	0.0000	0.0067	0.0067	203.91	MHB
	C603	C603H1	0.0000	0.0067	0.0067	215.14	MHB
	C603	C603H2	0.0000	0.0067	0.0067	208.58	MHB
	C604	C604H1	0.0000	0.0078	0.0078	102.57	MHB
	C604	C604H2	0.0066	0.0078	0.0144	96.95	MHB

5.7 TSM-2A İçin Performans Değerlendirmesi

TSM-2A taşıyıcı sistem modeli, TSM-2 taşıyıcı sistem modelinden farklı olarak, 10 N/mm² karakteristik beton dayanımına sahiptir. Kolon ve kirişlere ait boyuna donatılar TSM-2 olarak tanımlanan sistem ile benzerdir.

Bu taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilen benzer incelemeler sonucunda belirlenen, kolon ve kiriş kesitlerine ait kesit hasar bölgeleri aşağıdaki tablolarda görülmektedir, Tablo 5.21, Tablo 5.22.

Tablo 5.21 : TSM-2A'da Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri (+X yönü)

KAT	KIRIS	MAFSAL	Kp 1/m	Ky 1/m	Ktoplam 1/m	Es	KESIT HASAR BOLGESI
1	B101	B101H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0018	MHB
	B101	B101H2	0.0015	0.0039	0.0054	0.0029	MHB
	B102	B102H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0018	MHB
	B102	B102H2	0.0016	0.0039	0.0054	0.0029	MHB
	B103	B103H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0018	MHB
	B103	B103H2	0.0040	0.0039	0.0079	0.0041	MHB
2	B201	B201H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0018	MHB
	B201	B201H2	0.0026	0.0039	0.0064	0.0034	MHB
	B202	B202H1	0.0001	0.0039	0.0040	0.0018	MHB
	B202	B202H2	0.0018	0.0039	0.0056	0.0030	MHB
	B203	B203H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0018	MHB
	B203	B203H2	0.0054	0.0039	0.0092	0.0048	MHB
3	B301	B301H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0018	MHB
	B301	B301H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B302	B302H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0018	MHB
	B302	B302H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B303	B303H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0018	MHB
	B303	B303H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
4	B401	B401H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0018	MHB
	B401	B401H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B402	B402H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0018	MHB
	B402	B402H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B403	B403H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B403	B403H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
5	B501	B501H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
	B501	B501H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B502	B502H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B502	B502H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B503	B503H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B503	B503H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
6	B601	B601H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB
	B601	B601H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B602	B602H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B602	B602H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B603	B603H1	0.0000	0.0039	0.0039	0.0021	MHB
	B603	B603H2	0.0000	0.0039	0.0039	0.0020	MHB

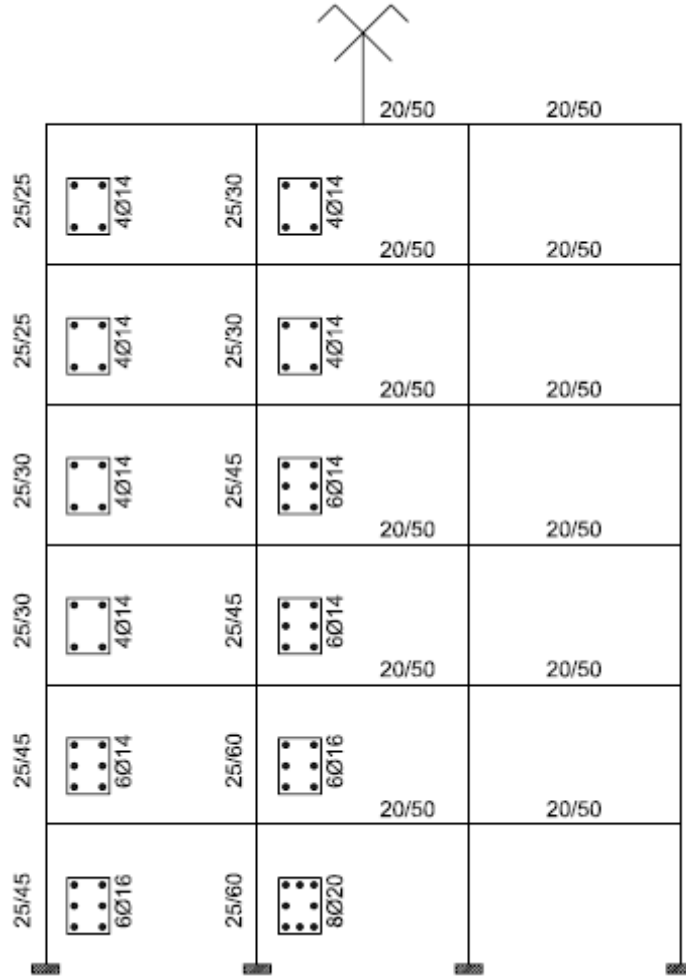
Tablo 5.22 : TSM-2A'da Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri (+ X yönü)

KAT	KOLON	MAFSAL	Kp	Ky	Ktoplam	P	KESİT HASAR BÖLGESİ
			1/m	1/m	1/m	KN	
1	C101	C101H1	0.0024	0.0047	0.0071	498.44	MHB
	C101	C101H2	0.0000	0.0047	0.0047	487.51	MHB
	C102	C102H1	0.0026	0.0039	0.0065	1154.60	MHB
	C102	C102H2	0.0000	0.0039	0.0039	1138.85	MHB
	C103	C103H1	0.0025	0.0039	0.0064	1171.29	MHB
	C103	C103H2	0.0000	0.0039	0.0039	1155.54	MHB
	C104	C104H1	0.0045	0.0047	0.0092	788.04	MHB
	C104	C104H2	0.0000	0.0047	0.0047	777.10	MHB
2	C201	C201H1	0.0000	0.0047	0.0047	417.77	MHB
	C201	C201H2	0.0000	0.0047	0.0047	408.40	MHB
	C202	C202H1	0.0000	0.0039	0.0039	964.65	MHB
	C202	C202H2	0.0000	0.0039	0.0039	951.15	MHB
	C203	C203H1	0.0000	0.0039	0.0039	974.88	MHB
	C203	C203H2	0.0000	0.0039	0.0039	961.38	MHB
	C204	C204H1	0.0000	0.0047	0.0047	641.00	MHB
	C204	C204H2	0.0000	0.0047	0.0047	631.63	MHB
3	C301	C301H1	0.0000	0.0058	0.0058	340.05	MHB
	C301	C301H2	0.0000	0.0058	0.0058	332.55	MHB
	C302	C302H1	0.0039	0.0047	0.0085	775.81	MHB
	C302	C302H2	0.0069	0.0047	0.0115	766.44	MHB
	C303	C303H1	0.0036	0.0047	0.0083	781.08	MHB
	C303	C303H2	0.0057	0.0047	0.0104	771.70	MHB
	C304	C304H1	0.0027	0.0058	0.0085	494.92	MHB
	C304	C304H2	0.0109	0.0058	0.0168	487.42	MHB
4	C401	C401H1	0.0000	0.0058	0.0058	262.15	MHB
	C401	C401H2	0.0000	0.0058	0.0058	254.65	MHB
	C402	C402H1	0.0005	0.0047	0.0052	587.62	MHB
	C402	C402H2	0.0025	0.0047	0.0072	578.24	MHB
	C403	C403H1	0.0000	0.0047	0.0047	593.11	MHB
	C403	C403H2	0.0000	0.0047	0.0047	583.73	MHB
	C404	C404H1	0.0031	0.0058	0.0089	354.52	MHB
	C404	C404H2	0.0078	0.0058	0.0137	347.02	MHB
5	C501	C501H1	0.3890	0.0078	0.3968	178.17	GB
	C501	C501H2	0.3881	0.0078	0.3959	172.55	GB
	C502	C502H1	0.3460	0.0067	0.3527	400.61	GB
	C502	C502H2	0.3504	0.0067	0.3570	394.04	GB
	C503	C503H1	0.3425	0.0067	0.3491	402.37	GB
	C503	C503H2	0.3472	0.0067	0.3539	395.81	GB
	C504	C504H1	0.4086	0.0078	0.4164	221.80	GB
	C504	C504H2	0.4136	0.0078	0.4214	216.18	GB
6	C601	C601H1	0.0000	0.0078	0.0078	91.05	MHB
	C601	C601H2	0.0000	0.0078	0.0078	85.42	MHB
	C602	C602H1	0.0000	0.0067	0.0067	209.99	MHB
	C602	C602H2	0.0000	0.0067	0.0067	203.43	MHB
	C603	C603H1	0.0000	0.0067	0.0067	215.14	MHB
	C603	C603H2	0.0000	0.0067	0.0067	208.58	MHB
	C604	C604H1	0.0000	0.0078	0.0078	101.70	MHB
	C604	C604H2	0.0082	0.0078	0.0160	96.07	MHB

