

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT ÇELİK YAPILARIN DEPREM
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ İÇİN
BİR YAKLAŞIM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Bora SEZER**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2007

**MEVCUT ÇELİK YAPILARIN DEPREM
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ İÇİN
BİR YAKLAŞIM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Bora SEZER
(501021006)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Erkan ÖZER
Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Engin ORAKDÖĞEN (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Oğuz Cem ÇELİK (İ.T.Ü.)**

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, mevcut çelik yapıların deprem performans ve güvenliklerinin belirlenmesi için bir yaklaşım önerilmiş ve sayısal olarak incelenmiştir.

Lisans, yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca, engin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Erkan ÖZER'e, özellikle tez çalışmam esnasında bana göstermiş olduğu sabır ve hoşgöründen dolayı, teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Bugünlere ulaşmamda büyük emekleri olan sevgili aileme, moral desteği ile her zaman yanımda olan Nilay DURUK'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca bana her türlü kolaylığı sağlayan ve yardımlarını eksik etmeyen SEYAŞ Mimarlık, Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş. yöneticilerine ve çalışma arkadaşlarıma da ayrıca teşekkür etmek isterim.

Aralık 2006, İstanbul

İnş. Müh. Bora SEZER

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvii
1 GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
1.2 Konu ile İlgili Çalışmalar	2
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
2 ÇELİK YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI	5
2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı	5
2.1.1 Çözümün sağlaması gereken koşullar	7
2.1.2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri	7
2.1.3 Yapı sistemlerinin dış yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı	8
2.2 İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlantıları ve Akma (Kırılma) Koşulları	10
2.2.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri	11
2.2.1.1 İdeal malzemeler	12
2.2.1.2 Yapı çeliklerinin gerilme-şekildeğiştirme bağlantıları	13
2.2.2 Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağlantıları ve akma (kırılma) koşulları	13
2.2.2.1 İdeal elastoplastik malzemeden yapılmış çubuklar	18
2.3 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemlerin Hesabı	27
2.3.1 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sürekli olması hali	28
2.3.2 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığının varsayılması hali	28
2.3.2.1 Plastik mafsallı hipotezi	28
2.3.2.2 Yük artımı yöntemi	33
2.3.2.3 Limit yükün doğrudan doğruya hesabı	37
2.4 Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemlerin Hesabı	37
2.4.1 Yük artımı yöntemi	37

3 PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME	40
3.1 Giriş	40
3.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	40
3.2.1 Kesit hasar sınırları	41
3.2.2 Kesit hasar bölgeleri	41
3.3 Bina Deprem Performans Seviyeleri	42
3.3.1 Hemen kullanım durumu	42
3.3.2 Can güvenliği durumu	42
3.3.3 Göçmenin önlenmesi durumu	43
3.3.4 Göçme durumu	43
3.4 Deprem Hareketi	44
3.5 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri	44
3.6 Depremde Bina Performansının Belirlenmesi	45
3.6.1 Doğrusal elastik hesap yöntemleri	45
3.6.1.1 Yöntemin esasları	45
3.6.1.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi	46
3.6.1.3 Mod birleştirme yöntemi	46
3.6.1.4 Yapı elemanındaki hasar sınırlarının sayısal değerlerinin belirlenmesi	46
3.6.1.5 Çelik yapı elemanlarının etki/kapasite oranlarının sınır değerleri	47
3.6.2 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri	49
3.6.2.1 Yöntemin esasları	49
3.6.2.2 Plastik davranışın idealleştirilmesi	50
3.6.2.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi	52
3.6.3 Performans noktasının kabul kriterleri	52
3.6.3.1 Bina için öngörülen kabul kriterleri	53
3.6.3.2 Yapı elemanları ve bileşenleri için öngörülen kabul kriterleri	54
4 MEVCUT ÇELİK YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ İÇİN BİR YAKLAŞIM	57
4.1 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi	57
4.2 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi	59
5 SAYISAL İNCELEMELER	64
5.1 İncelenen Taşıyıcı Sistem Modelleri	64
5.2 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması	66
5.2.1 Boyutlandırmada gözönünde tutulan varsayımlar	66
5.2.2 Malzeme karakteristikleri	67
5.2.3 Boyutlandırmada esas alınan deprem yönetmelikleri	68
5.2.4 Boyutlandırmada esas alınan yükler	72

5.2.5 Deprem karakteristikleri	73
5.2.6 Boyutlandırmada esas alınan yükleme kombinasyonları	73
5.2.7 Analiz ve boyutlandırma	73
5.3 Boyutlandırılan Taşıyıcı Sistem Modellerinin Performans Değerlendirmesi	74
5.4 TSM-1 İçin Ayrıntılı İnceleme	74
5.4.1 Tasarım deprem yüklerinin bulunması	75
5.4.2 Enkesit profilleri, gerilme oranları ve yatay yerdeğiştirmelerin bulunması	76
5.4.3 Sistemin doğrusal elastik hesap yöntemine göre deprem performansının belirlenmesi	77
5.4.4 Sistemin doğrusal elastik olmayan hesap yöntemine göre deprem performansının belirlenmesi	83
5.4.5 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen hasar bölgelerinin karşılaştırılması	90
5.5 TSM-2 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırma	92
5.5.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen hasar bölgelerinin karşılaştırılması	93
5.6 TSM-3 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırma	96
5.6.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen hasar bölgelerinin karşılaştırılması	97
5.7 TSM-4 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırma	100
5.7.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen hasar bölgelerinin karşılaştırılması	101
5.8 TSM-5 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırma	104
5.8.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen hasar bölgelerinin karşılaştırılması	105
5.9 TSM-6 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırma	108
5.9.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen hasar bölgelerinin karşılaştırılması	109
5.10 Sayısal İncelemelere İlişkin Değerlendirmeler	112
6 SONUÇLAR	114
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	119

KISALTMALAR

ABYYHY'75	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1975
ABYYHY'98	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
ATC 40	: Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
BSSC	: Building Seismic Safety Council
CG	: Can Güvenliği
DBYBHY'06	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2006
EERC-UCB	: Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
ETABS	: Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FEMA 273	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
FEMA 356	: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings
FEMA 440	: Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures
GB	: Göçme Bölgesi
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
MN	: Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
SAP	: Structural Analysis Program
TS	: Türk Standardı
TS-648	: Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
TSM	: Taşıyıcı Sistem Modeli
TSM-1	: Birinci Taşıyıcı Sistem Modeli
TSM-2	: İkinci Taşıyıcı Sistem Modeli
TSM-3	: Üçüncü Taşıyıcı Sistem Modeli
TSM-4	: Dördüncü Taşıyıcı Sistem Modeli
TSM-5	: Beşinci Taşıyıcı Sistem Modeli
TSM-6	: Altıncı Taşıyıcı Sistem Modeli
Z2	: Yerel Zemin Sınıfı 2

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1 : Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri.....	8
Tablo 3.1 : Binalar İçin Öngörülen Performans Seviyeleri.....	45
Tablo 3.2 : Çelik Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r).....	47
Tablo 3.3 : Çelik Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r).....	48
Tablo 3.4 : Göreli Kat Ötelemesi Sınırları.....	53
Tablo 3.5 : Çelik Kirişler İçin Modelleme Parametreleri ve Kabul Edilen Plastik Dönme Kapasiteleri.....	55
Tablo 3.6 : Çelik Kolonlar İçin Modelleme Parametreleri ve Kabul Edilen Plastik Dönme Kapasiteleri.....	56
Tablo 5.1 : Taşıyıcı Sistem Modellerinin Farklılık Gösterdiği Özellikleri.....	65
Tablo 5.2 : Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi...	76
Tablo 5.3 : TSM-1 İçin Deprem Yüklerinden Oluşan Kat Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	76
Tablo 5.4 : TSM-1 İçin Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları.....	77
Tablo 5.5 : TSM-1 İçin Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları....	77
Tablo 5.6 : Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri.....	78
Tablo 5.7 : Kirişlerde Artık Eğilme Momenti Taşıma Kapasiteleri ve Etki/Kapasite Oranları (r).....	79
Tablo 5.8 : Kolonlarda Artık Eğilme Momenti Taşıma Kapasiteleri ve Etki/Kapasite Oranları (r).....	80
Tablo 5.9 : Kirişler İçin Hasar Bölgeleri.....	81
Tablo 5.10 : Kolonlar İçin Hasar Bölgeleri.....	82
Tablo 5.11 : Etkin Modal Kütle (%) Değerleri.....	84
Tablo 5.12 : Modal Katılım Oranı (%) Değerleri.....	84
Tablo 5.13 : Birinci Mod Yatay Yerdeğiştirmeleri.....	84
Tablo 5.14 : Taban Kesme Kuvveti-Tepe Noktası Yerdeğiştirmesi Değerleri.....	85
Tablo 5.15 : Modal Yerdeğiştirme ve Modal İvme Değerleri.....	86
Tablo 5.16 : Tepe Noktası Yatay Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi...	87
Tablo 5.17 : Kirişlerin Deprem Hasar Bölgeleri.....	88
Tablo 5.18 : Kolonların Deprem Hasar Bölgeleri.....	89
Tablo 5.19 : Kirişlerin Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	90
Tablo 5.20 : Kolonların Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	91
Tablo 5.21 : TSM-2 İçin Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları.....	92
Tablo 5.22 : TSM-2 İçin Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları....	93

Tablo 5.23	: TSM-2 Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	94
Tablo 5.24	: TSM-2 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	95
Tablo 5.25	: TSM-3 İçin Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları.....	96
Tablo 5.26	: TSM-3 İçin Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları....	97
Tablo 5.27	: TSM-3 Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	98
Tablo 5.28	: TSM-3 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	99
Tablo 5.29	: TSM-4 İçin Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları.....	100
Tablo 5.30	: TSM-4 İçin Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları....	101
Tablo 5.31	: TSM-4 Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	102
Tablo 5.32	: TSM-4 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	103
Tablo 5.33	: TSM-5 İçin Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları.....	104
Tablo 5.34	: TSM-5 İçin Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları....	105
Tablo 5.35	: TSM-5 Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	106
Tablo 5.36	: TSM-5 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	107
Tablo 5.37	: TSM-6 İçin Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları.....	108
Tablo 5.38	: TSM-6 İçin Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları....	109
Tablo 5.39	: TSM-6 Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	110
Tablo 5.40	: TSM-6 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması.....	111

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı.....	6
Şekil 2.2 : Çeşitli Teorilere Göre Elde Edilen Yüğü Parametresi-Yerdeğiştirme Bağıntıları.....	9
Şekil 2.3 : Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim.....	11
Şekil 2.4 : Şematik Yüğü Parametresi-Şekildeğiştirme Diyagramı.....	11
Şekil 2.5 : İdeal Malzemeler.....	12
Şekil 2.6 : Yapı Çeliklerinde σ - ϵ Diyagramı.....	13
Şekil 2.7 : Yapı Çeliğinin σ - ϵ Diyagramlarının İdealleştirilmesi.....	14
Şekil 2.8 : Düzlem Çubuk Elemanda İç Kuvvetler ve Şekildeğiştirmeler.	14
Şekil 2.9 : Bünye Denklemlerinin Eğri Grupları Halinde Gösterimi.....	16
Şekil 2.10 : Akma Eğrisi (Karşılıklı Etki Diyagramı).....	17
Şekil 2.11 : Basit Eğilme Halinde Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı.....	18
Şekil 2.12 : İdeal Elastoplastik Malzemede σ - ϵ Diyagramı.....	19
Şekil 2.13 : Artan Eğilme Momentinden Oluşan Şekildeğiştirme ve Gerilme Durumları.....	20
Şekil 2.14 : Eğilme Momenti-Eğrilik (M - χ) Diyagramı.....	21
Şekil 2.15 : I Kesiti ve Dikdörtgen Kutu Kesit.....	22
Şekil 2.16 : Çeşitli Kesitlerde M - χ Diyagramları.....	23
Şekil 2.17 : Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen I Kesiti.....	24
Şekil 2.18 : Zayıf Eksen Etrafında Eğilen I Kesiti.....	24
Şekil 2.19 : Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen I Kesitlerinde $\chi=F_I(M,N)$ Bünye Bağıntıları.....	25
Şekil 2.20 : Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen I Kesitlerinde Akma Eğrileri	26
Şekil 2.21 : Akma Eğrisi ve Akma Vektörü.....	26
Şekil 2.22 : Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı.....	29
Şekil 2.23 : Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmeler.....	30
Şekil 2.24 : İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı.....	31
Şekil 2.25 : Plastik Mafsallık Boyu.....	31
Şekil 2.26 : Plastik Mafsallık Hipotezinin Geçerli Olduğı Bir Yapı Sisteminin Artan Yüğü Altındaki Davranışı (Birinci Mertebe Elastoplastik Teori).....	33
Şekil 2.27 : Tümsel ve Bölgesel Mekanizma Durumları.....	34
Şekil 2.28 : Yerdeğiştirmelerin Hesabı.....	35
Şekil 2.29 : Birim Yüklemede Kısaltma Teoreminin Uygulanması.....	36
Şekil 2.30 : Plastik Mafsalların Dönmelerinin Bulunması.....	36
Şekil 2.31 : Plastik Mafsallık Hipotezinin Geçerli Olduğı Bir Yapı Sistemin Artan Yüğü Altındaki Davranışı (İkinci Mertebe Elastoplastik Teori)	38

Şekil 2.32	: Burkulma Yükünün Plastik Mafsallarının Oluşumuna Bağlı Olarak Değişimi.....	39
Şekil 3.1	: İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Eğrisinde Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri.....	41
Şekil 3.2	: Eğilme Momenti-Plastik Dönme Bağlılıkları.....	51
Şekil 4.1	: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_I^{(I)} \geq T_B$).....	61
Şekil 4.2	: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_I^{(I)} < T_B$).....	62
Şekil 5.1	: Taşıyıcı Sistem Modellerinin Kiriş ve Kolon Numaraları.....	66
Şekil 5.2	: Eşdeğer Deprem Yüklerinin Bulunması.....	70
Şekil 5.3	: Kiriş ve Kolon Uçlarındaki Olası Plastik Mafsallar.....	83
Şekil 5.4	: Statik İtme Eğrisinin İki Doğrulu Diyagrama Dönüştürülmesi.	85
Şekil 5.5	: Spektral İvme ve Spektral Yerdeğiştirme Diyagramı.....	86

SEMBOL LİSTESİ

A	: Enkesit alanı
A(T₁)	: T ₁ periyot değerindeki spektral ivme katsayısı
A_o	: Etkin yer ivmesi katsayısı
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
b_f	: Enkesit profili başlık levhası genişliği
C	: Deprem katsayısı
C_o	: Deprem bölge katsayısı
C_{R1}	: Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
d	: Enkesit yüksekliği
$\vec{d}(\chi, \varepsilon)$	: Plastik şekildeğiştirme (akma) vektörü
d_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma yerdeğiştirmesi
d₁, S_{d1}	: Modal yerdeğiştirme
d₁^(p)	: En son (p)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait maksimum modal yerdeğiştirme (modal yerdeğiştirme istemi)
E	: Elastisite modülü
e	: Güvenlik katsayısı
f	: Şekil katsayısı
F_i(M,N,T)	: Malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı doğrusal olmayan fonksiyonlar
F_i	: Kütlelerin toplandığı varsayılan noktalara etkiyen eşdeğer deprem yükleri
F_{ye}, σ_{ye}	: Yapı çeliği akma gerilmesi
g	: Yerçekimi ivmesi, sabit yük
g_d	: Bölme duvar yükü
H	: Yapının temel üst kotundan ölçülen yüksekliği
h	: Enkesit profili yüksekliği
H_i	: Yapının i'inci katının temel üst kotundan ölçülen yüksekliği
I	: Kesit atalet momenti, yapı önem katsayısı
i_b	: Eğilmenin meydana geldiği düzleme dik eksene göre atalet yarıçapı
K	: Eğilme düzlemindeki etkin burkulma boyu katsayısı, yapı tipi katsayısı
K_o	: Kapasite eğrisinde başlangıç rijitliği
K₁(χ,ε,γ)	: Akma (kırılma) eğrisini veya karşılıklı etki diyagramını şekildeğiştirmelere bağlı olarak ifade eden fonksiyon
K₁(M,N,T)	: Akma (kırılma) eğrisini veya karşılıklı etki diyagramını kesit zorlarına bağlı olarak ifade eden fonksiyon
K_{eff}	: Kapasite eğrisinde performans noktasındaki etkili rijitlik
l	: Çubuk boyu
l_p	: Plastik mafsallık boyu
M	: Eğilme momenti
M_{ak}	: Artık eğilme momenti kapasitesi

M_e	: Kesitin doğrusal-elastik olarak taşıyabileceği en büyük eğilme momenti
M_{EX}	: Deprem yükleri etkisi altında hesaplanan eğilme momenti
M_{GQ}	: Düşey yükler etkisi altında hesaplanan eğilme momenti
M_p	: Kesitin eğilme momenti taşıma gücü (plastik moment)
$\bar{M}$	: İndirgenmiş plastik moment
N	: Normal kuvvet, Yapının kat adedi
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
N_p	: Kesitin normal kuvvet kapasitesi (plastik normal kuvvet)
P	: Yatay yük parametresi
P_B	: Doğrusal-elastik burkulma yükü
P_{cr}	: Kritik yük
P_G	: Göçme yükü
P_i	: i nolu kattaki toplam düşey yük
P_L	: Limit yük
P_{L1}	: Birinci mertebe limit yük
P_{L2}	: İkinci mertebe limit yük
$P-\Delta$	: Yük Parametresi – yerdeğiştirme bağıntısı
$P-\Delta I$	: Yük parametresi – şekildeğiştirme bağıntısı
q	: hareketli yük
r	: Etki/kapasite oranı
r_s	: Sınır 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	: Yapı dinamik katsayısı (spektrum katsayısı)
$S(T_1)$	: T_1 periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değeri
S_a	: Spektral ivme
S_{ae1}	: Birinci moda ait elastik spektral ivme
$S_{ae1}^{(1)}$	: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme
s_b	: Eğilme düzlemindeki serbest boy
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
S_{de1}	: Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme
$S_{de1}^{(1)}$	: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme
S_{di1}	: Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme
T	: Kesme kuvveti, yapının birinci normal moduna ait doğal periyot
t	: Kesite etkiyen düzgün sıcaklık değişmesi
T_o	: Zemin hakim periyodu
T_1	: Yapının birinci doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
t_b	: Enkesit profili başlık levhası kalınlığı
t_w	: Enkesit profili gövde levhası kalınlığı
$u_{xN1}^{(p)}$	: Binanın tepesinde (N 'inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
V_b, V_t	: Yapının tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü, taban kesme kuvveti
V_i	: i nolu kata ait kesme kuvveti