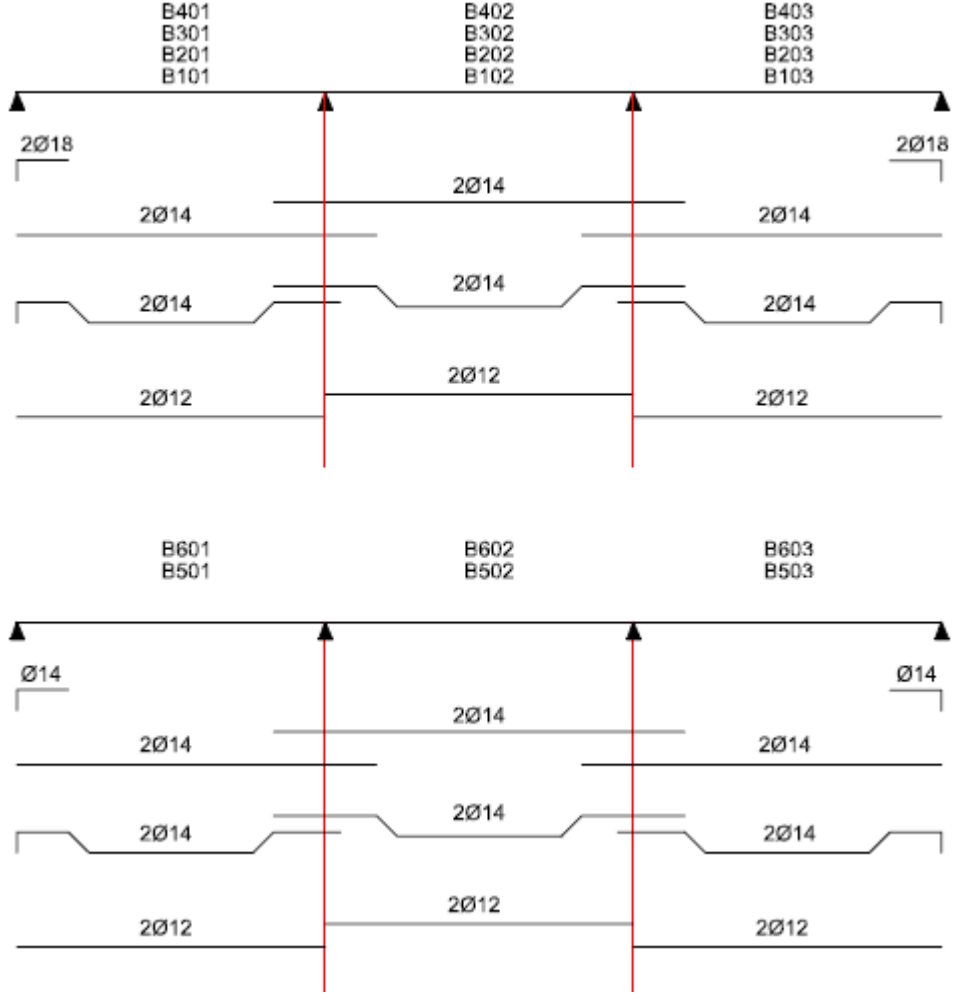
5.8 TSM-3 İçin Performans Değerlendirmesi

TSM-3 taşıyıcı sistem modeli, üç açıklıklı ve altı katlı bir düzlem betonarme çerçeve sistem olup, kiriş açıklıkları 4.0 m, kat yükseklikleri ise tüm katlarda 3.0 m olarak

seçilmiştir. Planda çerçeve aralıkları 4 m.'dir. Taşıyıcı sistem modelinin geometrik özellikleri ile kiriş ve kolon numaraları Şekil 5.1'de görülmektedir. Sistem analizleri ve betonarme kesit hesapları sonucunda elde edilen kolon ve kiriş enkesitleri ile boyuna donatıları Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te verilmiştir.



Şekil 5.22 : TSM-3 Kiriş – Kolon Kesitleri ve Kolon Donatıları



Şekil 5.23 : TSM-3 Kiriş Donatıları

Bu taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilen benzer incelemeler sonucunda belirlenen, kiriş kesitlerine ait kesit hasar bölgeleri aşağıdaki tabloda görülmektedir, Tablo 5.23.

Tablo 5.23 : TSM-3'te Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri (+X yönü)

KAT	KIRIS	MAFSAL	Kp 1/m	Ky 1/m	Ktoplam 1/m	Es	KESIT HASAR BOLGESI
1	B101	B101H1	0.0125	0.0047	0.0172	0.0070	MHB
	B101	B101H2	0.0080	0.0047	0.0127	0.0057	MHB
	B102	B102H1	0.0118	0.0047	0.0165	0.0066	MHB
	B102	B102H2	0.0086	0.0047	0.0132	0.0059	MHB
	B103	B103H1	0.0115	0.0047	0.0161	0.0065	MHB
	B103	B103H2	0.0080	0.0047	0.0126	0.0056	MHB
2	B201	B201H1	0.0237	0.0047	0.0283	0.0116	BHB
	B201	B201H2	0.0176	0.0047	0.0223	0.0099	MHB
	B202	B202H1	0.0217	0.0047	0.0263	0.0106	BHB
	B202	B202H2	0.0182	0.0047	0.0229	0.0102	BHB
	B203	B203H1	0.0212	0.0047	0.0259	0.0104	BHB
	B203	B203H2	0.0170	0.0047	0.0217	0.0097	MHB
3	B301	B301H1	0.0884	0.0047	0.0930	0.0380	BHB
	B301	B301H2	0.0816	0.0047	0.0863	0.0385	BHB
	B302	B302H1	0.0866	0.0047	0.0913	0.0366	BHB
	B302	B302H2	0.0826	0.0047	0.0872	0.0389	BHB
	B303	B303H1	0.0862	0.0047	0.0909	0.0365	BHB
	B303	B303H2	0.0775	0.0047	0.0822	0.0366	BHB
4	B401	B401H1	0.0899	0.0047	0.0945	0.0386	BHB
	B401	B401H2	0.0807	0.0047	0.0854	0.0381	BHB
	B402	B402H1	0.0860	0.0047	0.0907	0.0364	BHB
	B402	B402H2	0.0817	0.0047	0.0864	0.0385	BHB
	B403	B403H1	0.0845	0.0047	0.0892	0.0358	BHB
	B403	B403H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
5	B501	B501H1	0.0042	0.0047	0.0089	0.0038	MHB
	B501	B501H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B502	B502H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0019	MHB
	B502	B502H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B503	B503H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0019	MHB
	B503	B503H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
6	B601	B601H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0020	MHB
	B601	B601H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B602	B602H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B602	B602H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B603	B603H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B603	B603H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB

Bu taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilen benzer incelemeler sonucunda belirlenen, kolon kesitlerine ait kesit hasar bölgeleri aşağıdaki tabloda görülmektedir, Tablo 5.24.

Tablo 5.24 : TSM-3'te Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri (+ X yönü)

KAT	KOLON	MAFSAL	Kp	Ky	Ktoplam	P	KESİT HASAR BÖLGESİ
			1/m	1/m	1/m	KN	
1	C101	C101H1	0.0000	0.0052	0.0052	363.28	MHB
	C101	C101H2	0.0000	0.0052	0.0052	354.84	MHB
	C102	C102H1	0.0000	0.0039	0.0039	756.16	MHB
	C102	C102H2	0.0000	0.0039	0.0039	744.91	MHB
	C103	C103H1	0.0000	0.0039	0.0039	755.49	MHB
	C103	C103H2	0.0000	0.0039	0.0039	744.24	MHB
	C104	C104H1	0.0000	0.0052	0.0052	609.32	MHB
	C104	C104H2	0.0000	0.0052	0.0052	600.88	MHB
2	C201	C201H1	0.0000	0.0052	0.0052	302.47	MHB
	C201	C201H2	0.0000	0.0052	0.0052	294.03	MHB
	C202	C202H1	0.0000	0.0039	0.0039	631.70	MHB
	C202	C202H2	0.0000	0.0039	0.0039	620.45	MHB
	C203	C203H1	0.0000	0.0039	0.0039	629.99	MHB
	C203	C203H2	0.0000	0.0039	0.0039	618.74	MHB
	C204	C204H1	0.0000	0.0052	0.0052	497.92	MHB
	C204	C204H2	0.0000	0.0052	0.0052	489.48	MHB
3	C301	C301H1	0.0826	0.0078	0.0904	241.73	GB
	C301	C301H2	0.0000	0.0078	0.0078	236.10	MHB
	C302	C302H1	0.0624	0.0052	0.0676	507.33	GB
	C302	C302H2	0.0000	0.0052	0.0052	498.89	MHB
	C303	C303H1	0.0624	0.0052	0.0676	504.41	GB
	C303	C303H2	0.0000	0.0052	0.0052	495.98	MHB
	C304	C304H1	0.0916	0.0078	0.0994	386.43	GB
	C304	C304H2	0.0000	0.0078	0.0078	380.81	MHB
4	C401	C401H1	0.0000	0.0078	0.0078	183.38	MHB
	C401	C401H2	0.0000	0.0078	0.0078	177.75	MHB
	C402	C402H1	0.0000	0.0052	0.0052	385.64	MHB
	C402	C402H2	0.0000	0.0052	0.0052	377.20	MHB
	C403	C403H1	0.0000	0.0052	0.0052	381.78	MHB
	C403	C403H2	0.0000	0.0052	0.0052	373.34	MHB
	C404	C404H1	0.0000	0.0078	0.0078	278.18	MHB
	C404	C404H2	0.1311	0.0078	0.1389	272.55	GB
5	C501	C501H1	0.0000	0.0093	0.0093	124.98	MHB
	C501	C501H2	0.1448	0.0093	0.1542	120.29	GB
	C502	C502H1	0.0000	0.0078	0.0078	264.20	MHB
	C502	C502H2	0.1417	0.0078	0.1495	258.58	GB
	C503	C503H1	0.0000	0.0078	0.0078	256.73	MHB
	C503	C503H2	0.1436	0.0078	0.1513	251.10	GB
	C504	C504H1	0.1605	0.0093	0.1699	172.15	GB
	C504	C504H2	0.1723	0.0093	0.1816	167.46	GB
6	C601	C601H1	0.0000	0.0093	0.0093	62.68	MHB
	C601	C601H2	0.0000	0.0093	0.0093	58.00	MHB
	C602	C602H1	0.0000	0.0078	0.0078	138.64	MHB
	C602	C602H2	0.0000	0.0078	0.0078	133.02	MHB
	C603	C603H1	0.0000	0.0078	0.0078	138.29	MHB
	C603	C603H2	0.0000	0.0078	0.0078	132.67	MHB
	C604	C604H1	0.0000	0.0093	0.0093	75.01	MHB
	C604	C604H2	0.0000	0.0093	0.0093	70.32	MHB

5.9 TSM-3A İçin Performans Değerlendirmesi

TSM-3A taşıyıcı sistem modeli, TSM-3 taşıyıcı sistem modelinden farklı olarak, 10 N/mm² karakteristik beton dayanımına sahiptir. Kolon ve kirişlere ait boyuna donatılar TSM-3 olarak tanımlanan sistem ile benzerdir.

Bu taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilen benzer incelemeler sonucunda belirlenen, kolon ve kiriş kesitlerine ait kesit hasar bölgeleri aşağıdaki tablolarda görülmektedir, Tablo 5.25, Tablo 5.26.

Tablo 5.25 : TSM-3A'da Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri (+X yönü)

KAT	KIRIS	MAFSAL	Kp 1/m	Ky 1/m	Ktoplam 1/m	Es	KESIT HASAR BOLGESI
1	B101	B101H1	0.0083	0.0047	0.0129	0.0053	MHB
	B101	B101H2	0.0035	0.0047	0.0082	0.0036	MHB
	B102	B102H1	0.0075	0.0047	0.0121	0.0049	MHB
	B102	B102H2	0.0039	0.0047	0.0085	0.0038	MHB
	B103	B103H1	0.0070	0.0047	0.0117	0.0047	MHB
	B103	B103H2	0.0039	0.0047	0.0086	0.0038	MHB
2	B201	B201H1	0.0158	0.0047	0.0205	0.0084	MHB
	B201	B201H2	0.0095	0.0047	0.0142	0.0063	MHB
	B202	B202H1	0.0138	0.0047	0.0184	0.0074	MHB
	B202	B202H2	0.0101	0.0047	0.0148	0.0066	MHB
	B203	B203H1	0.0133	0.0047	0.0180	0.0072	MHB
	B203	B203H2	0.0087	0.0047	0.0134	0.0060	MHB
3	B301	B301H1	0.0861	0.0047	0.0908	0.0371	BHB
	B301	B301H2	0.0791	0.0047	0.0838	0.0373	BHB
	B302	B302H1	0.0844	0.0047	0.0891	0.0358	BHB
	B302	B302H2	0.0801	0.0047	0.0847	0.0378	BHB
	B303	B303H1	0.0834	0.0047	0.0880	0.0353	BHB
	B303	B303H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
4	B401	B401H1	0.0856	0.0047	0.0902	0.0368	BHB
	B401	B401H2	0.0763	0.0047	0.0809	0.0361	BHB
	B402	B402H1	0.0818	0.0047	0.0864	0.0347	BHB
	B402	B402H2	0.0774	0.0047	0.0821	0.0366	BHB
	B403	B403H1	0.0792	0.0047	0.0839	0.0337	BHB
	B403	B403H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
5	B501	B501H1	0.0003	0.0047	0.0050	0.0021	MHB
	B501	B501H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B502	B502H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0019	MHB
	B502	B502H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B503	B503H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0019	MHB
	B503	B503H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
6	B601	B601H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0020	MHB
	B601	B601H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B602	B602H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B602	B602H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B603	B603H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B603	B603H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB

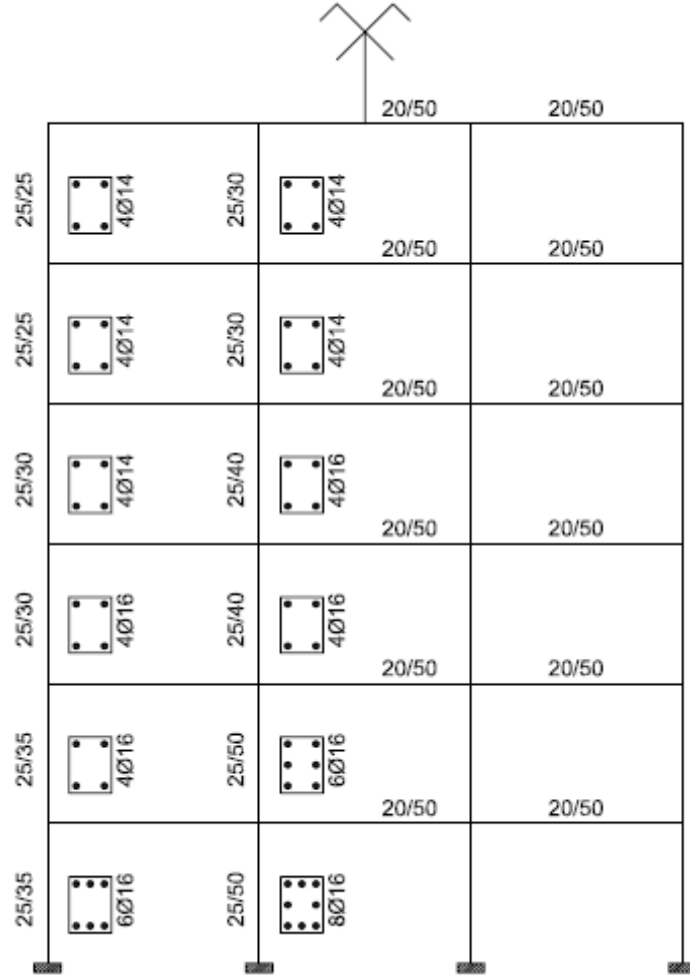
Tablo 5.26 : TSM-3A’da Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri (+ X yönü)