V_t	: Yapının tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü, taban kesme kuvveti
W	: Yapının deprem sırasındaki toplam ağırlığı
W_e	: Kesitin elastik mukavemet momenti
w_i	: Yapının i'inci katının toplam ağırlığı
W_p	: Kesitin plastik mukavemet momenti
α_1	: Birinci doğal moda ait modal kütle katsayısı
α_t	: Sıcaklık genleşme katsayısı
χ	: Birim dönme (eğrilik)
χ_p	: Kesitin eğilme momenti taşıma gücüne (plastik moment) karşı gelen birim dönme
$\chi_{p,maks}$	: En büyük birim dönme (eğrilik)
Δ	: Birim yerdeğiştirme
ΔF_N	: Ek eşdeğer deprem yükü
ΔI	: Doğrusal şekildeğiştirme
ΔI_{p1} ve ΔI_{p2}	: Doğrusal olmayan şekildeğiştirme
Δt	: Kesite etkiyen farklı sıcaklık değişmesi
δ	: yatay yerdeğiştirme
δ_i	: i'inci katın yatay yerdeğiştirmesi
ε	: Birim boy değişmesi
ε_e	: Akma şekildeğiştirmesi
$\phi_p, \phi_{plastik}$	: Plastik mafsal dönmesi
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
γ	: Birim kayma
φ	: Kesitin dönmesi
φ_p	: Plastik mafsalın dönmesi
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$	: Plastik mafsal dönmeleri
κ	: Yapının taşıyıcı sisteminin davranışı ve depremin süresine bağlı olarak değişen bir katsayı
$\max \varphi_p$	: Plastik mafsalın dönme kapasitesi
θ_y	: Akma sınırına karşı gelen dönme
σ_b	: Eğilme momenti altında hesaplanan gerilme
σ_e	: Akma gerilmesi
σ_k	: Kopma gerilmesi
σ_p	: Orantı sınırı
ω_1	: Birinci moda ait doğal açısal frekans
ω_b	: Zemin karakteristik periyodu T_B 'ye karşı gelen doğal açısal frekans
μ	: Süneklik oranı
η_{bi}	: Bina burulma düzensizliği katsayısı

MEVCUT ÇELİK YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ İÇİN BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Yapı sistemlerinin deprem etkileri altındaki performans düzeylerinin ve güvenliklerin belirlenmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Doğrusal teoriyi esas alan dayanım bazlı değerlendirme yöntemlerinde, malzemenin doğrusal-elastik ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır. Doğrusal olmayan teoriye dayanan şekildeğiştirme bazlı değerlendirme yöntemlerinde ise, malzemenin doğrusal-elastik sınırın ötesindeki davranışı hesaba katılmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olmadıkları gözönünde tutulmaktadır.

Ülkemizdeki yoğun yerleşim bölgelerinin ve endüstri alanlarının büyük bir bölümü aktif deprem kuşağı üzerinde yer almakta ve önemli oranda deprem riski altında bulunmaktadır. Geçmişte meydana gelen depremlerden kaynaklanan hasarlar, can kayıpları ve endüstri tesislerindeki zararlar, deprem bölgelerindeki mevcut yapıların önemli bir bölümünün yeterli deprem güvenliğine sahip olmadığını göstermektedir. Bu sonuç, aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde çeşitli önlemlerin alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu önlemler, yeni inşa edilecek yapıların tasarım ve yapımının bilimsel esaslara, temel mühendislik ilkelerine ve yönetmeliklere uygun olarak gerçekleştirilmesi, ayrıca, özellikle deprem riski yüksek olan bölgelerden başlayarak, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesi veya yenilenmesidir.

Bu çalışmada, moment aktaran çerçevelerden oluşan orta yükseklikli çelik yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesine katkı sağlamak üzere, 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen genel ilkeler ve öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile FEMA 356 Östandardı'nda çelik yapı sistemlerinin performans değerlendirmesine ilişkin olarak verilen esaslar çerçevesinde iki yaklaşım önerilmiş ve bu yaklaşımların esas alındığı sayısal incelemeler gerçekleştirilmiştir. Sayısal incelemelerde, önerilen yaklaşımlar irdelenmiş ve sayısal sonuçları karşılaştırılmıştır.

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 incelenmiş ve doğrusal olmayan sistemlerin hesap yöntemleri gözden geçirilmiştir. Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri, 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 ve uygulamalarının açıklanmasına ayrılmıştır.

Dördüncü bölümde, mevcut çelik yapıların deprem performanslarının belirlenmesi için, 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen genel ilkeler ile öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere ve FEMA 356 Önstandartı'nda çelik yapı sistemlerinin performans değerlendirmesine ilişkin olarak verilen esaslara dayanan iki yaklaşımın uygulanmasına ait hesap adımları verilmiştir.

Beşinci bölümde, sayısal parametrik incelemeler yer almaktadır. Bu bölümde, orta yükseklikteki çelik binaların pratikteki olası uygulamalarını temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modelleri, çeşitli tarihlerde yürürlükte olan deprem yönetmeliklerine göre boyutlandırılmıştır. Bu sistemlerin ve bunların çeşitli alternatiflerinin, bu çalışmada önerilen doğrusal ve doğrusal olmayan yaklaşımlar ile deprem performansları belirlenmiş ve her iki yaklaşım ile elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

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:

- a. 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen genel ilkeler ve öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile FEMA 356 Önstandartı'nda çelik yapı sistemlerinin performans değerlendirmesine ilişkin olarak verilen esaslar çerçevesinde geliştirilen iki yaklaşım ile belirlenen kesit hasar bölgeleri, kiriş ve kolon kesitlerinin kompakt olma veya olmama durumlarına göre farklılıklar göstermektedir. İki yöntemin sonuçlarının farklılık gösterdiği elemanlardaki değişim, kiriş ve kolonların tamamının kompakt kesit özelliği gösterdiği modellerde büyük oranda bir hasar bölgesi aralığında, sadece kirişlerin veya sadece kolonların kompakt kesit özelliği gösterdiği modellerde ise bir veya birden fazla hasar bölgesi aralığı mertebesinde.
- b. Doğrusal olmayan değerlendirme yöntemi ile belirlenen kesit hasar bölgeleri genelde daha elverişli sonuçlar vermektedir. Yapı elemanlarının kompakt olmama durumlarında iki yöntem arasındaki fark daha da açılmaktadır. Bu sonuç, deprem güvenlik ve performansının değerlendirmesinde, yapı sistemlerinin gerçek davranışlarını daha yakından izleyen doğrusal olmayan yöntemlerin üstünlüğünü vurgulamaktadır.
- c. Doğrusal olmayan yöntemde bina bazında bir değerlendirme yapılmasına karşılık, doğrusal yöntemde kesit bazında değerlendirme ile elemanların hasar bölgeleri belirlenmekte ve bu sonuçlara dayanarak binanın deprem performansı elde edilmektedir. Bu durum, doğrusal yöntemin olumsuz bir özelliği olarak değerlendirilebilir.
- d. Doğrusal yöntemin betonarme ve çelik yapılara uygulamasında, FEMA 356 Önstandartı'ndaki ve 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki doğrusal yöntem arasında farklılıklar bulunmakta ve bu farklılıklar elde edilen sonuçları etkilemektedir. Bu nedenle, FEMA 356 Önstandartı'ndaki

etki/kapasite oranları sınır değerlerinin, Türk Deprem Yönetmeliği'ne uyarlanması aşamasında, uygun şekilde revize edilmesi gerekmektedir.

- e. Seçilen taşıyıcı sistem modellerinin tümsel yapı sistemi yerine, bina taşıyıcı sisteminin elemanları olan çerçeveler olması nedeniyle, elde edilen sonuçlar ile bina bazında genel bir değerlendirme yapılamamaktadır. Bununla birlikte, çerçeve düzeyinde yapılan performans değerlendirmesi sonuçlarına göre, 1998 ve 1975 Türk Deprem Yönetmelikleri'ne uygun olarak boyutlandırılan çelik binalar için, tüm kiriş ve kolonları kompakt olan taşıyıcı sistem modellerinde can güvenliği performans düzeyinin sağlandığı, buna karşılık sadece kirişleri veya sadece kolonları kompakt olan sistemlerde göçmenin önlenmesi ve/veya göçme durumlarının oluştuğu görülmektedir.

AN APPROACH FOR DETERMINATION OF SEISMIC PERFORMANCE OF EXISTING STEEL STRUCTURES

SUMMARY

In determination of performance levels of structural systems under the effect of earthquake forces, the linear and non-linear evaluation methods are utilized. In strength based evaluation methods of linear theory, it is assumed that the material is linear-elastic and the displacements are small. Whereas, in deformation based evaluation methods which use the non-linear approach, behavior of material beyond the linear-elastic limit as well as the second-order effects are taken into consideration.

In our Country, majority of densely populated settlements and industrial zones are located on active fault lines and under the serious threat of earthquakes. Loss of human life and damages to buildings and industrial facilities suffered due to recent earthquakes show that the majority of existing structures in seismic zones do not have sufficient resistance against earthquakes. This result indicates that a multitude of measures should be taken in our Country which is located on an active seismic zone. These measures are the compliance with basic engineering principles in design and construction of new structures and, starting from zones with high earthquake probability, determination of seismic performance and strengthening or replacement of existing structures.

In this study, in an effort to contribute to the determination of seismic performance of medium height steel structures composed of moment resisting frames, two approaches are proposed within the general principles and linear and non-linear methods given by the 2006 Turkish Earthquake Code and the basis of evaluation of steel structures given by the FEMA 356 Prestandard. Numerical investigations are performed using these two approaches. In numerical investigations, the proposed approaches were explored and numerical results were compared.

The Master of Science thesis consists of six chapters. The first chapter covers the subject, the results of a literature survey and the scope and objectives of the study.

In the second chapter, the non-linear behavior of the structural systems is investigated and methods of analysis of non-linear systems are reviewed. The internal force-deformation relationships of materially non-linear steel members, the basic principles of plastic hinge hypothesis and the load increments method based on this hypothesis are explained.

The third chapter is assigned to the determination of seismic performance evaluation methods of existing structures and performance based design of earthquake resistant new structures.

In the fourth chapter, steps of analysis methods to establish the seismic performance of existing steel structures, based on the general principles and linear and non-linear methods given in 2006 Turkish Earthquake Code along with the principles given in FEMA 356 Prestandard for assessment of performance of steel structural systems are given.

The fifth chapter is devoted to the numerical parametric investigations. In this chapter, the structural system models selected to represent the practical application of medium height steel structures are designed according to various earthquake codes applicable at different dates. Seismic performances of these systems and their alternatives were determined through the linear and non-linear approaches developed in this study and the results of two approaches were compared.

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.

- a. The damage levels that are determined through the two approaches, developed within the framework of both general principles, linear and non-linear methods foreseen by the 2006 Turkish Earthquake Code and the damage limits given by the FEMA 356 Prestandard, may demonstrate different results to some extent, depending on the compactness of beam and column cross-sections. The difference resulting from use of either method is in the order of a single damage level where beams and columns are completely compact sections, while the difference is about one or more damage levels where only, either beams or columns exhibit compact section properties
- b. The member damage levels obtained through the non-linear evaluation methods yield more convenient results, in other words, the structural performance determined by the non-linear method is of higher degree. This conclusion indicates the advantage of non-linear methods which consider the actual structural behavior.
- c. Evaluation using non-linear methods is carried out on building basis, while using linear methods evaluation is done on an elementary basis, determining building performance based on damage levels of each structural member. This may be interpreted as a disadvantage of the linear method.
- d. In the application of the linear evaluation method, the approaches of FEMA 356 Prestandard and 2006 Turkish Earthquake Code are quite different and these differences affect the results. Therefore, in the adaptation of FEMA 356 demand/capacity ratio limits to 2006 Turkish Earthquake Code, necessary revisions must be made.
- e. Since the individual structural system models of moment frames do not represent the building structure, a global evaluation of the building cannot be made. However, the results of evaluation of framed structural systems indicate that, the structural systems that are properly designed according to the 1998 and 1975 Turkish Earthquake Codes and are made of compact sections, may satisfy the life safety performance level while structures where either beam or column cross-sections do not satisfy the compact section criteria, may be in collapse prevention and/or collapse performance levels.

1 GİRİŞ

1.1 Konu

Ülkemizdeki yoğun yerleşim bölgelerinin ve endüstri alanlarının büyük bir bölümü aktif bir deprem kuşağı üzerinde yer almakta ve önemli oranda deprem riski altında bulunmaktadır. Nitekim 1999 Marmara depreminde, yaklaşık 17000 can kaybı ve 100000 konutta ağır hasar meydana gelmiş, endüstri tesisleri büyük ölçüde zarar görmüştür. Depremlerden kaynaklanan bu hasar ve kayıplar, aynı zamanda, deprem bölgelerindeki mevcut yapıların önemli bir bölümünün yeterli deprem güvenliğine sahip olmadıklarını göstermektedir.

1999 Marmara ve Düzce depremleri sonrasında gerçekleştirilen incelemeler ve araştırmalar, depremde hasar gören yapılardaki yetersizliklerin

- a) bilimsel esaslara, temel mühendislik ilkelerine ve yönetmeliklere uygun olmayan hatalı tasarımdan,
- b) malzeme kalitesindeki yetersizlikten,
- c) projeye ve yönetmeliklere uygun olmayan kusurlu yapımdan

kaynaklandığını göstermektedir.

Bu sonuç, aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, çeşitli önlemlerin alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu önlemler

- a) yeni inşa edilecek yapıların tasarım ve yapımının bilimsel esaslara, temel mühendislik ilkelerine ve yönetmeliklere uygun olarak gerçekleştirilmesi,
- b) özellikle deprem riski yüksek olan bölgelerden ve bu bölgedeki kamu binalarından başlayarak, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesi veya yenilenmesidir.

Mevcut yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesinde, dayanım bazlı doğrusal yöntemlerin yanında, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı performans

analizini öngören yöntemler de giderek önem kazanmaktadır. Doğrusal olmayan sistem analizine dayanan bu hesap yöntemlerinden yararlanarak, yapı sistemlerinin dış yükler ve deprem etkileri altındaki davranışları yakından izlenebilmekte, deprem performans ve güvenlikleri daha gerçekçi olarak belirlenebilmektedir.

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 şekildeğiştirmelerin sistem üzerine sürekli olarak yayıldığı gözönüne alındığı çalışmalar ve yöntemler, [1-5],
- b) doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde yığıldığı, buna karşılık sistemin diğer bölgelerinin doğrusal-elastik davrandığı varsayımının esas alındığı plastik mafsallı hipotezine dayanan yöntemler, [6-9].

Bu yöntemlerin geliştirilmesine paralel olarak, doğrusal olmayan kurama dayanan pratik ve etkin bilgisayar programları da giderek gelişmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır, [10, 11].

Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı 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, yerdekiştirme 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 [12] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından '*NEHRP Guidelines*

for the Seismic Rehabilitation of Buildings' - FEMA 273 [13], '*Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*' - FEMA356 [14] yayınları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 taslak raporu [15] 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 projelerin ve yayınların sonuçlarından yararlanarak, deprem bölgelerinde yer alan mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve yeni inşa edilecek binaların performansa dayalı tasarımı mümkün olmaktadır.

Diğer taraftan, Avrupa Birliği standartları arasında bulunan Eurocode 8.3 [16] standardında da, 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 Yönetmeliği'ne [17], mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları yürütülmüş ve bu çalışmalar tamamlanarak '*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*' – 2006 Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY'06) [18] yayınlanmıştır. Böylece, yerdeğiştirmeye ve şekildeğiştirmeye bağlı performans değerlendirilmesi kavramı, ülkemizdeki bina stoğunun büyük bir bölümünü oluşturan betonarme binalara yönelik olarak, deprem yönetmeliği kapsamına alınmıştır. Türk Deprem Yönetmeliğinin kapsamının, yakın bir gelecekte, çelik yapı sistemlerinin deprem performans ve güvenliklerinin belirlenmesine ilişkin ilke ve kuralları da içerecek şekilde genişletilmesi beklenmektedir.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, orta yükseklikli çelik binaları temsil edecek şekilde belirlenen bir grup taşıyıcı sistem modeli (TSM) üzerinde, mevcut çelik binaların deprem performanslarının belirlenmesi için 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan

genel ilkeler ve öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile FEMA 356 Önstandartı'nda çelik yapı sistemlerinin performans değerlendirmesine ilişkin olarak verilen esaslar çerçevesinde, performans değerlendirme yaklaşımlarının uygulanması ve elde edilen sayısal sonuçların değerlendirilmesi suretiyle

- a) çelik yapıların pratikteki olası uygulamalarını belirli ölçüde temsil eden söz konusu yapı sistemlerinin deprem performans ve güvenliklerinin belirlenmesi,
- b) yönetmelikte öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerin bu tür yapı sistemleri üzerinde karşılaştırılmasıdır.

Böylece, Türk Deprem Yönetmeliği'nin mevcut yapıların deprem güvenliklerinin değerlendirilmesine ilişkin bölümünün, çelik yapı sistemlerini de kapsayacak şekilde genişletilmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Çalışmada izlenen yol aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- a) Çelik yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışının incelenmesi.
- b) Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin gözden geçirilmesi.
- c) 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan genel ilkeler ile FEMA 356 Önstandartı'nda çelik yapı sistemlerinin performans değerlendirmesine ilişkin esaslar çerçevesinde, çelik yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesine yönelik yaklaşımların geliştirilmesi.
- d) Sayısal incelemelere esas oluşturan taşıyıcı sistem modellerinin (TSM) belirlenmesi ve çeşitli alternatif boyutlandırma kriterleri ile tasarımı.
- e) Bu sistemlerin ve bunların çeşitli alternatiflerinin, doğrusal ve doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri ile deprem performanslarının bulunması ve sayısal sonuçlarının değerlendirilmesi.
- f) Çalışmada varılan sonuçların açıklanması.