KAT	KOLON	MAFSAL	Kp	Ky	Ktoplam	P	KESİT HASAR BÖLGESİ
			1/m	1/m	1/m	KN	
1	C101	C101H1	0.0000	0.0052	0.0052	364.47	MHB
	C101	C101H2	0.0000	0.0052	0.0052	356.03	MHB
	C102	C102H1	0.0000	0.0039	0.0039	756.89	MHB
	C102	C102H2	0.0000	0.0039	0.0039	745.64	MHB
	C103	C103H1	0.0000	0.0039	0.0039	758.21	MHB
	C103	C103H2	0.0000	0.0039	0.0039	746.96	MHB
	C104	C104H1	0.0000	0.0052	0.0052	604.68	MHB
	C104	C104H2	0.0000	0.0052	0.0052	596.24	MHB
2	C201	C201H1	0.0000	0.0052	0.0052	303.49	MHB
	C201	C201H2	0.0000	0.0052	0.0052	295.06	MHB
	C202	C202H1	0.0000	0.0039	0.0039	632.64	MHB
	C202	C202H2	0.0000	0.0039	0.0039	621.39	MHB
	C203	C203H1	0.0000	0.0039	0.0039	632.56	MHB
	C203	C203H2	0.0000	0.0039	0.0039	621.31	MHB
	C204	C204H1	0.0000	0.0052	0.0052	493.38	MHB
	C204	C204H2	0.0000	0.0052	0.0052	484.95	MHB
3	C301	C301H1	0.0995	0.0078	0.1073	242.65	GB
	C301	C301H2	0.0000	0.0078	0.0078	237.02	MHB
	C302	C302H1	0.0734	0.0052	0.0786	508.34	GB
	C302	C302H2	0.0000	0.0052	0.0052	499.90	MHB
	C303	C303H1	0.0734	0.0052	0.0786	507.01	GB
	C303	C303H2	0.0000	0.0052	0.0052	498.57	MHB
	C304	C304H1	0.1124	0.0078	0.1202	381.90	GB
	C304	C304H2	0.1278	0.0078	0.1355	376.28	GB
4	C401	C401H1	0.0000	0.0078	0.0078	184.28	MHB
	C401	C401H2	0.0000	0.0078	0.0078	178.65	MHB
	C402	C402H1	0.0000	0.0052	0.0052	386.83	MHB
	C402	C402H2	0.0000	0.0052	0.0052	378.39	MHB
	C403	C403H1	0.0000	0.0052	0.0052	383.23	MHB
	C403	C403H2	0.0000	0.0052	0.0052	374.79	MHB
	C404	C404H1	0.1272	0.0078	0.1350	274.64	GB
	C404	C404H2	0.1320	0.0078	0.1397	269.02	GB
5	C501	C501H1	0.0000	0.0093	0.0093	125.94	MHB
	C501	C501H2	0.1496	0.0093	0.1589	121.26	GB
	C502	C502H1	0.0032	0.0078	0.0110	265.33	MHB
	C502	C502H2	0.1405	0.0078	0.1482	259.71	GB
	C503	C503H1	0.0032	0.0078	0.0110	256.76	MHB
	C503	C503H2	0.1419	0.0078	0.1497	251.13	GB
	C504	C504H1	0.1603	0.0093	0.1696	170.02	GB
	C504	C504H2	0.1695	0.0093	0.1789	165.33	GB
6	C601	C601H1	0.0000	0.0093	0.0093	63.06	MHB
	C601	C601H2	0.0000	0.0093	0.0093	58.37	MHB
	C602	C602H1	0.0000	0.0078	0.0078	138.76	MHB
	C602	C602H2	0.0000	0.0078	0.0078	133.14	MHB
	C603	C603H1	0.0000	0.0078	0.0078	138.37	MHB
	C603	C603H2	0.0000	0.0078	0.0078	132.74	MHB
	C604	C604H1	0.0000	0.0093	0.0093	74.44	MHB
	C604	C604H2	0.0000	0.0093	0.0093	69.75	MHB

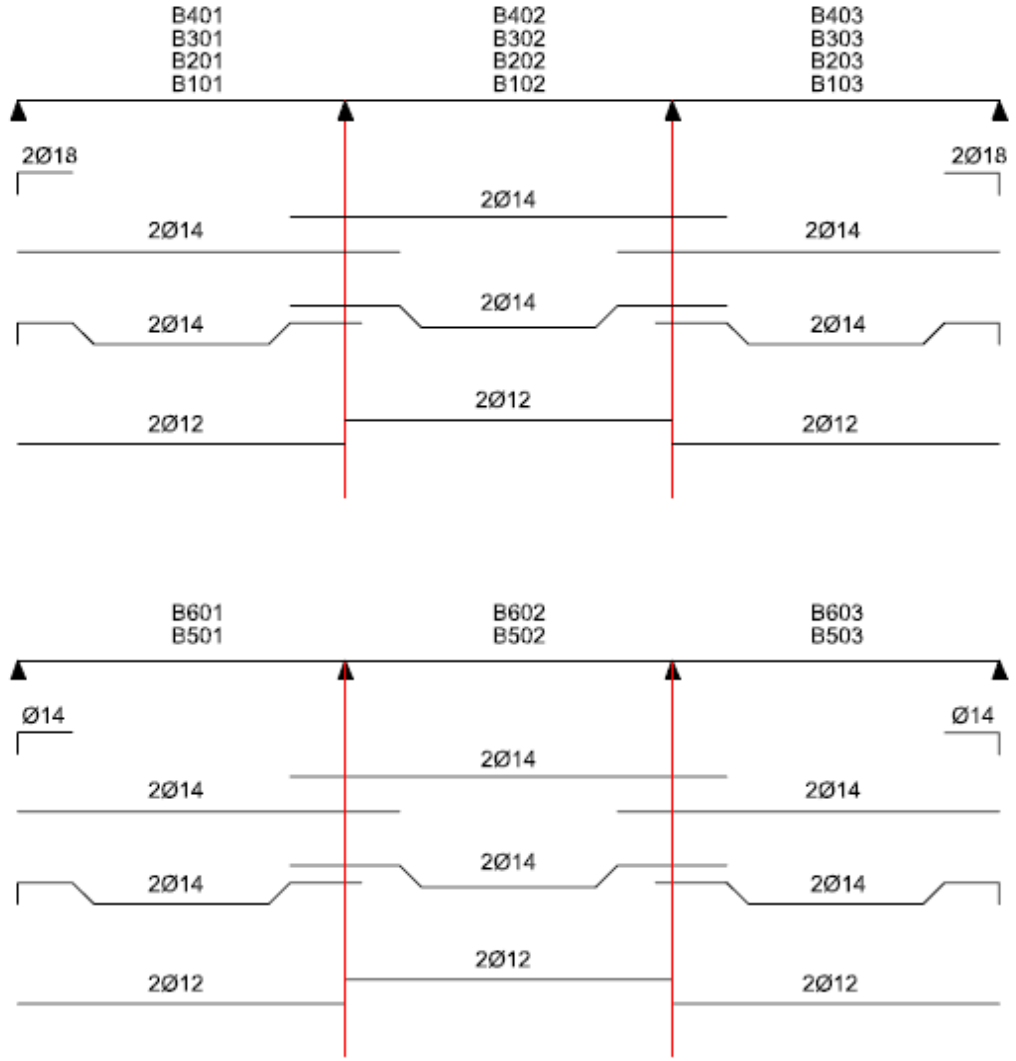
5.10 TSM-4 İçin Performans Değerlendirmesi

TSM-4 taşıyıcı sistem modeli, TSM-3 taşıyıcı sistem modelinden farklı olarak, kolonlarda normal kuvvet için kontrol yapılmaksızın boyutlandırılmış, kolon kesitleri

ve boyuna donatıları dışmerkez basınca maruz bir eleman için yapılan boyutlandırma sonucunda seçilmiştir. Seçilen kolon ve kiriş enkesitleri ile boyuna donatıları Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



Şekil 5.24 : TSM-4 Kiriş – Kolon Kesitleri ve Kolon Donatıları



Şekil 5.25 : TSM-4 Kiriş Donatıları

Bu taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilen benzer incelemeler sonucunda belirlenen, kiriş kesitlerine ait kesit hasar bölgeleri aşağıdaki tabloda görülmektedir, Tablo 5.27.

Tablo 5.27 : TSM-4'te Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri (+X yönü)

KAT	KIRIS	MAFSAL	Kp 1/m	Ky 1/m	Ktoplam 1/m	Es	KESIT HASAR BOLGESI
1	B101	B101H1	0.0508	0.0047	0.0554	0.0226	BHB
	B101	B101H2	0.0465	0.0047	0.0512	0.0228	BHB
	B102	B102H1	0.0485	0.0047	0.0532	0.0213	BHB
	B102	B102H2	0.0468	0.0047	0.0515	0.0229	BHB
	B103	B103H1	0.0483	0.0047	0.0530	0.0213	BHB
	B103	B103H2	0.0448	0.0047	0.0495	0.0220	BHB
2	B201	B201H1	0.0576	0.0047	0.0623	0.0254	BHB
	B201	B201H2	0.0545	0.0047	0.0592	0.0264	BHB
	B202	B202H1	0.0568	0.0047	0.0614	0.0247	BHB
	B202	B202H2	0.0550	0.0047	0.0596	0.0266	BHB
	B203	B203H1	0.0565	0.0047	0.0612	0.0246	BHB
	B203	B203H2	0.0524	0.0047	0.0571	0.0254	BHB
3	B301	B301H1	0.0585	0.0047	0.0631	0.0258	BHB
	B301	B301H2	0.0550	0.0047	0.0596	0.0266	BHB
	B302	B302H1	0.0574	0.0047	0.0621	0.0249	BHB
	B302	B302H2	0.0555	0.0047	0.0602	0.0268	BHB
	B303	B303H1	0.0571	0.0047	0.0618	0.0248	BHB
	B303	B303H2	0.0510	0.0047	0.0557	0.0248	BHB
4	B401	B401H1	0.0540	0.0047	0.0587	0.0240	BHB
	B401	B401H2	0.0474	0.0047	0.0521	0.0232	BHB
	B402	B402H1	0.0499	0.0047	0.0546	0.0219	BHB
	B402	B402H2	0.0482	0.0047	0.0529	0.0236	BHB
	B403	B403H1	0.0493	0.0047	0.0540	0.0217	BHB
	B403	B403H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
5	B501	B501H1	0.0072	0.0047	0.0119	0.0051	MHB
	B501	B501H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B502	B502H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0019	MHB
	B502	B502H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B503	B503H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0019	MHB
	B503	B503H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
6	B601	B601H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0020	MHB
	B601	B601H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B602	B602H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B602	B602H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B603	B603H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B603	B603H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB

Bu taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilen benzer incelemeler sonucunda belirlenen, kolon kesitlerine ait kesit hasar bölgeleri aşağıdaki tabloda görülmektedir, Tablo 5.28.

Tablo 5.28 : TSM-4'te Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri (+ X yönü)

KAT	KOLON	MAFSAL	Kp	Ky	Ktoplam	P	KESİT HASAR BÖLGESİ
			1/m	1/m	1/m	KN	
1	C101	C101H1	0.0406	0.0067	0.0472	362.77	GB
	C101	C101H2	0.0000	0.0067	0.0067	356.20	MHB
	C102	C102H1	0.0334	0.0047	0.0381	742.98	GB
	C102	C102H2	0.0000	0.0047	0.0047	733.61	MHB
	C103	C103H1	0.0334	0.0047	0.0381	760.78	GB
	C103	C103H2	0.0000	0.0047	0.0047	751.41	MHB
	C104	C104H1	0.0435	0.0067	0.0502	598.97	GB
	C104	C104H2	0.0000	0.0067	0.0067	592.41	MHB
2	C201	C201H1	0.0000	0.0067	0.0067	303.49	MHB
	C201	C201H2	0.0000	0.0067	0.0067	296.93	MHB
	C202	C202H1	0.0000	0.0047	0.0047	620.61	MHB
	C202	C202H2	0.0000	0.0047	0.0047	611.23	MHB
	C203	C203H1	0.0000	0.0047	0.0047	637.06	MHB
	C203	C203H2	0.0000	0.0047	0.0047	627.69	MHB
	C204	C204H1	0.0000	0.0067	0.0067	489.67	MHB
	C204	C204H2	0.0000	0.0067	0.0067	483.10	MHB
3	C301	C301H1	0.0000	0.0078	0.0078	244.10	MHB
	C301	C301H2	0.0000	0.0078	0.0078	238.48	MHB
	C302	C302H1	0.0000	0.0067	0.0067	498.12	MHB
	C302	C302H2	0.0000	0.0067	0.0067	490.62	MHB
	C303	C303H1	0.0000	0.0067	0.0067	513.34	MHB
	C303	C303H2	0.0000	0.0067	0.0067	505.84	MHB
	C304	C304H1	0.0000	0.0078	0.0078	380.58	MHB
	C304	C304H2	0.0000	0.0078	0.0078	374.96	MHB
4	C401	C401H1	0.0000	0.0078	0.0078	185.50	MHB
	C401	C401H2	0.0000	0.0078	0.0078	179.87	MHB
	C402	C402H1	0.0000	0.0067	0.0067	377.59	MHB
	C402	C402H2	0.0000	0.0067	0.0067	370.09	MHB
	C403	C403H1	0.0000	0.0067	0.0067	391.56	MHB
	C403	C403H2	0.0000	0.0067	0.0067	384.06	MHB
	C404	C404H1	0.0000	0.0078	0.0078	272.45	MHB
	C404	C404H2	0.0767	0.0078	0.0845	266.82	GB
5	C501	C501H1	0.0000	0.0093	0.0093	127.15	MHB
	C501	C501H2	0.0583	0.0093	0.0676	122.46	GB
	C502	C502H1	0.0000	0.0078	0.0078	257.06	MHB
	C502	C502H2	0.0721	0.0078	0.0799	251.44	GB
	C503	C503H1	0.0000	0.0078	0.0078	267.33	MHB
	C503	C503H2	0.0713	0.0078	0.0791	261.70	GB
	C504	C504H1	0.0832	0.0093	0.0925	166.52	GB
	C504	C504H2	0.0886	0.0093	0.0979	161.83	GB
6	C601	C601H1	0.0000	0.0093	0.0093	63.55	MHB
	C601	C601H2	0.0000	0.0093	0.0093	58.86	MHB
	C602	C602H1	0.0000	0.0078	0.0078	136.21	MHB
	C602	C602H2	0.0000	0.0078	0.0078	130.59	MHB
	C603	C603H1	0.0000	0.0078	0.0078	142.15	MHB
	C603	C603H2	0.0000	0.0078	0.0078	136.53	MHB
	C604	C604H1	0.0000	0.0093	0.0093	72.71	MHB
	C604	C604H2	0.0000	0.0093	0.0093	68.02	MHB

5.11 TSM-4A İçin Performans Değerlendirmesi

TSM-4A taşıyıcı sistem modeli, TSM-4 taşıyıcı sistem modelinden farklı olarak, 10 N/mm² karakteristik beton dayanımına sahiptir. Kolon ve kirişlere ait boyuna donatılar TSM-4 olarak tanımlanan sistem ile benzerdir.