2 ÇELİK YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI

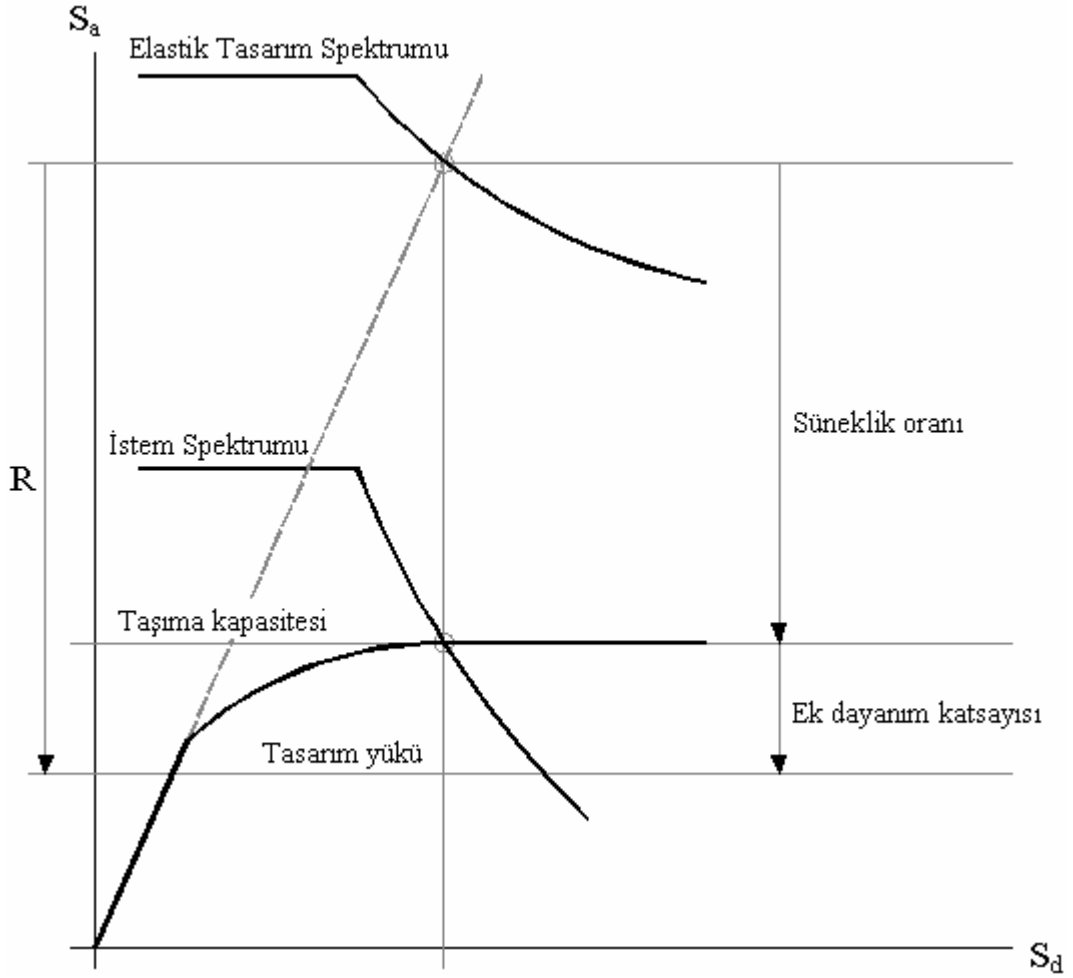
2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı

Bazı özel durumların dışında, yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle doğrusal davranış gösterirler. Bu genel durumun dışında kalan sistemler arasında narin yapılar ve elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel (lokal) zayıflıklar ve stabilite yetersizlikleri içeren yapılar sayılabilir.

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

Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve yerdeğiştirmeler çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır.

Günümüzde yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan ve doğrusal teoriye göre sistem analizine dayanan tasarım yaklaşımlarda (güvenlik gerilmeleri esasına göre tasarım ve taşıma gücü yöntemine göre tasarım), yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışı çeşitli şekillerde göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, ikinci mertebe etkilerini hesaba katmak ve burkulmaya karşı güvenlik sağlamak amacıyla, moment büyütme yönteminden ve/veya burkulma katsayılarından yararlanılmakta, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle iç kuvvet dağılımının değişmesi uyum (yeniden dağılım) ilkesi yardımı ile gözönüne alınmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, deprem etkilerine göre hesapta malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem yükü azaltma katsayısı ile bölünerek küçültülmektedir, Şekil 2.1.



Şekil 2.1: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesini gözönüne almak, çok küçük olmayan yerdeğiştirmelerin 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 durum ile karşılaşilmektedir. Bunlardan birincisi, yapı sisteminin doğrusal olmamasına neden olan etkenlerin belirlenerek sistem davranışını gerçeğe yakın bir şekilde temsil eden hesap modelinin oluşturulması, diğeri ise bu hesap modelinin matematik formülasyonu ile elde edilen doğrusal olmayan denklem sisteminin etkin bir şekilde çözülmesidir.

2.1.1 Çözümün sağlaması gereken koşullar

Bir yapı sisteminin dış etkiler altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, şekildeğiştirmeler ve yerdeğiştirmelerin çözüm olabilmeleri için aşağıdaki üç koşulu birarada sağlamaları gerekmektedir, [6].

- 1- Bünye denklemleri: Malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme-şekildeğiştirme bağlantılarına 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.

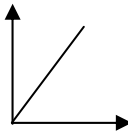
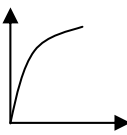
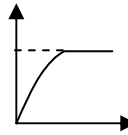
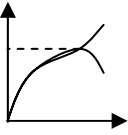
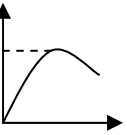
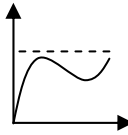
2.1.2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri

Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki temel nedenden kaynaklanmaktadır, [9].

- 1- Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekildeğiştirme bağlantılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması.
- 2- Geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik uygunluk koşullarının) doğrusal olmaması.

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

Tablo 2.1: Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri

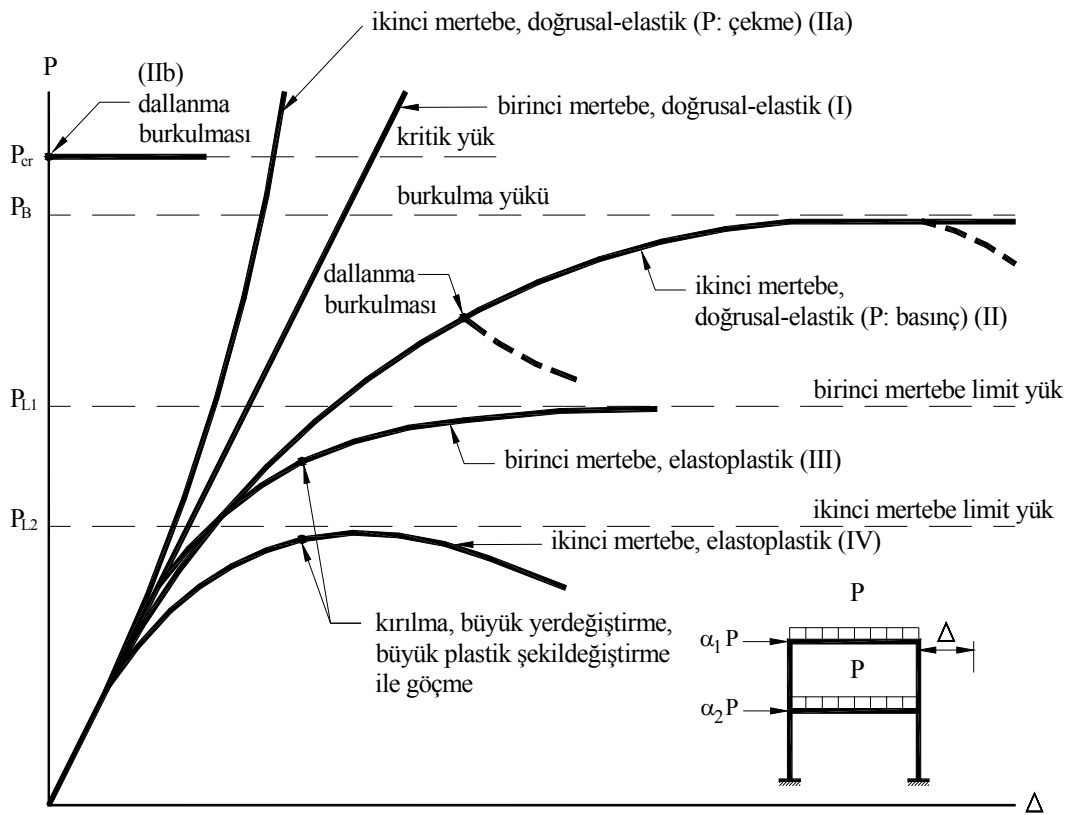
Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından (1)	Geometri Değişimleri Bakımından (2)		Her İki Bakımdan (1+2)	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekildeğiştirme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

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 2.2’de şematik olarak gösterilmişlerdir.

Malzemenin sınırsız olarak doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı şeklindeki (I) doğrusu ile temsil edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, eksenel kuvvetlerden oluşan ikinci mertebe etkilerinin hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise, eksenel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre farklı sistem davranışları ile karşılaşılabilir. Örneğin eksenel kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklere daha hızla artan yerdeğiştirmeler karşı gelmektedir. Dış yüklerin şiddetini ifade eden yük parametresi artarak *doğrusal-elastik burkulma yükü* adı verilen bir P_B değerine eşit olunca, yerdeğiştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkularak geçer. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra, artan yerdeğiştirmelere azalan yük parametresi karşı

gelebilir. Buna karşılık, örneğin asma sistemler gibi aksel 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 görüldüğü gibi, yerdeğiştirmeler birden artarak sonsuza erişir. Dallanma burkulmasına neden olan yüke *kritik yük* denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekildeğiştiren sistemlerde de oluşabilir, (II eğrisi).



Şekil 2.2: Çeşitli Teorilere Göre Elde Edilen Yük Parametresi-Yerdeğiştirme Bağınıtları

Doğrusal olmayan malzemeden 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, kopma (kırılma) sırasındaki toplam şekildeğiştirmelerin

doğrusal şekildeğiştirmelere oranının büyük olduğu sünek malzemeden yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsalları (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım *plastik mafsalları hipotezi* olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsalları hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci mertebe teorisine göre hesabında (III eğrisi), oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma gücünün sona erdiğini ifade eder. Bu yük *birinci mertebe limit yük* adını alır.

Doğrusallığı bozan her iki etkinin birlikte göz önüne alınması halinde, yani yapı sisteminin ikinci mertebe 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 plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle yerdeğiştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsalları hipotezinin geçerli olduğu 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, diğer bir deyişle, $P-\Delta$ diyagramında artan yerdeğiştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu yük parametresine *ikinci mertebe limit yük* denilmektedir.

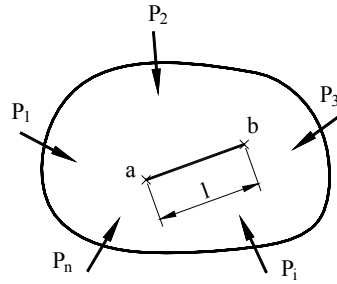
Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğiştirmeler, büyük plastik şekildeğiştirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan çatlaklar ve gevrek kırılma yapının göçmesine neden olabilmektedir.

2.2 İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlılıları ve Akma (Kırılma) Koşulları

Aşağıda, çeşitli yapı malzemelerinin gerilme-şekildeğiştirme bağılılıları ile düzlem ve uzay çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağılılıları ve akma (kırılma) koşulları gözden geçirilecektir.

2.2.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri

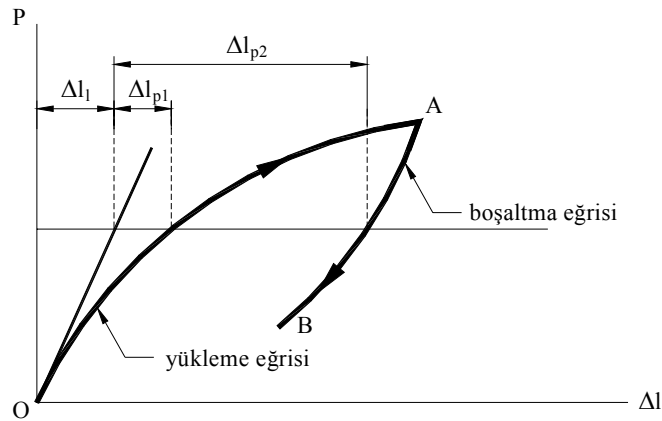
Şekilde 2.3'te görülen katı cisim, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan P_i dış kuvvetlerinin etkisi altındadır. Bu dış kuvvetlerin şiddetini tanımlayan P yük parametresi ordinata, bu kuvvetlerden dolayı katı cismin a ve b noktaları arasındaki l uzunluğunun Δl değişimi apsise taşınarak çizilen P - Δl diyagramı Şekil 2.4'te şematik olarak gösterilmiştir.



$$P_i = p_i P$$

P : yük parametresi

Şekil 2.3: Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim

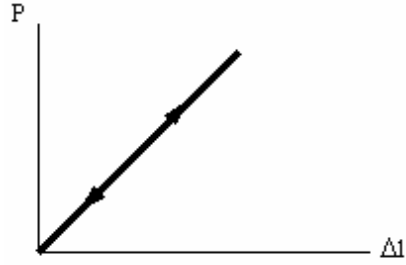


Şekil 2.4: Şematik Yük Parametresi-Şekildeğiştirme Diyagramı

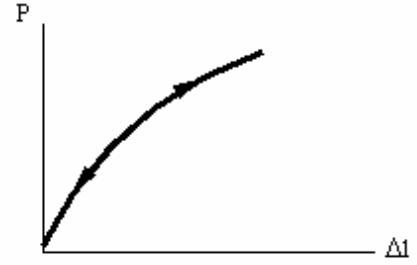
Bu diyagramın, artan yük parametresi için elde edilen OA bölümüne yüklenme eğrisi, yüklerin kaldırılması durumuna karşı gelen AB bölümüne de boşaltma eğrisi denir. Eğrinin başlangıç teğeti ile ordinat eksenini arasındaki Δl_1 şekildeğiştirmeleri doğrusal şekildeğiştirmeler, başlangıç teğeti ile yüklenme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

2.2.1.1 İdeal malzemeler

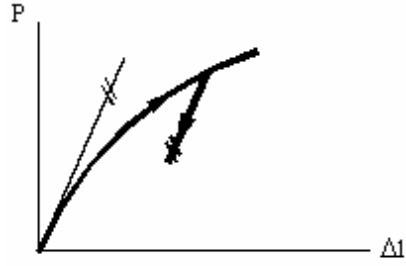
Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri üzerinde bazı idealleştirmeler yaparak tanımlanan ideal malzemelerin başlıcaları Şekil 2.5'te gösterilmiştir. [19]



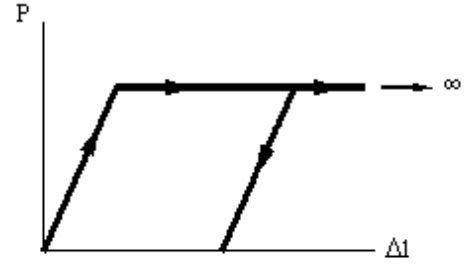
(a) Doğrusal-elastik malzeme



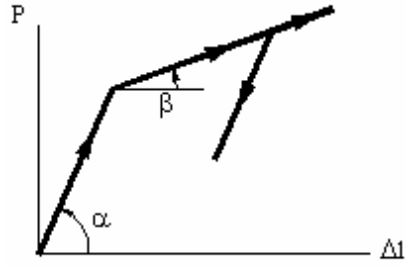
(b) Doğrusal olmayan elastik malzeme



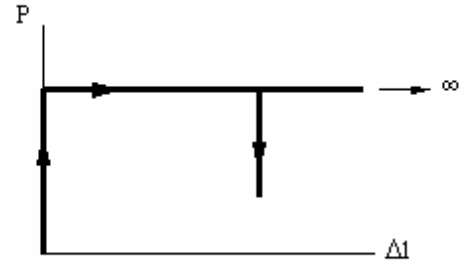
(c) Elastoplastik malzeme



(d) İdeal elastoplastik malzeme



(e) Pekleşen ideal Elastoplastik malzeme

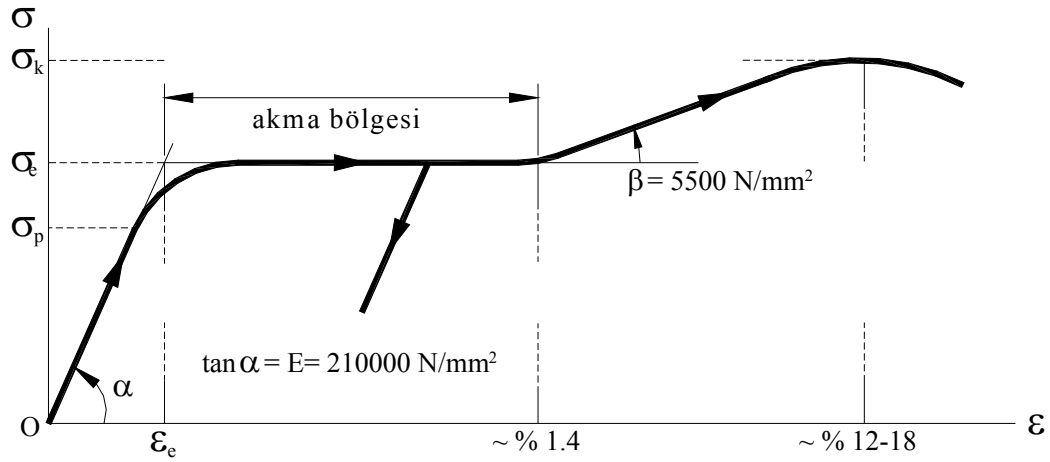


(f) Rijit plastik malzeme

Şekil 2.5: İdeal Malzemeler

2.2.1.2 Yapı çeliklerinin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları

Yapı çeliklerinin tipik gerilme-şekildeğiştirme (σ - ε) diyagramı ve bu diyagrama ait bazı sayısal değerler Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6: Yapı Çeliklerinde σ - ε Diyagramı

Bu diyagramı tanımlayan σ_k kopma gerilmesi, σ_e akma gerilmesi, ε_e akma şekildeğiştirmesi ve σ_p orantı sınırının çelik sınıfına bağlı olarak aldığı değerler:

$$\text{Fe 37 Yapı çeliği : } \sigma_k = 360-490 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_e = 235 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_e \cong 0,0011) \\ \sigma_p = 0.8\sigma_e \approx 188 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fe 52 Yapı çeliği : } \sigma_k = 510-610 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_e = 353 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_e \cong 0,0017) \\ \sigma_p = 0.8\sigma_e \approx 280 \text{ N/mm}^2$$

Yapı çeliklerinin σ - ε diyagramlarının bir bölümü veya tümü aşağıdaki şekillerde idealleştirilebilir, Şekil 2.7.