Bu taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilen benzer incelemeler sonucunda belirlenen, kolon ve kiriş kesitlerine ait kesit hasar bölgeleri aşağıdaki tablolarda görülmektedir, Tablo 5.29, Tablo 5.30.

Tablo 5.29 : TSM-4A'da Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri (+X yönü)

KAT	KIRIS	MAFSAL	Kp 1/m	Ky 1/m	Ktoplam 1/m	Es	KESIT HASAR BOLGESI
1	B101	B101H1	0.0666	0.0047	0.0713	0.0291	BHB
	B101	B101H2	0.0613	0.0047	0.0660	0.0294	BHB
	B102	B102H1	0.0638	0.0047	0.0685	0.0275	BHB
	B102	B102H2	0.0617	0.0047	0.0663	0.0296	BHB
	B103	B103H1	0.0635	0.0047	0.0682	0.0274	BHB
	B103	B103H2	0.0593	0.0047	0.0640	0.0285	BHB
2	B201	B201H1	0.0692	0.0047	0.0738	0.0301	BHB
	B201	B201H2	0.0649	0.0047	0.0696	0.0310	BHB
	B202	B202H1	0.0678	0.0047	0.0725	0.0291	BHB
	B202	B202H2	0.0656	0.0047	0.0703	0.0313	BHB
	B203	B203H1	0.0675	0.0047	0.0721	0.0290	BHB
	B203	B203H2	0.0631	0.0047	0.0677	0.0302	BHB
3	B301	B301H1	0.0631	0.0047	0.0678	0.0277	BHB
	B301	B301H2	0.0555	0.0047	0.0601	0.0268	BHB
	B302	B302H1	0.0584	0.0047	0.0631	0.0253	BHB
	B302	B302H2	0.0564	0.0047	0.0611	0.0272	BHB
	B303	B303H1	0.0581	0.0047	0.0628	0.0252	BHB
	B303	B303H2	0.0496	0.0047	0.0542	0.0242	BHB
4	B401	B401H1	0.0504	0.0047	0.0551	0.0225	BHB
	B401	B401H2	0.0397	0.0047	0.0443	0.0198	BHB
	B402	B402H1	0.0428	0.0047	0.0475	0.0190	BHB
	B402	B402H2	0.0407	0.0047	0.0453	0.0202	BHB
	B403	B403H1	0.0412	0.0047	0.0458	0.0184	BHB
	B403	B403H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
5	B501	B501H1	0.0029	0.0047	0.0076	0.0033	MHB
	B501	B501H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B502	B502H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0019	MHB
	B502	B502H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B503	B503H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0019	MHB
	B503	B503H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
6	B601	B601H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0020	MHB
	B601	B601H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B602	B602H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B602	B602H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B603	B603H1	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB
	B603	B603H2	0.0000	0.0047	0.0047	0.0021	MHB

Tablo 5.30 : TSM-4A'da Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri (+ X yönü)

KAT	KOLON	MAFSAL	Kp	Ky	Ktoplam	P	KESİT HASAR BÖLGESİ
			1/m	1/m	1/m	KN	
1	C101	C101H1	0.0733	0.0067	0.0800	373.27	GB
	C101	C101H2	0.0000	0.0067	0.0067	366.71	MHB
	C102	C102H1	0.0575	0.0047	0.0621	746.79	GB
	C102	C102H2	0.0000	0.0047	0.0047	737.41	MHB
	C103	C103H1	0.0575	0.0047	0.0622	755.78	GB
	C103	C103H2	0.0000	0.0047	0.0047	746.41	MHB
	C104	C104H1	0.0809	0.0067	0.0876	589.66	GB
	C104	C104H2	0.0000	0.0067	0.0067	583.09	MHB
2	C201	C201H1	0.0000	0.0067	0.0067	311.41	MHB
	C201	C201H2	0.0000	0.0067	0.0067	304.85	MHB
	C202	C202H1	0.0000	0.0047	0.0047	624.40	MHB
	C202	C202H2	0.0000	0.0047	0.0047	615.03	MHB
	C203	C203H1	0.0000	0.0047	0.0047	632.39	MHB
	C203	C203H2	0.0000	0.0047	0.0047	623.02	MHB
	C204	C204H1	0.0010	0.0067	0.0076	482.63	MHB
	C204	C204H2	0.0000	0.0067	0.0067	476.06	MHB
3	C301	C301H1	0.0000	0.0078	0.0078	249.69	MHB
	C301	C301H2	0.0000	0.0078	0.0078	244.06	MHB
	C302	C302H1	0.0000	0.0067	0.0067	501.86	MHB
	C302	C302H2	0.0065	0.0067	0.0131	494.36	GB
	C303	C303H1	0.0000	0.0067	0.0067	508.97	MHB
	C303	C303H2	0.0065	0.0067	0.0131	501.47	GB
	C304	C304H1	0.0000	0.0078	0.0078	375.63	MHB
	C304	C304H2	0.0181	0.0078	0.0258	370.01	GB
4	C401	C401H1	0.0000	0.0078	0.0078	188.95	MHB
	C401	C401H2	0.0000	0.0078	0.0078	183.33	MHB
	C402	C402H1	0.0000	0.0067	0.0067	381.20	MHB
	C402	C402H2	0.0091	0.0067	0.0158	373.70	GB
	C403	C403H1	0.0000	0.0067	0.0067	387.46	MHB
	C403	C403H2	0.0092	0.0067	0.0158	379.96	GB
	C404	C404H1	0.0000	0.0078	0.0078	269.49	MHB
	C404	C404H2	0.0838	0.0078	0.0915	263.86	GB
5	C501	C501H1	0.0000	0.0093	0.0093	128.24	MHB
	C501	C501H2	0.0469	0.0093	0.0562	123.55	GB
	C502	C502H1	0.0000	0.0078	0.0078	260.56	MHB
	C502	C502H2	0.0641	0.0078	0.0719	254.94	GB
	C503	C503H1	0.0000	0.0078	0.0078	263.94	MHB
	C503	C503H2	0.0623	0.0078	0.0700	258.31	GB
	C504	C504H1	0.0719	0.0093	0.0813	165.31	GB
	C504	C504H2	0.0793	0.0093	0.0886	160.62	GB
6	C601	C601H1	0.0000	0.0093	0.0093	63.88	MHB
	C601	C601H2	0.0000	0.0093	0.0093	59.20	MHB
	C602	C602H1	0.0000	0.0078	0.0078	137.25	MHB
	C602	C602H2	0.0000	0.0078	0.0078	131.62	MHB
	C603	C603H1	0.0000	0.0078	0.0078	140.76	MHB
	C603	C603H2	0.0000	0.0078	0.0078	135.14	MHB
	C604	C604H1	0.0000	0.0093	0.0093	72.73	MHB
	C604	C604H2	0.0000	0.0093	0.0093	68.05	MHB

5.12 Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi

Seçilen taşıyıcı sistem modelleri, taşıyıcı sistem geometrisi bakımından iki grupta incelenebilmektedir. TSM-1 ve TSM-2` de kiriş açıklıkları 6.0 m., TSM-3 ve TSM-4`te ise kiriş açıklıkları 4.0 m. olarak seçilmiştir. Kiriş açıklıklarının 6.0 m.

olduğu taşıyıcı sistem modellerinde, boyutlandırma aşamasında düşey yükler, yatay yüklere oranla daha etkin olmaktadır. Buna karşılık, kiriş açıklıklarının 4.0 m. olduğu taşıyıcı sistem modellerinde yatay deprem kuvvetlerinin boyutlandırmada daha etkin olduğu görölmektedir.