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. Birim boydaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre göreceli (rölatif) yerdeğiştirmelerinin kesit zorları doğrultularındaki bileşenleri elemanın

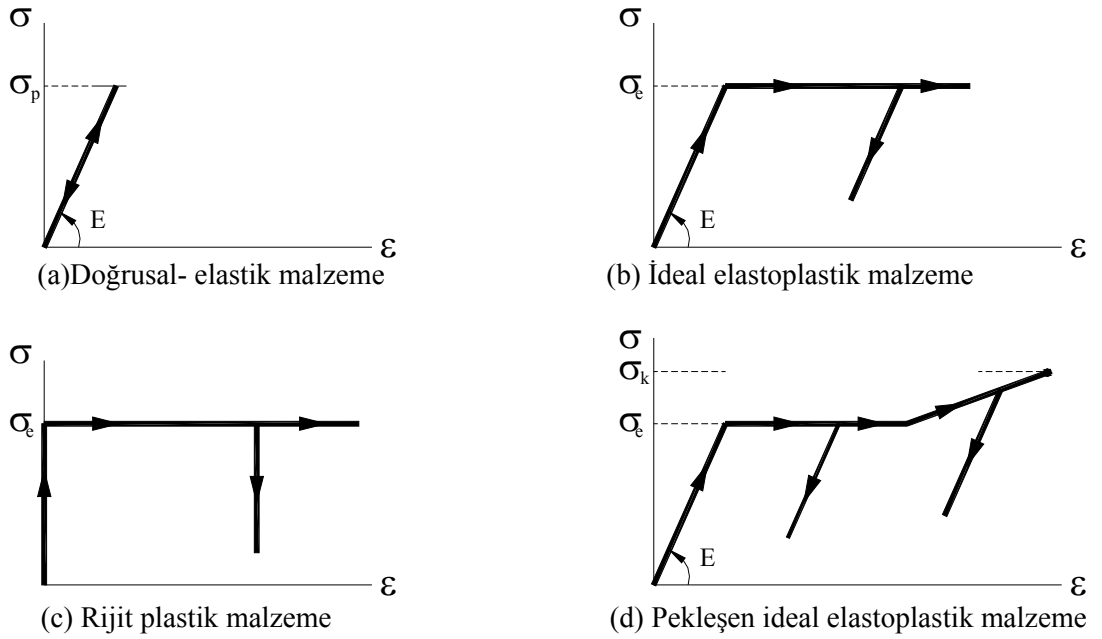
birim şekildeğiştirmeleri olarak tanımlanır. Bunlar φ kesitin dönmesini, u ve v kesitin çubuk eksenini ve ona dik doğrultudaki yerdeğiştirmelerini göstermek üzere

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

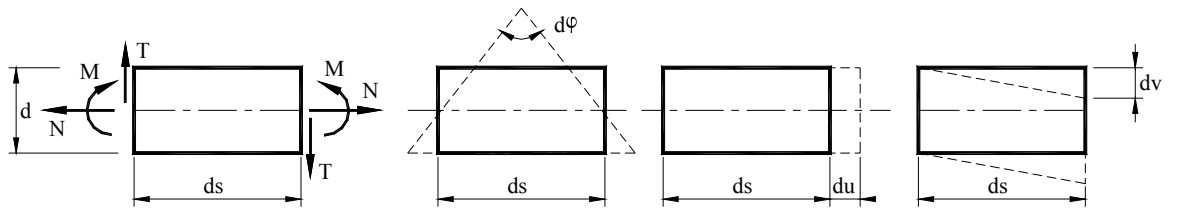
$$\varepsilon = du / ds \quad : \text{birim boy değişmesi}$$

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

adımı alırlar, Şekil 2.8.



Şekil 2.7: Yapı Çeliğinin σ - ε Diyagramlarının İdealleştirilmesi



Şekil 2.8: Düzlem Çubuk Elemanda İç Kuvvetler ve Şekildeğiştirmeler

Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvetler ile şekildeğiştirmeler arasındaki bağıntılar (bünye denklemleri), genel olarak

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N, T) + \frac{\alpha_t \Delta t}{d} \quad (2.1)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N, T) + \alpha_t \cdot t \quad (2.2)$$

$$\gamma = \frac{dv}{ds} = F_3(M, N, T) \quad (2.3)$$

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

İç kuvvetlerin artarak, belirli bir sınır duruma erişmesi halinde akma veya kırılma 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 şekildeğiştirmelere bağlı olarak ifade eden

$$K_1(M, N, T) = 0 \quad (2.4)$$

veya

$$K_2(\chi, \varepsilon, \gamma) = 0 \quad (2.5)$$

bağıntılarına akma (kırılma) koşulları denilmektedir.

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

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N) + \frac{\alpha_t \cdot \Delta t}{d} \quad (2.1a)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N) + \alpha_t \cdot t \quad (2.2a)$$

ve akma (kırılma) koşulu da

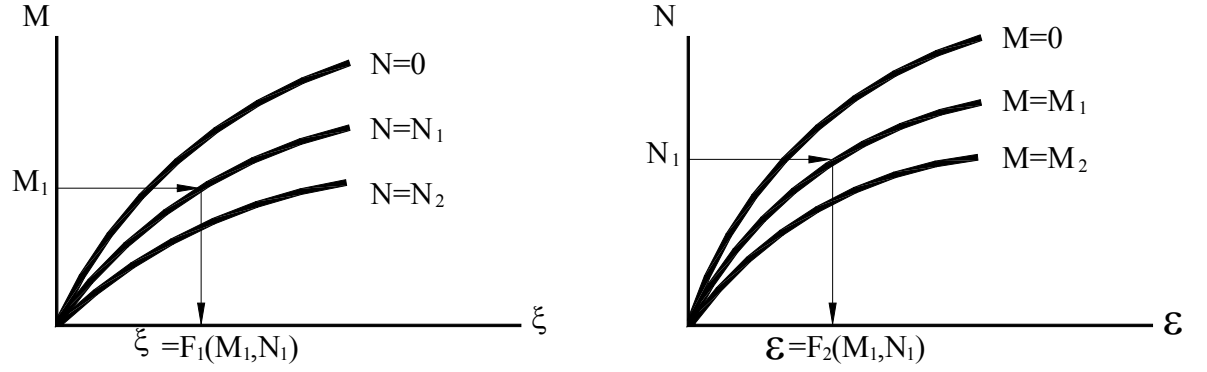
$$K_1(M, N) = 0 \quad (2.4a)$$

veya

$$K_2(\chi, \varepsilon) = 0 \quad (2.5a)$$

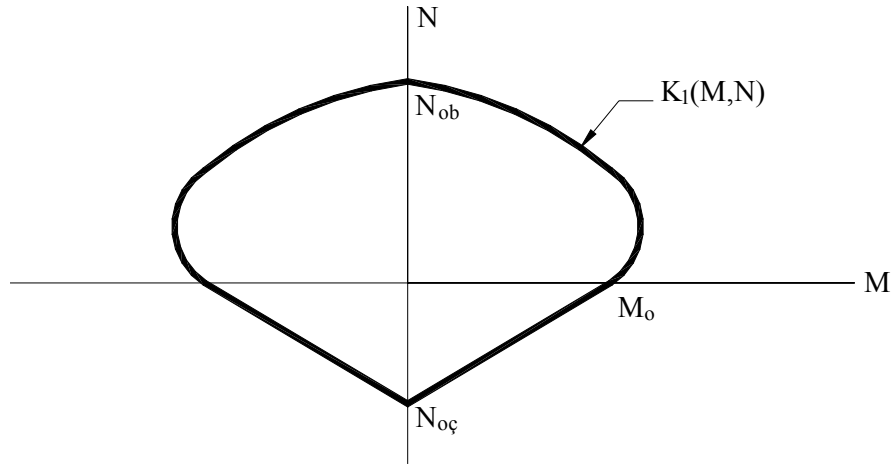
şeklini alır.

Bünye bağıntılarının belirlediği yüzeyler, pratikte genellikle eğri grupları halinde gösterilebilirler, Şekil 2.9.



Şekil 2.9: Bünye Denklemlerinin Eğri Grupları Halinde Gösterimi

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 2.10.



Şekil 2.10: Akma Eğrisi (Karşılıklı Etki Diyagramı)

Özel hal: N = 0 hali

Normal kuvvetin sıfır veya terk edilebilecek kadar küçük olması ve kesite sıcaklık değişmesi etkimemesi halinde, iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntısı

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M) \quad (2.6)$$

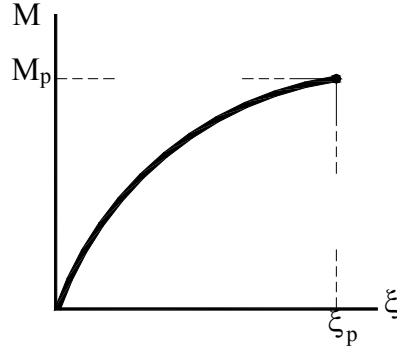
şeklinde yazılabilir. Akma koşulu ise

$$M - M_p = 0 \quad (2.7)$$

veya

$$\chi - \chi_p = 0 \quad (2.8)$$

bağıntıları ile ifade edilir. Burada M_p kesitin eğilme momenti taşıma gücünü (plastik moment), χ_p ise buna karşı gelen birim dönmeyi göstermektedir, Şekil 2.11.



Şekil 2.11: Basit Eğilme Halinde Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı

2.2.2.1 İdeal elastoplastik malzemenin yapılmış çubuklar

Bu bölümde, ideal elastoplastik malzemenin yapılmış çubuklarda kesit zorları ile şekil değiştirmeler arasındaki bağıntılar ve akma koşulları hakkında bilgi verilecektir, [8]. Uygulamada, yapı çeliği genellikle ideal elastoplastik malzeme olarak idealleştirilebilmektedir.

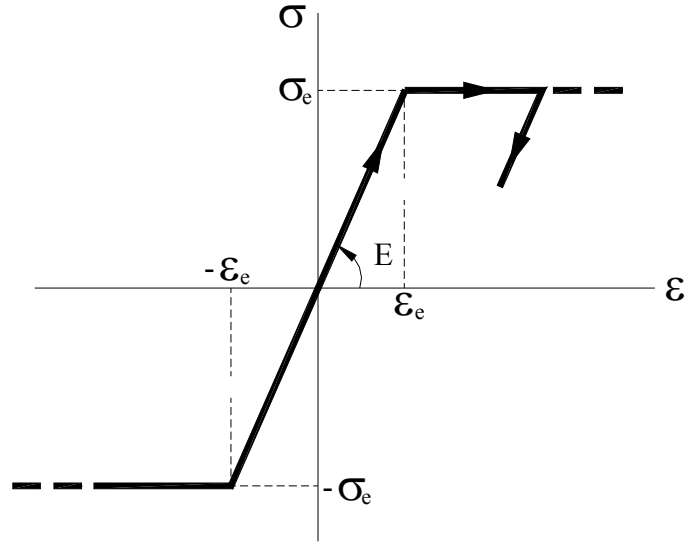
İdeal elastoplastik malzemenin tanımını uyarınca, σ - ε diyagramının

$$0 < \varepsilon \leq \varepsilon_e \quad \text{için} \quad \sigma = E\varepsilon \quad (2.9)$$

$$\varepsilon_e < \varepsilon \leq \infty \quad \text{için} \quad \sigma = \sigma_e \quad (2.10)$$

şeklinde iki doğru parçasından oluştuğu, çekme ve basınç yüklemeleri altında malzemenin aynı özellikleri gösterdiği gözönünde tutulacaktır, Şekil 2.12. Burada E çeliğin elastisite modülünü, σ_e ise akma gerilmesini göstermektedir.

Ayrıca, dik kesitin şekil değiştirdikten sonra da düzlem kaldığı (Bernoulli - Navier hipotezi) ve kesme kuvvetinin eğilme ve uzama şekil değiştirmelerine etkisinin terk edilebileceği varsayımları yapılmaktadır.



Şekil 2.12: İdeal Elastoplastik Malzemede σ - ϵ Diyagramı

a) Eğilme momenti etkisindeki çubuklar

Eğilme momenti etkisindeki çubuklarda M eğilme momenti ile χ birim dönmesi (eğrilik) arasındaki genel bağıntı elde edilecektir. Basitlik açısından, çubuğun iki simetri düzlemi olduğu ve eğilme momentinin bu düzlemlerden birinde etki ettiği varsayılacaktır.

M eğilme momenti etkisindeki kesitte, eğilme momentinin artan değerleri için oluşan şekildeğiştirme durumları ve bunlara karşı gelen normal gerilme yayılışları Şekil 2.13'te görülmektedir.

Eğilme momentinin küçük değerleri için kenar liflerdeki maksimum birim boy değişmesi

$$\epsilon \leq \epsilon_e$$

olduğundan gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı doğrusal-elastiktir. Bu nedenle kesitteki gerilme yayılımı doğrusaldır ve eğilme momenti ile eğrilik arasında

$$M = EI\chi \quad (2.11)$$

Bağıntısı bulunmaktadır, Şekil 2.13a. Bu bağıntı, eğilme momentinin artarak

$$M_e = \sigma_e W_e \quad (W_e: \text{kesitin elastik mukavemet momenti}) \quad (2.12)$$

sınır değerine erişmesi halinde sona erer, Şekil 2.13b. Burada M_e kesitin doğrusal-elastik olarak taşıyabileceği en büyük eğilme momentini göstermektedir ve *elastik moment* adını alır.

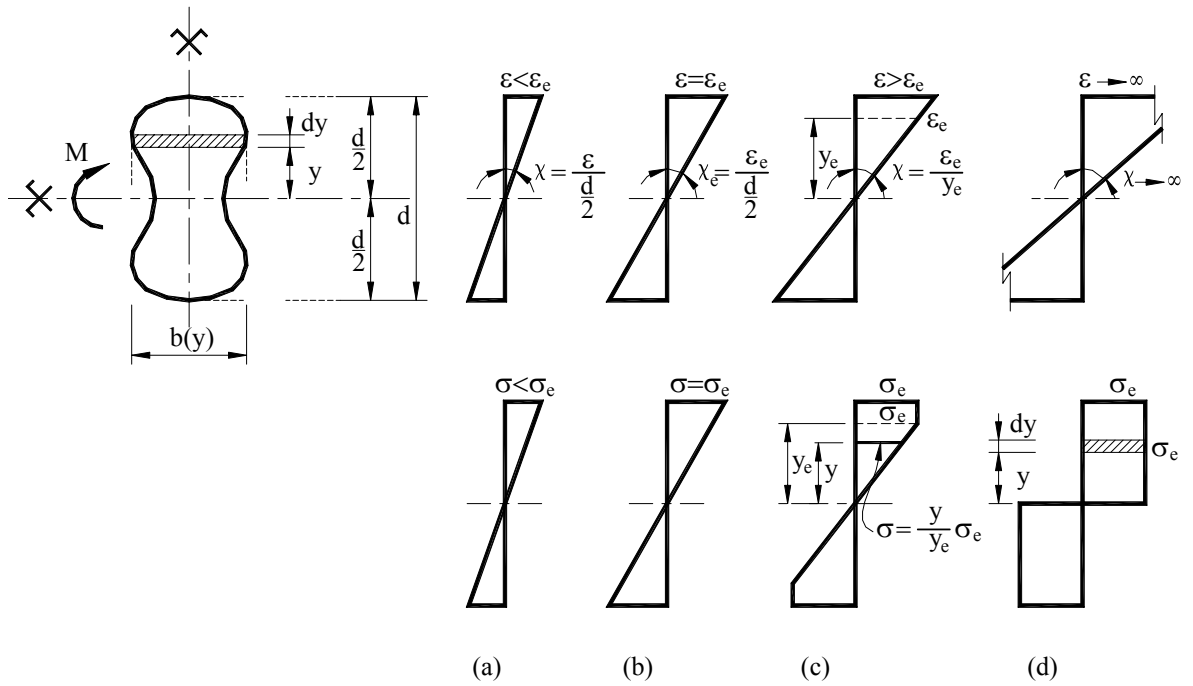
Eğilme momentinin daha büyük değerleri için, birim boy değişmesinin de artarak

$$\varepsilon > \varepsilon_e$$

olduğu kenar liflerde doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmeler oluşur, Şekil 2.13c. Bu durum için, eğilme momenti ile eğrilik arasında

$$M = 2\sigma_e \int_0^{y_e} \frac{y}{y_e} b(y) y dy + 2\sigma_e \int_{y_e}^{d/2} b(y) y dy = M(y_e) = M\left(\frac{\varepsilon_e}{\chi}\right) \quad (2.13)$$

bağıntısı yazılabilir.