Seçilen taşıyıcı sistem modelleri, boyutlandırma aşamasındaki tasarım yaklaşımları bakımından da iki grupta incelenebilmektedir. Buna göre, sistem geometrisi ve dış yükler bakımından aynı olan taşıyıcı sistem, iki farklı yaklaşımla boyutlandırılmıştır. İlk yaklaşımda (TSM-1 ve TSM-3), 1953 Betonarme Şartnamesi ve 1968 Türk Deprem Yönetmeliği`nde belirtilen tasarım kuralları aynen uygulanmıştır. İkinci yaklaşımda ise (TSM-2 ve TSM-4), kolonların tasarımında eksenel kuvvet altında taşıma gücü kontrolü yapılmamıştır.

Bunlara ek olarak, uygulamada gerçekleştirilen beton dayanımlarının tasarımda öngörülenden daha düşük olması durumu gözönüne alınarak performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu bağlamda, TSM-1A, TSM-2A, TSM-3A ve TSM-4A taşıyıcı sistem modelleri sırasıyla TSM-1, TSM-2, TSM-3 ve TSM-4`ün malzeme dayanımı bakımından alternatifleri olarak gözönüne alınmıştır.

Tüm taşıyıcı sistem modelleri için kiriş ve kolon uç oktalrı için belirlenen deprem hasar bölgeleri Tablo 5.31 ve Tablo 5.32 üzerinde karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.31 : Kolonların Deprem Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

KAT	KOLON	MAFSAL	TSM-1	TSM-1A	TSM-2	TSM-2A	TSM-3	TSM-3A	TSM-4	TSM-4A
1	C101	C101H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C101	C101H2	GB	GB	GB	MHB	MHB	MHB	GB	GB
	C102	C102H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C102	C102H2	GB	GB	GB	MHB	MHB	MHB	GB	GB
	C103	C103H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C103	C103H2	GB	GB	GB	MHB	MHB	MHB	GB	GB
	C104	C104H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
C104	C104H2	GB	GB	GB	MHB	MHB	MHB	GB	GB	
2	C201	C201H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C201	C201H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C202	C202H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C202	C202H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C203	C203H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C203	C203H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C204	C204H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
C204	C204H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	
3	C301	C301H1	MHB	MHB	GB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C301	C301H2	MHB	MHB	MHB	MHB	GB	GB	MHB	MHB
	C302	C302H1	MHB	MHB	GB	MHB	MHB	MHB	MHB	GB
	C302	C302H2	MHB	MHB	MHB	MHB	GB	GB	MHB	MHB
	C303	C303H1	MHB	MHB	GB	MHB	MHB	MHB	MHB	GB
	C303	C303H2	MHB	MHB	MHB	MHB	GB	GB	MHB	MHB
	C304	C304H1	MHB	GB	GB	MHB	MHB	GB	MHB	GB
C304	C304H2	MHB	MHB	MHB	MHB	GB	GB	MHB	MHB	
4	C401	C401H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C401	C401H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C402	C402H1	MHB	MHB	GB	MHB	MHB	MHB	MHB	GB
	C402	C402H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C403	C403H1	MHB	MHB	GB	MHB	MHB	MHB	MHB	GB
	C403	C403H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C404	C404H1	GB	GB	GB	MHB	GB	GB	GB	GB
C404	C404H2	MHB	GB	MHB	MHB	MHB	GB	MHB	MHB	
5	C501	C501H1	GB	GB	MHB	GB	GB	GB	GB	GB
	C501	C501H2	MHB	MHB	MHB	GB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C502	C502H1	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB
	C502	C502H2	MHB	MHB	GB	GB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C503	C503H1	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB
	C503	C503H2	MHB	MHB	GB	GB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C504	C504H1	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB
C504	C504H2	MHB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	
6	C601	C601H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C601	C601H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C602	C602H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C602	C602H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C603	C603H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C603	C603H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	C604	C604H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
C604	C604H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	

Tablo 5.32 : Kirişlerin Deprem Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

KAT	KIRIS	MAFSAL	TSM-1	TSM-1A	TSM-2	TSM-2A	TSM-3	TSM-3A	TSM-4	TSM-4A
1	B101	B101H1	BHB	BHB	BHB	MHB	MHB	MHB	BHB	BHB
	B101	B101H2	BHB	BHB	BHB	MHB	MHB	MHB	BHB	BHB
	B102	B102H1	BHB	BHB	BHB	MHB	MHB	MHB	BHB	BHB
	B102	B102H2	BHB	BHB	BHB	MHB	MHB	MHB	BHB	BHB
	B103	B103H1	BHB	BHB	BHB	MHB	MHB	MHB	BHB	BHB
	B103	B103H2	BHB	BHB	BHB	MHB	MHB	MHB	BHB	BHB
2	B201	B201H1	BHB	BHB	BHB	MHB	BHB	MHB	BHB	BHB
	B201	B201H2	BHB	BHB	BHB	MHB	MHB	MHB	BHB	BHB
	B202	B202H1	BHB	BHB	BHB	MHB	BHB	MHB	BHB	BHB
	B202	B202H2	BHB	BHB	BHB	MHB	BHB	MHB	BHB	BHB
	B203	B203H1	BHB	BHB	BHB	MHB	BHB	MHB	BHB	BHB
	B203	B203H2	BHB	BHB	BHB	MHB	MHB	MHB	BHB	BHB
3	B301	B301H1	BHB	BHB	BHB	MHB	BHB	BHB	BHB	BHB
	B301	B301H2	BHB	BHB	BHB	MHB	BHB	BHB	BHB	BHB
	B302	B302H1	BHB	BHB	BHB	MHB	BHB	BHB	BHB	BHB
	B302	B302H2	BHB	BHB	BHB	MHB	BHB	BHB	BHB	BHB
	B303	B303H1	BHB	BHB	MHB	MHB	BHB	BHB	BHB	BHB
	B303	B303H2	BHB	MHB	BHB	MHB	BHB	MHB	BHB	BHB
4	B401	B401H1	BHB	BHB	MHB	MHB	BHB	BHB	BHB	BHB
	B401	B401H2	BHB	BHB	MHB	MHB	BHB	BHB	BHB	BHB
	B402	B402H1	BHB	BHB	MHB	MHB	BHB	BHB	BHB	BHB
	B402	B402H2	BHB	BHB	MHB	MHB	BHB	BHB	BHB	BHB
	B403	B403H1	BHB	BHB	MHB	MHB	BHB	BHB	BHB	BHB
	B403	B403H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
5	B501	B501H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	B501	B501H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	B502	B502H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	B502	B502H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	B503	B503H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	B503	B503H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
6	B601	B601H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	B601	B601H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	B602	B602H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	B602	B602H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	B603	B603H1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
	B603	B603H2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB

Yukarıdaki bölümlerde açıklandığı gibi, taşıyıcı sistem modellerinin deprem etkileri altındaki davranışları malzeme bakımından doğrusal olmayan teori çerçevesinde incelenmiş, deprem hasar bölgelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan hesaplamalarda performans noktası ve plastik mafsalların dönme değerleri 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* yardımı ile elde edilmiştir. Plastik şekildeğiştirmelerin değerlendirilerek kesit ve eleman hasar bölgelerinin belirlenmesi de, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği çerçevesinde gerçekleştirilmiş ve gerekli karşılaştırmalar yapılarak elde edilen sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir..

1. 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak boyutlandırılan ve inşa edilen yapıların kesit hasar bölgeleri ve dolayısıyla deprem güvenlikleri yeterli düzeyde değildir. Bu durum, örneğin 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak boyutlandırılan ve inşa edilen yapılardan farklı olarak [22], 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'de gözönüne alınan deprem etkilerinin daha düşük düzeyde olmasından kaynaklanmaktadır.
2. 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak boyutlandırılan ve inşa edilen yapıların deprem güvenliklerindeki yetersizlik kirişlerden daha çok kolonlarda meydana gelmektedir. Bu sonuç, araştırmada seçilen kiriş açıklıklarının farklı olduğu durumlarda da (TSM-1 ve TSM-3 veya TSM-2 ve TSM-4) benzer doğrultudadır.
3. 1968 Türk Deprem Yönetmeliği ile birlikte yürürlükte olan 1953 Betonarme Şartnamesinde öngörülen, kolonlarda taşıma gücüne göre eksenel kuvvet kontrolünün yapılması ilkesinin uygulanmadığı durumlarda (TSM-2 ve TSM-4) kolon hasar bölgeleri belirli ölçüde artış göstermektedir.
4. Kiriş açıklıklarının daha küçük olduğu ve dolayısıyla düşey yüklerin tasarımı daha az kontrol ettiği durumlarda (TSM-3 ve TSM-4), kolonlardaki hasar bölgeleri artmaktadır.
5. Ülkemizde genellikle karşılaşılan bir durum olan, uygulamada gerçekleştirilen beton dayanımlarının tasarımda öngörülenden daha düşük olması halinde kirişlerin hasar bölgelerinde önemli bir değişiklik olmadığı, buna karşılık kolonlarda daha ileri hasar bölgeleri olduğu gözlemlenmiştir.

6 SONUÇLAR

Bu çalışmada, 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme bazlı doğrusal olmayan değeriendirme yöntemi uygulanarak, ülkemizdeki mevcut betonarme binaların bir bölümünü belirli ölçüde temsil edecek şekilde seçilen çerçeve türü yapı sistemleri üzerinde, taşıyıcı sistem geometrisi, tasarım yaklaşımı ve beton dayanımındaki değerişimlerin, kesit hasar bölgelerine ve dolayısıyla binaların deprem performansına etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda, orta yükseklikli mevcut betonarme binaları temsil etmek üzere seçilen dört ayrı taşıyıcı sistem modeli ve bu modellerin farklı beton dayanımlarına sahip olan alternatifleri artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile incelenmiş ve kesit hasar bölgeleri belirlenmiştir.

Bu çalışmanın sonuçlarından yararlanarak, ülkemizdeki bina stoğunun önemli bir bölümünü oluşturan, 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımı yapılmış ve inşa edilmiş olan betonarme çerçeve türündeki mevcut binaların kesit hasar bölgelerinin ve deprem performanslarının değeriendirilerek irdelenmesi mümkün olabilmektedir.

Çalışmanın parametrik sayısal incelemelerinde varılan başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak boyutlandırılan ve inşa edilen binaların kesit hasar bölgeleri ve dolayısıyla deprem güvenlikleri yeterli düzeyde değildir. Bu durum, 1968 Türk Deprem Yönetmeliği'nde binaların tasarımı için öngörülen deprem etkilerinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne oranla daha düşük düzeyde olmasından kaynaklanmaktadır.
2. 1968 Türk Deprem Yönetmeliği ile birlikte yürürlükte olan 1953 Betonarme Şartnamesinde öngörülen, kolonlarda aksenal kuvvet altında taşıma gücüne göre kesit kontrolünün yapılmadığı durumlarda ve kiriş açıklıklarının daha

küçük olduğu, dolayısıyla düşey yüklerin tasarımı daha az kontrol ettiği durumlarda kolon hasar bölgeleri belirli ölçüde artış göstermektedir.

3. Uygulamada gerçekleştirilen beton dayanımlarının tasarımda öngörülenden daha düşük olması durumunda, beklenildiği gibi, kirişlerin hasar bölgelerinde önemli bir değişiklik olmadığı halde kolonların hasar düzeylerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada mevcut betonarme binaları temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modelleri, altı katlı düzlem çerçeve sistemlerden oluşmaktadır. Bu çalışmanın olası uzantıları, çeşitli yüksekliklerdeki çerçeve türü binaları ve doğrusal olmayan yöntemin uygulama sınırları içinde kalan perdeli çerçeveli binaları da kapsayacak şekilde genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Fajfar, P. and Krawinkler, H.**, 1997. Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, Proceedings of International Workshop held in Bled (Slovenia), Balkema, The Netherlands.
- [2] **Priestley, M.J.N.**, 2000, Performance Based Seismic Design, *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, January-February 2000.
- [3] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt I, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [4] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt II, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [5] **Özer, E.**, 1969. Lineer olmayan sistemlerin hesabı için bir metot, *Doktora Tezi*, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [6] **Attala, M.R., Deierlein, G. G. and McGuire, W.**, 1995. Spread of plasticity : quasi-plastic hinge approach, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **120**, 2451-2473.
- [7] **Özer, G.**, 2003. Malzeme bakımından lineer olmayan sistemlerin hesabı için bir ardışık yaklaşım yöntemi ve bilgisayar programı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Parikh, B.P.**, 1966. The elastic-plastic analysis and design of unbraced multistory steel frames, *PhD. Dissertation*, Lehigh University.
- [9] **Kim, S.W.**, 1971. Elastic-plastic analysis of unbraced frames, *PhD. Dissertation*, Lehigh University.

- [10] **Özer, E.**, 1987. Determination of second-order limit load by a method of load increments, *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, **40**, 815-836.
- [11] **Girgin, K.**, 1996. Betonarme yapı sistemlerinde ikinci merteye limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi için bir yük artımı yöntemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] **SAP2000**, 2005. Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [13] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [14] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [15] **FEMA-356**, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [16] **FEMA-440**, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [17] **European Committee for Standardization**, 2004. Design of Structures for Earthquake Resistance-Assessment and Retrofitting of Buildings, Eurocode 8-3.
- [18] **DBYBHY**, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (TDY-07), *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [19] **Kaya, M.P.**,2005. Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesinde Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerin Karşılaştırılması Üzerine Sayısal Bir İnceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] **Yılmaz, H.E.**,2005. Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Değerlendirilmesinde 2006 Türk Deprem Yönetmeliği ve FEMA 356 Yaklaşımlarının Karşılaştırılması Üzerine Sayısal Bir İnceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Çetin, C.**, 2007. Mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesinde doğrusal olmayan yöntemlerin karşılaştırılması

üzerine sayısal bir inceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [22] **Maltaş, P.**, 2007. Mevcut betonarme binalarda beton karakteristik dayanımı ve sargı donatısının deprem performansına etkisi üzerine sayısal bir inceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] **Sezer, B.**, 2006. Mevcut çelik yapıların deprem performansının belirlenmesi için bir yaklaşım, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] **ABYYHY**, 1968. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (TDY-68), *İmar ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [25] **Özer, E.**, 2007. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.ins.itu.edu.tr/eozer, İstanbul.
- [26] **Çakıroğlu, A. ve Özer, E.**, 1980. Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- [27] **Çakıroğlu, A., Özer, E. ve Girgin, K.**, 1999. Yield conditions and yield vector for combined biaxial bending of rectangular reinforced concrete sections, *Proceedings of the Uğur Ersoy Symposium in Structural Engineering*, METU Pres, Ankara, July 1-2, 121-135.
- [28] **İrtem, E.**, 1991. Uzay çubuk sistemlerde ikinci mertebe limit yükün hesabı için bir yük artımı yöntemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] **Paulay, T., Priestley, M.J.N.**, 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, J. Wiley, New York.
- [30] **Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R.** (1988). Theoretical stress-strain relationships for confined concrete, *Journal of Structural Division (ASCE)*, **114**(8), 1804-1826.
- [31] **TKİC Betonarme Şartnamesi**, 1953. Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti Betonarme Şartnamesi (1953), *İmar ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [32] **XTRACT**, 2001, Kesit Analiz Programı, Imbsen Software Systems.

- [33] **Priestley, M.J.N.**, 2003. Myths and Fallacies in Earthquake Engineering, Revisited, IUSS Press, Italy.

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah ERDOĞAN, 1982 yılında Bolu'da doğmuştur. İlk öğrenimini Ankara Kamil Ocak İlkokulu'nda, ortaokul ve lise öğrenimini Ankara Gazi Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2000 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girmeye hak kazanmıştır. 2005 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra, aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Halen bir özel kuruluşta proje mühendisi olarak görev yapmaktadır.