Şekil 2.13: Artan Eğilme Momentinden Oluşan Şekildeğiştirme ve Gerilme Durumları

Eğilme momenti daha da artarak

$$M_p = 2\sigma_e \int_0^{d/2} b(y)y.dy \quad (2.14)$$

sınır değerine erişince şekildeğiş-tirmeler sonsuza gider ve kesitin taşıma gücü sona erer, Şekil 2.13d. Burada M_p , kesitin taşıyabileceği en büyük eğilme momentidir ve *plastik moment* adını alır.

M_p plastik momenti

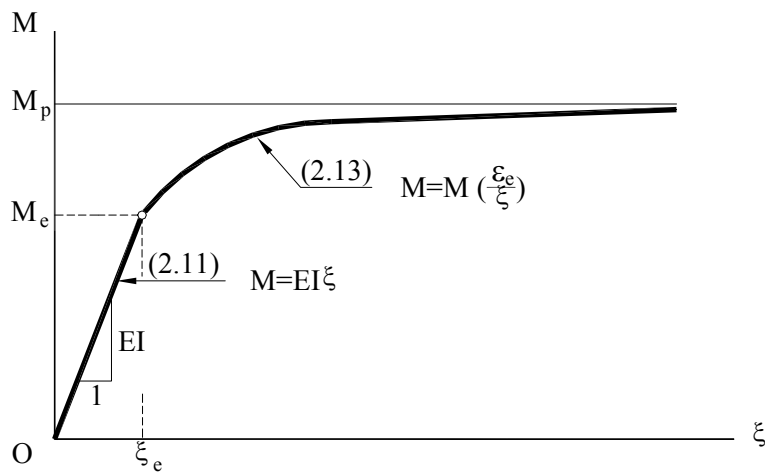
$$W_p = 2 \int_0^{d/2} b(y)y.dy \quad (2.15)$$

kesitin plastik mukavemet momentini göstermek üzere

$$M_p = \sigma_e W_p \quad (2.16)$$

şeklinde ifade edilir.

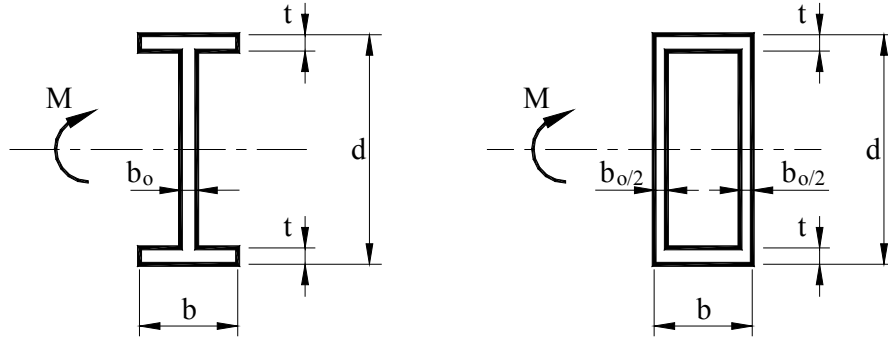
(2.11) ve (2.13) bağıntıları ile tanımlanan eğilme momenti-eğrilik ($M-\chi$) diyagramı Şekil 2.14'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.14: Eğilme Momenti-Eğrilik ($M-\chi$) Diyagramı

a1) I kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitler (Şekil 2.15)

Kuvvetli eksenini doğrultusunda etkiyen eğilme momenti ile zorlanan **I** kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde elastik ve plastik momentler, enkesit geometrisine bağlı olarak



Şekil 2.15: I Kesiti ve Dikdörtgen Kutu Kesit

$$M_e = \sigma_e W_e \quad W_e = \frac{1}{6} \left[b d^3 - \frac{(b - b_0)(d - 2t)^3}{d} \right] \quad (2.17)$$

$$M_p = \sigma_e W_p \quad W_p = \frac{1}{4} \left[b d^2 - (b - b_0)(d - 2t)^2 \right] \quad (2.18)$$

şeklinde hesaplanırlar.

Kesitin plastik ve elastik mukavemet momentlerinin oranını veren

$$f = \frac{W_p}{W_e} \quad (2.19)$$

şekil katsayısı, çelik yapılarda kullanılan

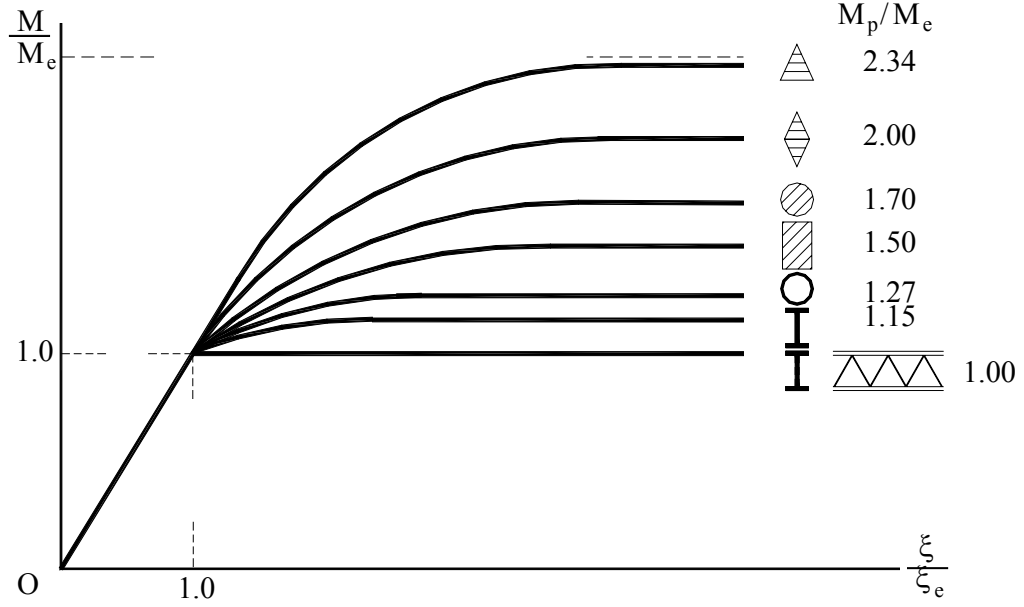
NPI profillerinde: $f \approx 1.16 - 1.18$

IPE profillerinde: $f \approx 1.13 - 1.14$

değerleri arasında değişmektedir.

a2) Diğer kesitler

Uygulamada kullanılmakta olan bazı kesit şekilleri için elde edilen $M-\chi$ diyagramları Şekil 2.16’da boyutsuz olarak verilmişlerdir.



Şekil 2.16: Çeşitli Kesitlerde $M-\chi$ Diyagramları

b) Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki çubuklar

Eğilme momenti ve normal kuvvet (bileşik eğilme) ile zorlanan çeşitli enkesit şekilleri için elde edilen

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N) \quad (2.1b)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N) \quad (2.2b)$$

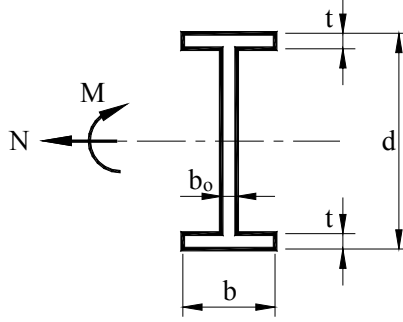
bünye denklemleri ve

$$K_1(M, N) = 0 \quad (2.4a)$$

akma koşulları Kaynak [19] da ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

b1) I kesitleri

Kuvvetli eksen etrafında eğilen I kesitlerinde (Şekil 2.17), bileşik eğilme hali için elde edilen kesin akma koşulunun yanında, uygulamada genellikle yaklaşık akma koşulundan yararlanılmaktadır.



Şekil 2.17: Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen I Kesiti

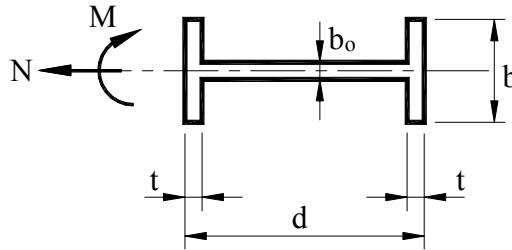
Yaklaşık akma koşulu

$$\frac{N}{N_p} \leq 0.15 \quad \text{için} \quad \frac{M}{M_p} - 1 = 0 \quad (2.20)$$

$$\frac{N}{N_p} > 0.15 \quad \text{için} \quad \frac{M}{M_p} + 1.18 \frac{N}{N_p} - 1.18 = 0 \quad (2.20a)$$

bağıntıları ile verilmiştir.

Zayıf eksen etrafında eğilen I kesitlerindeki (Şekil 2.18) yaklaşık akma bağıntıları ise



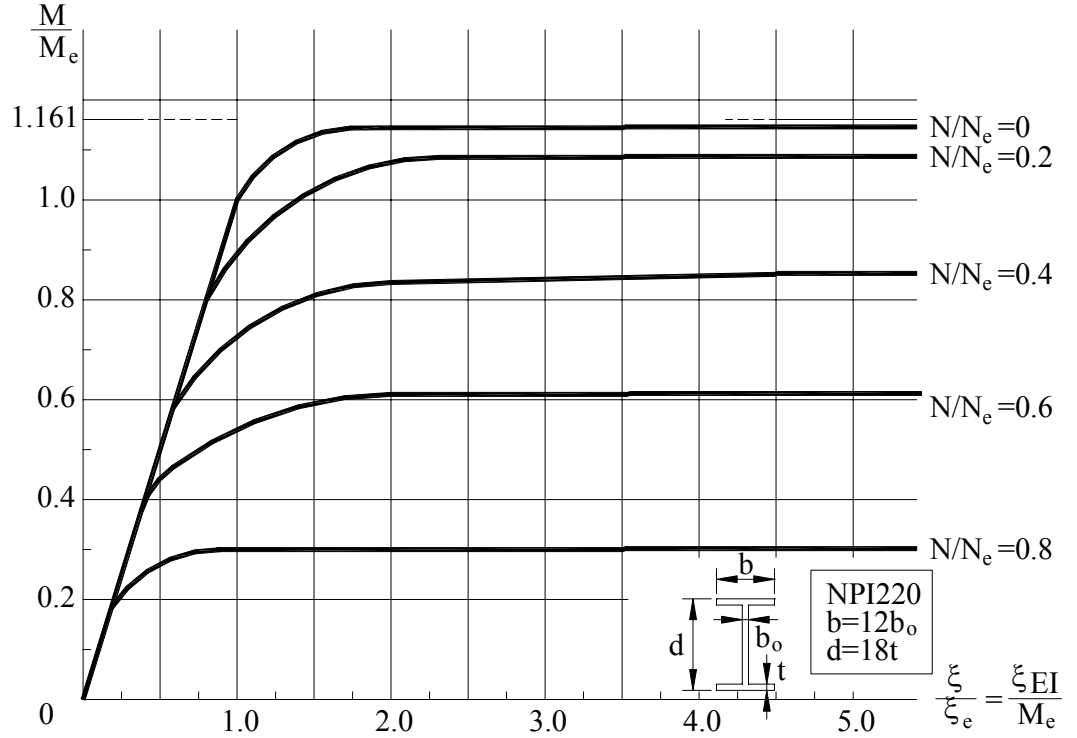
Şekil 2.18: Zayıf Eksen Etrafında Eğilen I Kesiti

$$\frac{N}{N_p} \leq 0.40 \quad \text{için} \quad \frac{M}{M_p} - 1 = 0 \quad (2.21)$$

$$\frac{N}{N_p} > 0.40 \quad \text{için} \quad \frac{M}{M_p} + 1.19 \left(\frac{N}{N_p} \right)^2 - 1.19 = 0 \quad (2.21a)$$

şeklindedir.

Kuvvetli eksen etrafında eğilen **I** kesitlerine ait $\chi = F_1(M, N)$ bünye bağıntıları Şekil 2.19’da, kesin ve yaklaşık akma eğrileri ise Şekil 2.20’de verilmişlerdir.



Şekil 2.19: Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen **I** Kesitlerinde $\chi = F_1(M, N)$ Bünye Bağıntıları

G noktasının akma eğrisi üzerinde bulunması halinde kesitin taşıma kapasitesi sona erer ve iç kuvvetler doğrultularında sonsuz plastik şekildeğiştirmeler meydana gelebilir. Değişen dış etkiler altında, kesitteki iç kuvvet durumunu ifade eden G noktası akma eğrisi üzerinde hareket eder veya bu eğrinin içine doğru yönelir; fakat akma eğrisinin dışına çıkamaz.

Kesitteki plastik şekildeğiştirmeler $\vec{d}(\chi, \varepsilon)$ plastik şekildeğiştirme (akma) vektörü ile tanımlanır.

İdeal elastoplastik malzemeden yapılmış kesitlerde, akma vektörü akma yüzeyine diktir, [8]. Diklik özelliği nedeniyle, akma vektörünün χ ve ε bileşenleri

$$\chi = \mu \frac{\partial K_1}{\partial M} \quad (2.22)$$

$$\varepsilon = \mu \frac{\partial K_1}{\partial N} \quad (2.23)$$

şeklinde, $K_1(M, N)$ fonksiyonuna bağlı olarak ifade edilebilirler. Burada μ , $\vec{d}$ akma vektörünün şiddetini belirleyen bir katsayıyı göstermektedir. Akma eğrisinin dış normalinin süreksizlik gösterdiği köşe noktalarında, akma vektörü iki dış normalin arasında herhangi bir doğrultuda olabilir.

2.3 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemlerin Hesabı

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

2.3.1 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sürekli olması hali

Malzeme bakımından doğrusal olmayan yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde sürekli olarak yayıldığına gözönüne alınması halinde, yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntılarının (kapasite eğrilerinin) belirlenmesi ve göçme yüklerinin hesabı için, ardışık yaklaşım yöntemlerinden veya yük artımı yöntemlerinden yararlanılabilir, [3, 5, 9].

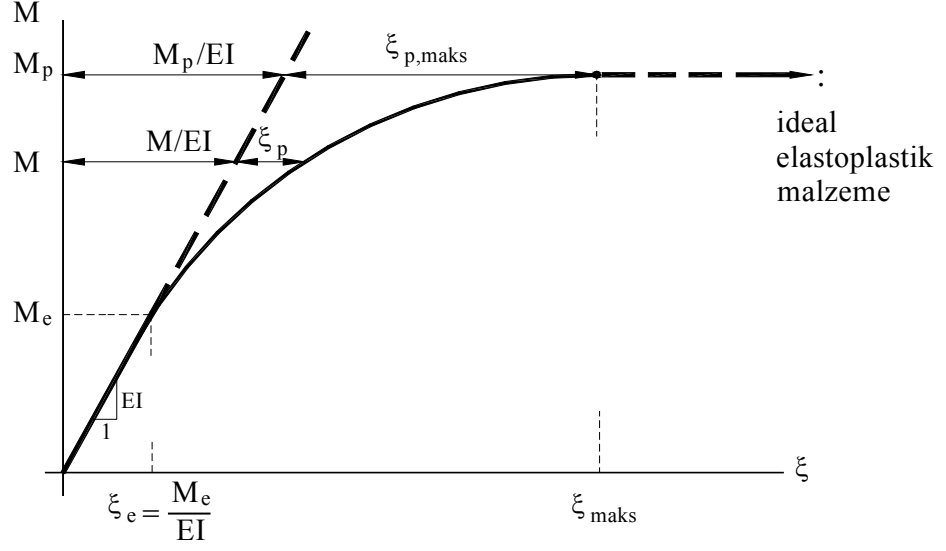
2.3.2 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığının varsayılması hali

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sünek yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsalsal (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, diğer bölgelerde sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayımı yapılabilir, [7, 8, 9].

2.3.2.1 Plastik mafsalsal hipotezi

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

Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren sistemlerde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsalsal hipotezi yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir. Gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 2.22’de verilen bir düzlem çubuk elemanın bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekildeğiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler Şekil 2.23’te gösterilmiştir.

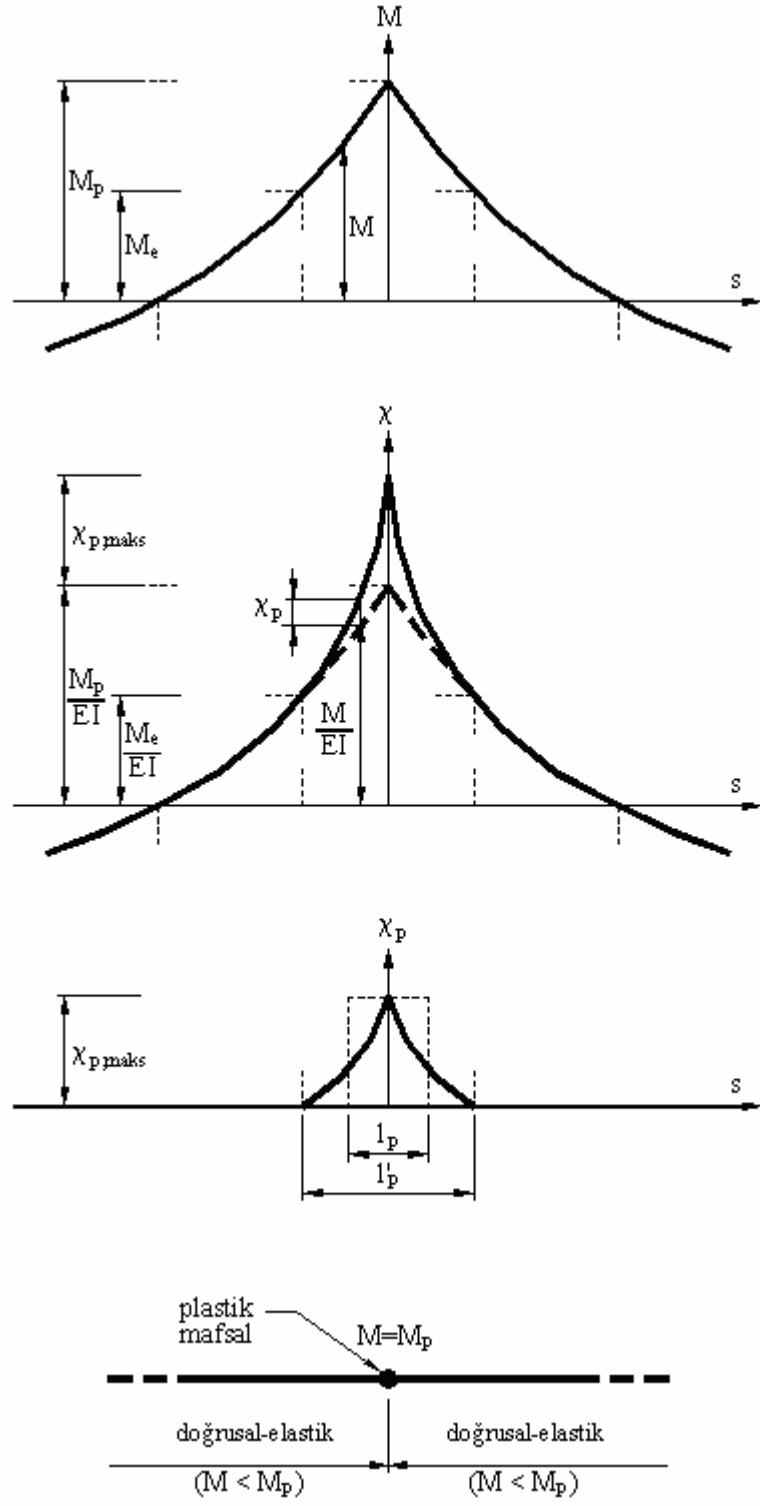


Şekil 2.22: Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı

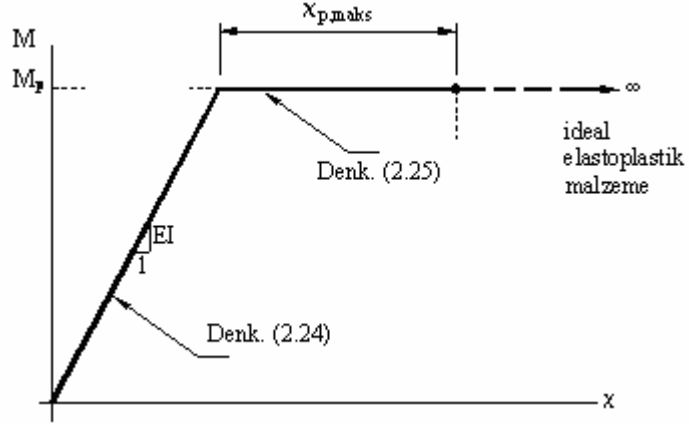
Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısının iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir, Şekil 2.24. Bu idealleştirme, Denklem (2.24) ve (2.25)'te verilen bağıntılarla temsil edilmektedir.

$$M < M_p \text{ için } \chi = \frac{M}{EI} \quad (2.24)$$

$$M = M_p \text{ için } \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \quad (2.25)$$



Şekil 2.23: Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmeler

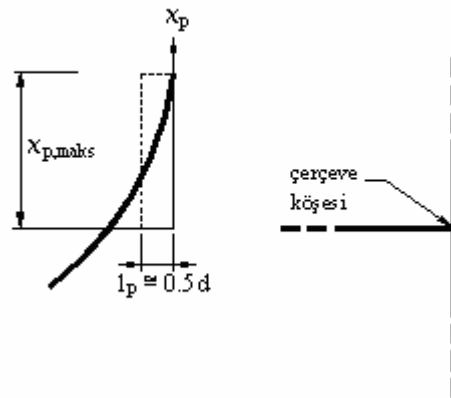


Şekil 2.24: İdealleştirilmiş Bünye Bağantısı

Şekil 2.25'te görüldüğü gibi, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler çubuk üzerindeki l_p uzunluğundaki bir bölgede yoğunlaşmakta ve en büyük eğrilik $\chi_{p,maks}$ değerine eşit olmaktadır. Bu hipotezde doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmelerin çubuk elemanı üzerinde l_p' uzunluğunda bir bölgede sürekli olarak düzgün yayıldığı varsayılmaktadır. Buna göre plastikleşen bölgedeki toplam plastik dönme

$$\varphi_p = \int_{l_p'} \chi_p ds \quad (2.26)$$

şeklinde hesaplanabilir ve plastik mafsallık dönmesi olarak isimlendirilir.



Şekil 2.25: Plastik Mafsallık Boyu

Artan dış yükler altında, plastik mafsallın dönmesi artarak *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere ulaşınca, meydana gelen büyük plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsall dönmelelerinin kendilerine ait dönme kapasitelerine ulaşması halinde ise, yapı sisteminin kullanım dışı kaldığı varsayılır.

Plastik mafsallın dönme kapasitesi

$$maks\phi_p = \int_{l_p'} \chi_p ds \quad (\chi \rightarrow \chi_{p,maks}) \quad (2.27)$$

şeklinde, eğilme momenti diyagramının şekline ve $(M-\chi)$ bağıntısına bağılı olarak belirlenir.

Plastik mafsallın dönme kapasitesi, yaklaşık olarak

$$maks\phi_p = l_p \chi_{p,maks} \quad (2.28)$$

$$l_p \cong 0.5d \quad (2.29)$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada

d : enkesit yüksekliğı

l_p : plastik mafsall boyu olarak tanımlanmaktadır, Şekil 2.25.

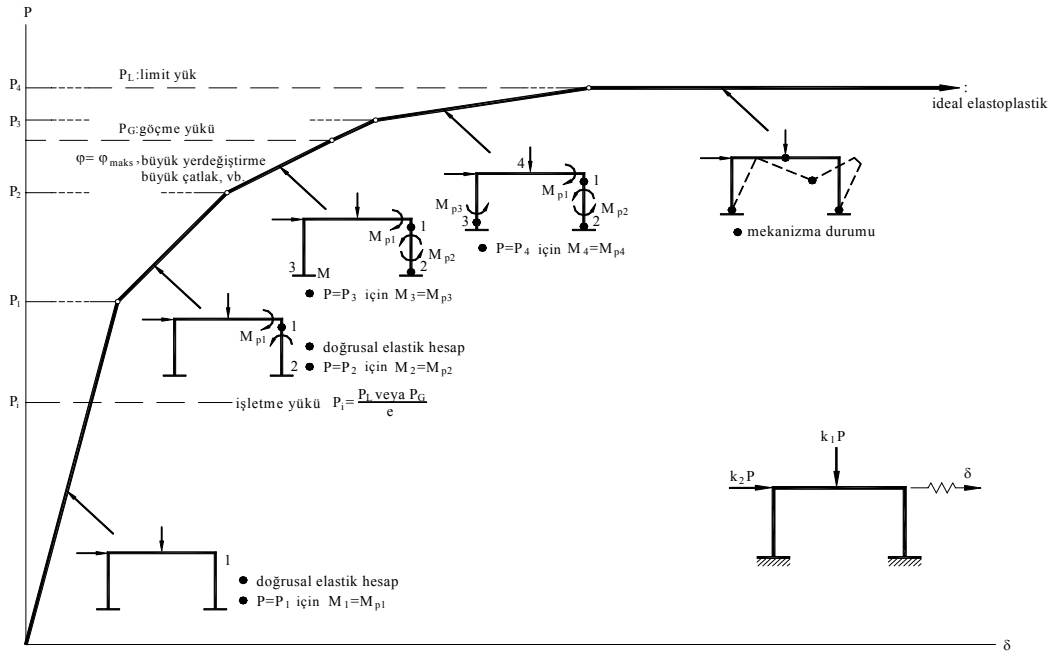
Yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan plastik mafsall hipotezinin esasları aşağıda özetlenmiştir.

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. Plastik mafsalldaki ϕ_p plastik dönmesi artarak dönme kapasitesine ($maks\phi_p$) erişince kesit kullanılamaz duruma gelir.
2. Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal-elastik olarak davranır.

3. 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 ($\overline{M}_p$) değeri kullanılır.

2.3.2.2 Yük artımı yöntemi

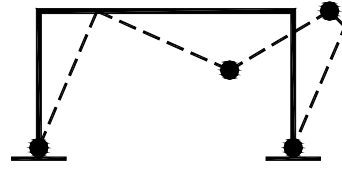
Plastik mafsallı hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin, I. mertebe teorisine göre, artan dış yükler altındaki davranışı Şekil 2.26'da şematik olarak gösterilmiştir.



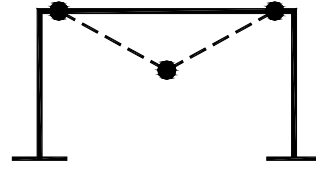
Şekil 2.26: Plastik Mafsallı Hipotezinin Geçerli Olduğu Bir Yapı Sisteminin Artan Yükler Altındaki Davranışı (Birinci Mertebe Elastoplastik Teori)

Artan yükler altında, her plastik mafsallın oluşumundan sonra, o noktaya bir adi mafsallı koymak ve M_p plastik momentini dış yük olarak etkitmek suretiyle elde edilen sistem doğrusal-elastik teoriye göre hesaplanır.

Sistem belirli sayıda plastik mafsallın oluşumundan sonra, kısmen veya tamamen mekanizma durumuna ulaşır, diğer bir deyişle, stabilitesini yitirerek yük taşıyamaz hale gelir, Şekil 2.27. 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.



tümşel mekanizma



bölgesel mekanizma

Şekil 2.27: Tümşel ve Bölgesel Mekanizma Durumları

Bazı hallerde limit yükten önce, plastik mafsallardaki dönmelerin dönme kapasitesini aşması, büyük yerdeğiştirmelerin oluşması veya betonarme sistemlerde büyük çatlaklar meydana gelmesi nedeniyle sistem göçebilir. Bu duruma karşı gelen P_G yük parametresi *göçme yükü* olarak tanımlanır.

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

$$P_i = \frac{P_G \text{ veya } P_L}{e} \quad (e: \text{güvenlik katsayısı}) \quad (2.30)$$

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

Bir yapı sisteminin artan dış yükler altındaki hesabı iki şekilde yapılabilir.

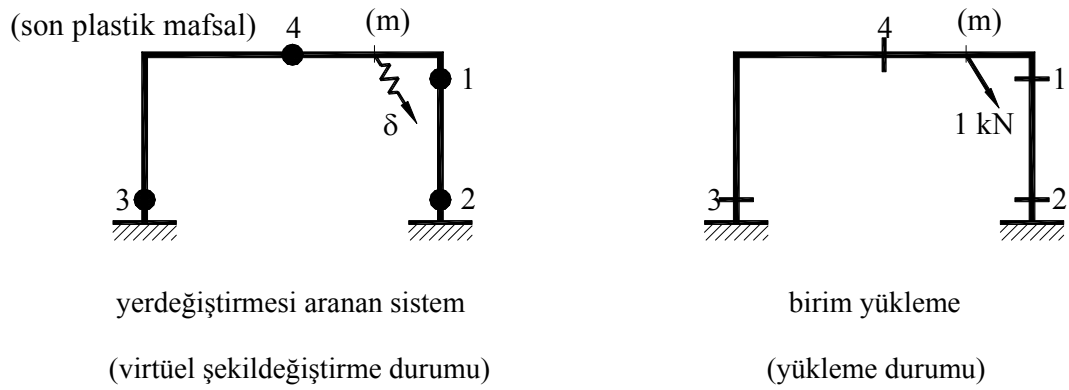
- 1- Sistem, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan düşey ve yatay yükler altında hesaplanarak bu yükler için ortak bir göçme güvenliği belirlenir.
- 2- Düşey yükler, bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etkitildikten sonra, artan yatay yükler için hesap yapılır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

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

Plastik mafsallarda eğilme momentinin yanında normal kuvvetin de bulunması halinde, akma koşulunu sağlayacak şekilde belirlenen indirgenmiş eğilme momenti ($\overline{M}_p$) 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 [7, 8, 9]'da verilmiştir

Yerdeğiştirmelerin ve plastik mafsal dönmelerinin hesabı

Üzerinde plastik mafsallar bulunan bir sistemde, limit yüke karşı gelen son plastik mafsalın olduğu fakat dönmenin başlamadığı andaki yerdeğiştirmeler virtüel iş teoremi ile hesaplanabilir, Şekil 2.28.



Şekil 2.28: Yerdeğiştirmelerin Hesabı

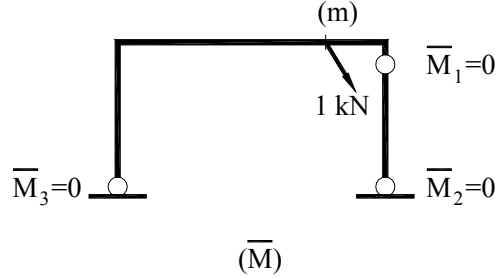
Kesit Zorları : M, N, T

Plastik Mafsal Dönmeleri : $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4 = 0$

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

$$\sum 1.\delta = \int \bar{M} \frac{M}{EI} ds + \int \bar{N} \frac{N}{EF} ds + \int \bar{T} \frac{T}{GF'} + \sum M_i \varphi_i \quad (2.31)$$

elde edilir. Kısaltma teoremi uyarınca, son plastik mafsallın dışındaki plastik mafsalların bulunduğu noktalara adi mafsallar konularak elde edilen sisteme birim yükleme yapılırsa, (Şekil 2.29)



Şekil 2.29: Birim Yüklemede Kısaltma Teoreminin Uygulanması

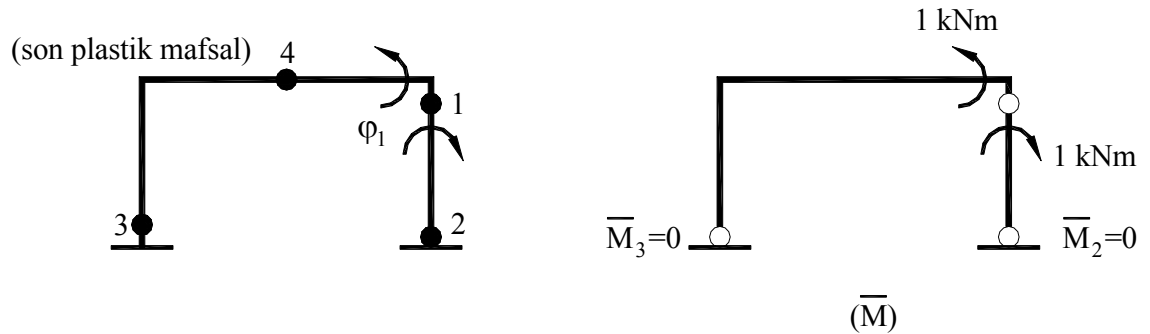
$$M_1 \varphi_1 = \bar{M}_2 \varphi_2 = \bar{M}_3 \varphi_3 = \dots = 0 \quad (2.32)$$

olacağından, δ yerdeğiştirmesi

$$\delta = \int (\bar{M}) \frac{M}{EI} ds + \int (\bar{N}) \frac{N}{EF} ds + \int (\bar{T}) \frac{T}{GF'} ds \quad (2.33)$$

şeklinde, plastik mafsalların dönmelerinden bağımsız olarak hesaplanabilir.

Plastik mafsalların dönmeleri de benzer şekilde hesaplanabilir. Bunun için, plastik mafsallara birim moment çifti uygulanır, Şekil 2.30.



Şekil 2.30: Plastik Mafsalların Dönmelerinin Bulunması

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

2.3.2.3 Limit yükün doğrudan doğruya hesabı

Büyük yerdeğiştirmelere ve plastik şekildeğiştirmelere izin verilen süneklik düzeyi yüksek sistemler (örneğin yumuşak çelikten yapılan sistemler ile beton basınç bölgesi derinliği $a/d \leq 0.25$ koşulunu sağlayan betonarme sistemler), kendilerine etkiyen dış yükleri limit yüke kadar göçmeden taşıyabilirler; yani bu sistemlerde $P_G = P_L$ olur. Bu nedenle, söz konusu sistemlerin dayanıma bağlı olarak boyutlandırılmaları doğrudan doğruya limit yük esas alınarak yapılabilir, [20, 21].

2.4 Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemlerin Hesabı

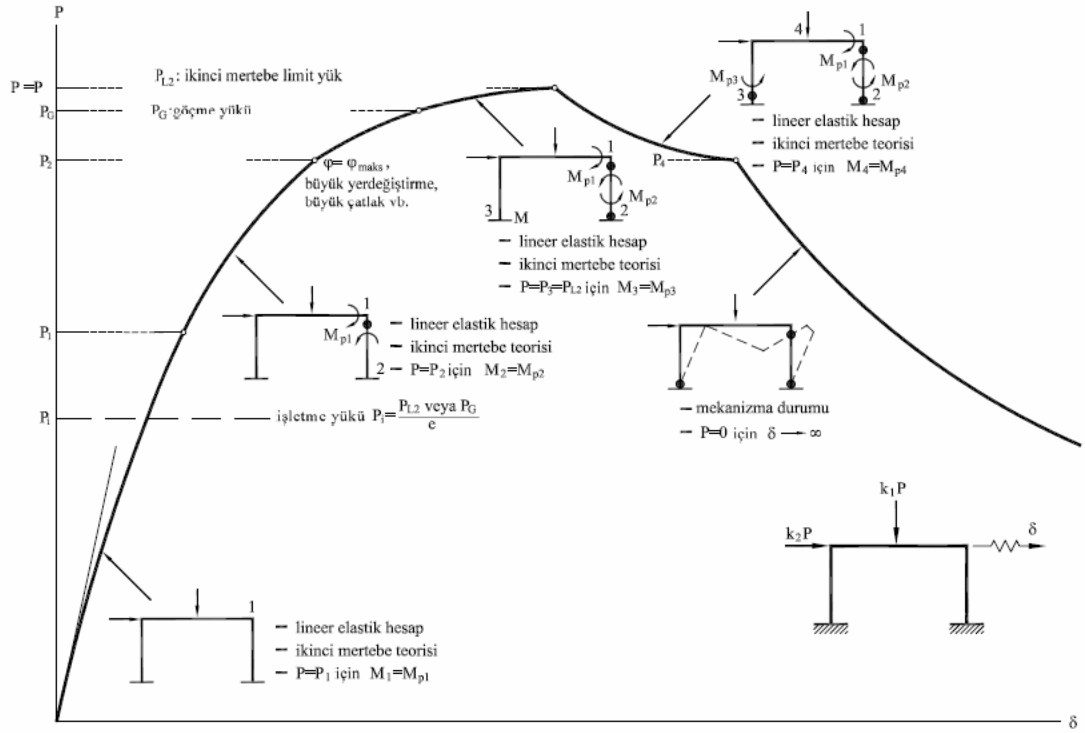
Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığının varsayıldığı sistemlerin her iki bakımdan doğrusal olmayan teoriye göre hesabında, plastik mafsallı (plastik kesit) hipotezine dayanan yük artımı yönteminden yararlanılabilmektedir.

2.4.1 Yük artımı yöntemi

Malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan ve plastik mafsallı hipotezinin geçerli olduğu varsayılan bir yapı sisteminin artan dış yükler altındaki davranışı Şekil 2.31 üzerinde açıklanmıştır.

Artan dış yükler altında, her plastik mafsallı oluşumundan sonra, o noktaya bir adi mafsallı koymak ve M_p plastik momentini dış yük olarak etkitmek suretiyle elde edilen doğrusal-elastik sistem ikinci mertebe teorisine göre hesaplanmaktadır. Sistemin ikinci mertebe teorisine göre hesabı için Kuvvet veya Yerdeğiştirme yöntemlerinden herhangi biri uygulanabilir.

İkinci mertebe etkileri nedeniyle, ardışık iki plastik mafsallı oluşumu arasında sistemin davranışı doğrusal değildir. Bu nedenle, her plastik mafsallı meydana geldiği yük parametresinin bulunması için araştırma yapılması gerekebilir.

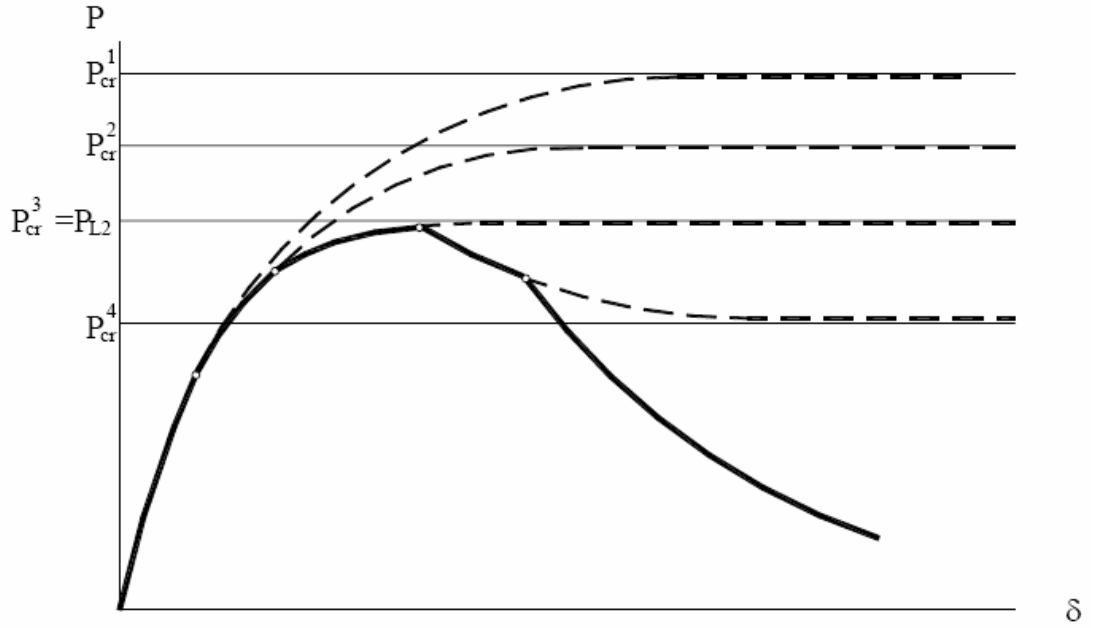


Şekil 2.31: Plastik Mafsal Hipotezinin Geçerli Olduğu Bir Yapı Sisteminin Artan Yükler Altındaki Davranışı (İkinci Mertebe Elastoplastik Teori)

Sistemde belirli sayıda plastik mafsal meydana geldikten sonra, bu plastik mafsalların oluşumu ile rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, diğer bir deyişle, $P-\delta$ diyagramında artan yerdeğiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelir, Şekil 2.32. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirdiği bu durum burkulma, burkulmaya neden olan P_{L2} yük parametresi ise *ikinci mertebe limit yük* olarak tanımlanır.

Burkulma konumundan sonra sistemin davranışı izlenmeye devam edilirse, oluşan yeni plastik mafsallar nedeniyle, sistemin bir bölümü veya tümü mekanizma durumuna gelir. Bu durumdan sonra, yerdeğiştirmeler sonsuza giderken yük parametresi de azalarak sıfıra iner.

Bazı hallerde, ikinci mertebe limit yükten önce, plastik mafsallardaki dönmelerin kendilerine ait dönme kapasitelerini aşması veya sistemde büyük yerdeğiştirmeler oluşması nedeniyle sistem göçebilir. Bu durumda, göçme yükü ikinci mertebe yükün altına düşer; yani $P_G < P_{L2}$ olur.



Şekil 2.32: Burkulma Yükünün Plastik Mafsalların Oluşumuna Bağlı Olarak Değişimi

İkinci mertebe limit yük (veya göçme yükü) bulunduktan sonra, yapının yeter güvende taşıyabileceği yük, yani işletme yükü

$$P_i = \frac{P_G \text{ veya } P_{L2}}{e} \quad (e: \text{güvenlik katsayısı}) \quad (2.34)$$

şeklinde hesaplanır. Ayrıca işletme yükleri altında doğrusal – elastik sınırın pek aşılmaması, sistemde zararlı yerdeğiştirmelerin ve çatlakların oluşmaması istenir.

Plastik mafsala M eğilme momenti yanında N normal kuvvetinin de etkimesi halinde, bu iç kuvvete bağlı olarak ifade edilen akma koşulunu (karşılıklı etki diyagramını) sağlayacak şekilde belirlenen indirgenmiş eğilme momenti ($\overline{M}_p$) esas alınarak hesap yapılması gerekmektedir. Plastik mafsaldaki N normal kuvveti başlangıçta bilinmediğinden ve artan dış yükler altında sürekli olarak değiştiğinden, her yük artımında bir ardışık yaklaşım yolu uygulanması gerekebilir. [9]

3 PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

3.1 Giriş

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme, günümüz inşaat mühendisliğinin en yeni kavramları arasındadır. Bu kapsamda, özellikle yerdeğiştirmeye ve şekildeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, ilk olarak 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. 1999 Marmara ve Düzce depremлерinin ardından yürütölen çalışmalar sonucunda, 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde de performansa dayalı değerlendirme ilkesine yer verilmiştir.

Aşağıdaki bölümlerde, orta yükseklikteki mevcut binaların deprem performans ve güvenliklerinin değerlendirmesine yönelik olarak 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde [18] öngörölen genel esaslar ve yaklaşımlar ile FEMA 356 [14] Östandardı'nda yer alan, çelik yapı sistemlerinin performans değerlendirme kriterleri hakkında bilgi verilecektir.

3.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan ve dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşarı ve doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanlarının 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.

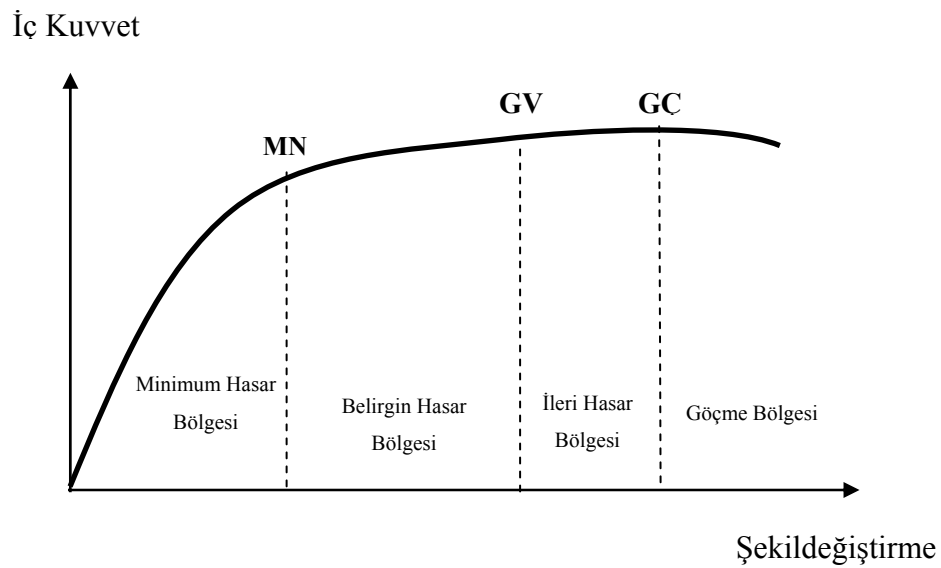
Her iki yaklaşımda da, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır. Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları “sünek” ve “gevrek” olarak iki sınıfa ayrılırlar. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaşıtlıkları ile ilgilidir.

3.2.1 Kesit hasar sınırları

2006 Türk Deprem Yönetmeliğinde, 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 kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranış, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışını tanımlamaktadır.

3.2.2 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitleri MN sınırına ulaşmayan elemanlar *minimum hasar bölgesinde* (MHB), MN ve GV sınırları arasında kalan elemanlar *belirgin hasar bölgesinde* (BHB), GV ve GÇ sınırları arasında kalan elemanlar *ileri hasar bölgesinde* (İHB), GÇ sınırını aşan elemanlar ise *göçme bölgesinde* (GB) kabul edilirler, Şekil 3.1.



Şekil 3.1: İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Eğrisinde Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri

3.3 Bina Deprem Performans Seviyeleri

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarın durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Deprem geçirmiş binaların deprem sonrası hasar durumlarının belirlenmesi için de benzer tanımlar kullanılabilir. Aşağıdaki bölümlerde, 2006 Türk Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan performans seviyeleri ve bu performans seviyelerine karşı gelen eleman hasarları açıklanmaktadır, [9].

3.3.1 Hemen kullanım durumu

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir ve elemanlar rijitlik ve dayanım özelliklerini korumaktadırlar. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmamıştır. Az sayıda elemanda akma sınırı aşılmış olabilir. Yapısal olmayan elemanlarda 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 bölgesine geçiyor, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü minimum hasar bölgesinde kalıyorsa bina *Hemen Kullanım Durumu*'nda kabul edilir. Güçlendirilmesine gerek yoktur.

3.3.2 Can güvenliği durumu

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

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla % 20'si ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkısı % 20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesindedir. Bu durumda bina *Can Güvenliği Durumu*'nda kabul edilir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme

kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla % 40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki konumuna göre karar verilir.

3.3.3 Göçmenin önlenmesi durumu

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli bir kısmında hasar görülür. Bu elemanlardan bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü yitirmişlerdir. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınmasında yeterlidir; ancak bazıları eksenel kuvvet kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar genellikle 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 ve kolonların bir kısmı göçme bölgesine geçebilir. Ancak göçme bölgesindeki kolonların, tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı % 20'nin altında olmalıdır ve bu elemanların durumu yapının kararlılığını bozmamalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi veya ileri hasar bölgesindedir. Bu durumda bina *Göçmenin Önlenmesi Durumu*'nda kabul edilir. En üst katta göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla % 40 olabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve bina güçlendirilmelidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

3.3.4 Göçme durumu

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

Binanın, güçlendirme uygulanmadan, mevcut durumu ile kullanılması can güvenliği bakımından sakıncalıdır. Bunun yanında, göçme durumuna gelen binalarda, güçlendirme de çok kere ekonomik olmayabilir.

3.4 Deprem Hareketi

2006 Türk Deprem Yönetmeliğinde, 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. Dönüş periyodu 72 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır.

2- *Tasarım depremi*: 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Dönüş periyodu 475 yıldır. Bu deprem 1998 ve 2006 Türk Deprem Yönetmelikleri'nde esas alınmaktadır.

3- *En büyük deprem*: 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan yer hareketidir. Dönüş periyodu 2475 yıldır. 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, *performans hedefi* olarak tanımlanır. Bir bina için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna *çok seviyeli performans hedefi* denir.

2006 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre, mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde esas alınacak çok seviyeli performans hedefleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Binalar İçin Öngörülen Performans Seviyeleri

<i>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</i>	<i>Deprem Aşılma Olasılığı</i>		
	<i>50 yılda % 50</i>	<i>50 yılda % 10</i>	<i>50 yılda % 2</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	-	CG	GÖ
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

3.6 Depremde Bina Performansının Belirlenmesi

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi istem (talep) ve kapasitedir. İstem yapıya etkiyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir.

Bina performansı, yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin bir birleşimi olarak tayin edilir. Doğrusal-elastik sınırın ötesindeki kapasitenin belirlenmesi istendiğinde, genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre sistem hesabı yapılması gerekmektedir.

Mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesi için uygulanan yöntemler *doğrusal elastik* hesap yöntemleri ve *doğrusal elastik olmayan* hesap yöntemleridir.

3.6.1 Doğrusal elastik hesap yöntemleri

3.6.1.1 Yöntemin esasları

Doğrusal elastik yöntemlerde bir yapı sisteminin kapasitesi, yapıyı oluşturan elemanların taşıma kapasitelerine ve süneklilik özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Buna karşılık, deprem istemi için, elastik deprem etkileri altında doğrusal teoriye göre hesap yapılır. Doğrusal elastik hesap yöntemlerinin başlıcaları *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ve *Mod Birleştirme Yöntemi*'dir.

3.6.1.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Bodrum kat üzerindeki toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Bu yöntemde, toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) hesabında, deprem yükü azaltma katsayısı $R_a=1$ olarak alınır ve bu deprem yükleri λ katsayısı ile çarpılır. λ katsayısı, bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 değerini almaktadır.

3.6.1.3 Mod birleştirme yöntemi

Bu yöntemin kullanılmasında da $R_a=1$ alınır, diğer bir deyişle, elastik deprem spektrumları azaltılmadan aynen kullanılır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu olan eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesaplanmasında, bu doğrultuda hakim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınır.

3.6.1.4 Yapı elemanındaki hasar sınırlarının sayısal değerlerinin belirlenmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile çelik yapı elemanlarının hasar sınırlarının tanımı, *etki/kapasite oranları* (r) cinsinden ifade edilen sayısal değerler kullanılmaktadır.

Kiriş kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranları, sadece deprem etkisi altında ve $R_a=1$ için hesaplanan kesit eğilme momentinin, kesit artık eğilme momenti kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesit artık eğilme momenti kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan eğilme momentinin farkıdır. Eğilme etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan depremin yönü dikkate alınır.

Kolon kesitlerinin etki/kapasite oranları, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit eğilme momentinin, normal kuvvet etkisi de gözönüne alınarak hesaplanan kesit artık eğilme momenti kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesit artık eğilme momenti kapasitesi, kesitin N normal kuvveti dikkate alınarak hesaplanan eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan eğilme momentinin farkıdır. Etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan depremin yönü dikkate alınır.

Kiriş ve kolon kesitlerinin hesaplanan etki/kapasite oranlarının ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle yapı elemanlarının kesit hasar bölgeleri belirlenir ve

bunlardan yararlanarak, Bölüm 3.3'te açıklandığı şekilde, bina düzeyinde performans değerlendirmesi yapılır.

3.6.1.5 Çelik yapı elemanlarının etki/kapasite oranlarının sınır değerleri

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile sünek elemanların hasar sınırlarının belirlenmesinde, kiriş ve kolonların etki/kapasite oranları (r) kullanılır. Etki/kapasite oranlarının sınır değerleri Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'te kirişler ve kolonlar için ayrı ayrı verilmiştir, [14]. Tablolarda, doğrudan deprem yükleri etkisinde olan, diğer bir deyişle, yatay yük taşıyıcı sistemin bir elemanı olan kirişler ve kolonlar *birincil elemanlar*, diğer kirişler ve kolonlar ise *ikincil elemanlar* olarak tanımlanmaktadır. Tabloların kullanılmasında, F_{ye} çelik akma gerilmesidir ve N/mm^2 boyutunda alınacaktır.

Tablo 3.2: Çelik Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r)

Doğrusal Değerlendirme İçin Modelleme Parametreleri ve Kabul Kriterleri					
Elemanlar	r (etki/kapasite oranları)				
	HK	Birincil Elemanlar		İkincil Elemanlar	
		CG	GÖ	CG	GÖ
Kiriş - Eğilme					
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{135}{\sqrt{F_{ye}}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{1100}{\sqrt{F_{ye}}}$	2	6	8	10	12
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{F_{ye}}}$ veya $\frac{h}{t_w} \leq \frac{1700}{\sqrt{F_{ye}}}$	1,25	2	3	3	4
Diğer	Hem gövde hem de başlık narınlığı için yukarıdaki iki satır arasında lineer interpolasyon yapılarak (r) sınır değerleri hesaplanmalı ve bunlardan küçük olan değer kullanılmalıdır				

Tablo 3.3: Çelik Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r)

Doğrusal Değerlendirme İçin Modelleme Parametreleri ve Kabul Kriterleri					
Elemanlar	r (etki/kapasite oranları)				
	HK	Birincil Elemanlar		İkincil Elemanlar	
		CG	GÖ	CG	GÖ
Kolon - Eğilme					
$N/N_p < 0.20$ için					
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{135}{\sqrt{F_{ye}}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{800}{\sqrt{F_{ye}}}$	2	6	8	10	12
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{F_{ye}}}$ veya $\frac{h}{t_w} \leq \frac{1200}{\sqrt{F_{ye}}}$	1,25	1,25	2	2	3
Diğer	Hem gövde hem de başlık narinliği için yukarıdaki iki satır arasında lineer interpolasyon yapılarak (r) sınır değerleri hesaplanmalı ve bunlardan küçük olan değer kullanılmalıdır				
$0.20 \leq N/N_p \leq 0.50$ için					
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{135}{\sqrt{F_{ye}}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{680}{\sqrt{F_{ye}}}$	1,25	(a)	(b)	(c)	(d)
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{F_{ye}}}$ veya $\frac{h}{t_w} \leq \frac{1050}{\sqrt{F_{ye}}}$	1,25	1,25	1,5	2	2
Diğer	Hem gövde hem de başlık narinliği için yukarıdaki iki satır arasında lineer interpolasyon yapılarak (r) sınır değerleri hesaplanmalı ve bunlardan küçük olan değer kullanılmalıdır				

Tablo 3.3’te, normal kuvvetin $0.20 \leq N/N_p \leq 0.50$ olması haline karşı gelen (a), (b), (c), (d) bölgeleri için öngörülen (r) değerleri

(a) $r = 9(1-1.7N/N_p)$

(b) $r = 12(1-1.7N/N_p)$

(c) $r = 15(1-1.7N/N_p)$

(d) $r = 18(1-1.7N/N_p)$

şeklinde, kesitteki normal kuvvete bağlı olarak hesaplanmaktadır. Gevrek kolon kapsamına giren $N/N_p > 0.50$ durumunda ise, tüm hasar bölgeleri için

a) birincil elemanlarda: $r = 1.25$

b) ikincil elemanlarda : $r = 2.00$

olarak alınacaktır.

3.6.2 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

3.6.2.1 Yöntemin esasları

Deprem etkisi altında, mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, bu bölümde tanımlanan şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılır.

Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinin başlıcaları *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*, *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*’dir.

a) Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi

Bodrum kat üzerindeki toplam kat sayısı 8’i aşmayan ve ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için ayrıca, gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim)

titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması gerekmektedir.

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde, deprem istem limitine (performans noktasına) kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında, doğrusal olmayan (nonlinear) itme analizi yapılır. Analizde ardışık iki plastik mafsall oluşumu arasındaki her bir itme adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değerler ve son itme adımında ise deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

b) Artımsal mod birleştirme yöntemi

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

c) Zaman tanım alanında artımsal hesap yöntemi

Taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan (nonlinear) davranışı gözönüne alınarak, deprem etkisi altında, sistemin hareket denklemi artımsal olarak entegre edilir ve her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

3.6.2.2 Plastik davranışın idealleştirilmesi

Doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modelinin (plastik kesit kavramı) kullanılması öngörülmüştür. Basit eğilme durumunda plastik mafsall hipotezine karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş ve kolonlarda, iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Basit eğilme durumunda plastik mafsall boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu (l_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit olmaktadır.

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

Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden *plastik kesitin*, teorik olarak plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmeler yapılabilir.

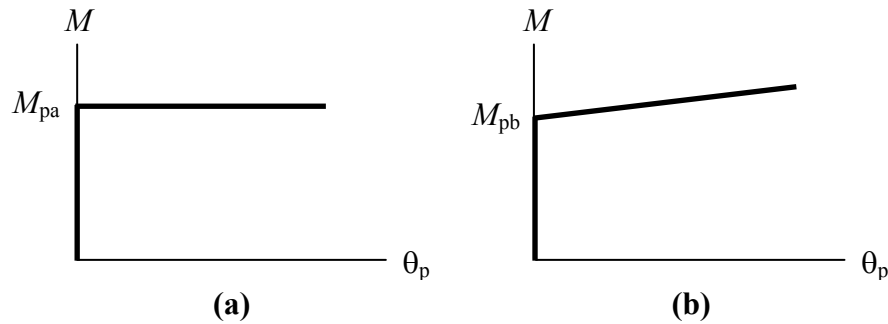
Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon – kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kirişlerin açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönüne alınmalıdır.

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

İtme analizi modelinde kullanılacak olan plastik kesitlerin iç kuvvet – plastik şekil değiştirme bağıntıları ile ilgili olarak aşağıdaki idealleştirmeler yapılabilir.

a) İç kuvvet – plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir, Şekil 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 şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu gözönüne alınır.

b) Pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumunda (Şekil 3.2b), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde, plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekil değiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanmalıdır.



Şekil 3.2: Eğilme Momenti-Plastik Dönme Bağıntıları

3.6.2.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

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

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

İtme analizinin hesap adımları Bölüm 4.2’de verilecektir.

3.6.3 Performans noktasının kabul kriterleri

Performans noktasının bulunmasının ardından, spektral ivme (a_{pi}) ve spektral yerdeğiştirme (d_{pi}) değerlerine karşı gelen V taban kesme kuvveti ve en üst katın yatay yerdeğiştirme değerleri (Δ_{cat}) elde edilir. Bu değerlerin bina için öngörülen performans seviyesini sağlayıp sağlamadığı, ilgili seviye için öngörülen sınırların kontrol edilmesi ile saptanır. Bu sınırların sağlanmaması durumunda, öngörülen performans seviyesinin değiştirilmesi veya taşıyıcı sistem elemanlarının dayanımlarının ve rijitliklerinin arttırılarak güçlendirilmeleri gerekir. Bu sınırlar iki ana grupta toplanmaktadır:

1. Bina için öngörülen kabul kriterleri
2. Elemanlar veya bileşenler için öngörülen kabul kriterleri

3.6.3.1 Bina için öngörülen kabul kriterleri

Bina için öngörülen kabul kriterleri veya tepki sınırları, binanın düşey yük taşıma kapasitesi gereksinimi, yatay yüklere karşı dayanımı ve yatay yerdeğiştirme ile ilgili sınırları içerir.

Düşey yük taşıma kapasitesi

Bina taşıyıcı sisteminin düşey yük taşıma kapasitesi, kabul edilen herhangi bir performans seviyesinde bozulmadan kalmalıdır. Binayı oluşturan bir eleman veya bileşenin düşey yük taşıma kapasitesini kaybettiği durumda, mevcut veya güçlendirilmiş yapıdaki diğer eleman veya bileşenlerin yeniden dağılan bu yükleri taşımaya elverişli olması gerekir.

Yatay yüklere karşı dayanım

Binanın performans noktasındaki toplam yatay yük taşıma kapasitesinin, ilerleyen yükleme adımlarında oluşan plastik mafsallarla beraber, %20'den daha fazla azalmaması gerekir. Böylece, deprem etkisindeki yükleme çevrimleri sonucunda oluşan dayanım azalması sınırlandırılmış olur. Eğer bu oran beklenenden daha büyük olursa, yapının güçlendirilerek istenen sınırlar içerisinde kalması sağlanır.

Yatay yerdeğiştirmeler

Hasarın, performans seviyelerine bağlı olarak sınırlandırılması için binada katlar arası görelî (rölatif) ötelemelerin Tablo 3.4'te verilen sınırlar içerisinde kalması öngörülmektedir. Böylece, yapısal hasarın sınırlandırılmasının yanında, aşırı yerdeğiştirmelerden kaynaklanan ikinci mertebe etkileri de sınırlandırılmış olur.

Tablo 3.4: Görelî Kat Ötelemesi Sınırları

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Performans Düzeyi		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
$(\delta_i)_{maks}/h_i$	0.008	0.02	0.03

3.6.3.2 Yapı elemanları ve bileşenleri için öngörülen kabul kriterleri

Binaların elemanları taşıyıcı olan ve taşıyıcı olmayan elemanlar şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Taşıyıcı elemanlar da kendi aralarında birincil ve ikincil elemanlar olarak sınıflandırılırlar. Doğrudan deprem yükleri etkisinde olan, diğer bir deyişle, yatay yük taşıyıcı sistemin bir elemanı olan kirişler ve kolonlar *birincil elemanlar*, diğer kirişler ve kolonlar ise *ikincil elemanlar* olarak tanımlanırlar. Kapasite eğrisi üzerinde elde edilen performans noktasında, her eleman üzerindeki gerilmeler ve şekildeğiştirmeler hesaplanarak, kabul edilen performans seviyesi için öngörülen koşulları sağlayıp sağlamadıkları ve gerekli sınırların altında kalıp kalmadıkları kontrol edilir. Elemanlar ve bileşenleri için uygulanan kabul kriterleri, eleman veya bileşenin türüne ve bunlardaki güç tükenmesini meydana getiren etkinin şekline bağlı olarak saptanır. Kiriş veya kolonlarda oluşan plastik mafsallı dönmelerinin, çeşitli performans seviyelerine karşı gelen sınır değerleri Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’da kirişler ve kolonlar için ayrı ayrı verilmiştir, [14].

Tablolarda, akma sınırına karşı gelen θ_y dönme parametresi

$$\text{kirişlerde} : \theta_y = \frac{M_p}{6EI} l \quad (3.2)$$

$$\text{kolonlarda} : \theta_y = \frac{M_p}{6EI} l \left(1 - \frac{N}{N_p}\right) \quad (3.3)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Tablo 3.6’da, normal kuvvetin $0.20 \leq N/N_p \leq 0.50$ olması haline karşı gelen (a), (b), (c), (d) bölgeleri için öngörülen plastik dönme sınır değerleri

$$(a) \quad \text{Plastik Dönme} = 11(1-1.7N/N_p)\theta_y$$

$$(b) \quad \text{Plastik Dönme} = 17(1-1.7N/N_p)\theta_y$$

$$(c) \quad \text{Plastik Dönme} = 8(1-1.7N/N_p)\theta_y$$

$$(d) \quad \text{Plastik Dönme} = 14(1-1.7N/N_p)\theta_y$$

şeklinde hesaplanır. Gevrek kolon kapsamına giren $N/N_p > 0.50$ durumunda ise, hemen kullanım bölgesi için sınır değer $0.25\theta_y$, can güvenliği ve göçmenin önlenmesi bölgeleri için sınır değer

a) birincil elemanlarda: $1.5\theta_y$

b) ikincil elemanlarda : $2.0\theta_y$

olarak alınacaktır.

Tablo 3.5: Çelik Kirişler İçin Modelleme Parametreleri ve Kabul Edilen Plastik Dönme Kapasiteleri

Doğrusal Olmayan Değerlendirme İçin Modelleme Parametreleri ve Kabul Kriterleri								
Elemanlar	Modelleme Parametreleri			Kabul Edilen Kriterler				
	Plastik Dönme Açısı (Radyan)		Artık Gerilme Oranı	Plastik Dönme Açısı (Radyan)				
				HK	Birincil Elemanlar		İkincil Elemanlar	
	a	b	c		CG	GÖ	CG	GÖ
Kiriş - Eğilme								
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{135}{\sqrt{F_{ye}}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{1100}{\sqrt{F_{ye}}}$	9θ _y	11θ _y	0.6	1θ _y	6θ _y	8θ _y	9θ _y	11θ _y
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{F_{ye}}}$ veya $\frac{h}{t_w} \leq \frac{1700}{\sqrt{F_{ye}}}$	4θ _y	6θ _y	0.2	0.25θ _y	2θ _y	3θ _y	3θ _y	4θ _y
Diğer	Hem gövde hem de başlık narınlığı için yukarıdaki iki satır arasında lineer interpolasyon yapılarak (r) sınır değerleri hesaplanmalı ve bunlardan küçük olan değer kullanılmalıdır							

Tablo 3.6: Çelik Kolonlar İçin Modelleme Parametreleri ve Kabul Edilen Plastik Dönme Kapasiteleri

Doğrusal Olmayan Değerlendirme İçin Modelleme Parametreleri ve Kabul Kriterleri								
Elemanlar	Modelleme Parametreleri			Kabul Edilen Kriterler				
	Plastik Dönme Açısı (Radyan)		Artık Gerilme Oranı	Plastik Dönme Açısı (Radyan)				
				HK	Birincil Elemanlar		İkincil Elemanlar	
	a	b	c		CG	GÖ	CG	GÖ
Kolon - Eğilme								
$N/N_p < 0.20$ için								
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{135}{\sqrt{F_{ye}}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{800}{\sqrt{F_{ye}}}$	$9\theta_y$	$11\theta_y$	0.6	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$8\theta_y$	$9\theta_y$	$11\theta_y$
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{F_{ye}}}$ veya $\frac{h}{t_w} \leq \frac{1200}{\sqrt{F_{ye}}}$	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$2\theta_y$	$3\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
Diğer	Hem gövde hem de başlık narınlığı için yukarıdaki iki satır arasında lineer interpolasyon yapılarak (r) sınır değerleri hesaplanmalı ve bunlardan küçük olan değer kullanılmalıdır							
$0.20 \leq N/N_p \leq 0.50$ için								
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{135}{\sqrt{F_{ye}}}$ ve $\frac{h}{t_w} \leq \frac{680}{\sqrt{F_{ye}}}$	(a)	(b)	0.2	$0.25\theta_y$	(c)	(a)	(d)	(b)
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{F_{ye}}}$ veya $\frac{h}{t_w} \leq \frac{1050}{\sqrt{F_{ye}}}$	$1\theta_y$	$1.5\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$0.5\theta_y$	$0.8\theta_y$	$1.2\theta_y$	$1.2\theta_y$
Diğer	Hem gövde hem de başlık narınlığı için yukarıdaki iki satır arasında lineer interpolasyon yapılarak (r) sınır değerleri hesaplanmalı ve bunlardan küçük olan değer kullanılmalıdır							

4 MEVCUT ÇELİK YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ İÇİN BİR YAKLAŞIM

Mevcut çelik yapı sistemlerinin deprem etkileri altındaki performans düzeylerinin ve güvenliklerinin belirlenmesine yönelik olarak, 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan bir değerlendirme yöntemi bulunmamaktadır. Bu çalışmada, orta yükseklikli çelik yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesine katkı sağlamak üzere, 2006 Türk Deprem Yönetmeliğinde verilen genel ilkeler, öngörülen doğrusal yöntem (Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi) ve doğrusal olmayan yöntem (Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi) ile FEMA 356 Östandardı'nda çelik yapı sistemlerinin performans değerlendirmesine ilişkin olarak verilen esaslar çerçevesinde, iki yaklaşım geliştirilerek bu yaklaşımların esas alındığı sayısal incelemeler gerçekleştirilmiştir. Sayısal incelemelerde, önerilen yaklaşımların irdelenmesi ve sayısal sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Bu bölümde, sözkonusu yaklaşımların uygulanmasında izlenen yolun adımları ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4.1 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi

Çelik binaların deprem performans ve güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla bu çalışmada uygulanan *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*'nde izlenen yol adımları aşağıda verilmiştir.

a) Yapı sistemi düşey işletme yükleri altında hesaplanarak tüm kesitlerdeki eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve normal kuvvetleri elde edilir.

b) Mevcut yapı sisteminin kirişlerinin eğilme momenti kapasiteleri

$$M_p = W_p \sigma_{ye} \quad (4.1)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu denklemde,

M_p : kiriş kesitinin eğilme momenti kapasitesini (plastik moment)

σ_{ye} : yapı çeliğinin karakteristik akma dayanımını

Wp : plastik mukavemet momentini

göstermektedir.

c) Mevcut yapı sisteminin kolonlarının basit eğilme halindeki eğilme momenti kapasiteleri Denklem (4.1) kullanılarak, normal kuvvet kapasiteleri ise

$$N_p = A \sigma_{ye} \quad (4.2)$$

denklemini ile hesaplanır. Bu denklemde

N_p : kolon kesitinin normal kuvvet kapasitesini

A : enkesit alanını

göstermektedir.

Bileşik eğilme (eğilme momenti ve normal kuvvet) etkisindeki kolon kesitlerinin N normal kuvveti altındaki $\overline{M}_p$ eğilme momenti kapasiteleri

$$N/N_p \leq 0.15 \quad \text{için} \quad \overline{M}_p = M_p \quad (4.3)$$

$$N/N_p > 0.15 \quad \text{için} \quad \overline{M}_p = 1.18 M_p \left(1 - \frac{N}{N_p}\right) \quad (4.4)$$

bağıntıları ile hesaplanır.

Kolon kesitlerinin eğilme momenti kapasiteleri, başlangıçta düşey yüklerden oluşan normal kuvvetler altında hesaplanır.

d) Kiriş ve kolon enkesitlerinin eğilme momenti kapasiteleri ile düşey yükler altında bu kesitlerde hesaplanan eğilme momentlerinin farkları hesaplanarak kesitlerin *artık eğilme momenti kapasiteleri* elde edilir. Bu işlem, kirişlerin sol ve sağ uçları, kolonların üst ve alt uçları için tekrarlanır.

e) Toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \quad (4.5)$$

bağıntısında $R_a(T_1) = 1$ konularak hesaplanır ve bu deprem yükleri için sistem analiz edilerek her kesitteki kesit tesirleri bulunur.

f) Uygulanan deprem kuvvetlerinin yönü de dikkate alınarak, sadece deprem etkisi altında ve $R_a = 1$ için hesaplanan eğilme momentlerinin kesitlerin artık eğilme momenti kapasitelerine bölünmesi ile kiriş ve kolonların etki/kapasite oranları (r) elde edilir.

g) Kolonların normal kuvvetleri, düşey yükler ve söz konusu eleman için hesaplanan (r) katsayısı ile azaltılmış deprem yüklerinin ortak etkisi altında yeniden hesaplanır. Gerekirse, bu normal kuvvetler için kolon eğilme momenti kapasiteleri yeniden hesaplanarak bir ardışık yaklaşım yolu uygulanır.

h) Kiriş ve kolonlar için hesaplanan etki/kapasite oranları, çelik yapı elemanlarının hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r) için Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'te verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak kesitlerin hasar bölgeleri belirlenir. Tablolardaki ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanır.

h) Kiriş ve kolon kesitleri için belirlenen hasar bölgeleri esas alınarak yapı sisteminin deprem performansı değerlendirilir.

4.2 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi

Bu çalışmada, 2006 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*, FEMA 356 Östandardı'nda verilen performans değerlendirme kriterleri çerçevesinde uygulanmaktadır. Aşağıda, yöntemin uygulanmasında izlenen yolun adımları açıklanmaktadır.

a) Plastik mafsalların, kolon ve kirişlerin uçlarında olduğu varsayımı yapılarak olası plastik mafsalları kesitleri tanımlanır.

b) Yapı sistemi, sabit düşey yükler ve orantılı olarak arttırılan eşdeğer deprem yükleri altında doğrusal olmayan teoriye göre hesaplanır ve öngörülen herhangi bir yatay yerdeğiştirme değerine kadar itilir. Bu aşamada yapının deprem doğrultusundaki birinci titreşim moduna ait etkin modal kütle, modal katılım oranı ve tepe noktası genliği değerleri de elde edilir.

c) İtme analizinin her adımına ait taban kesme kuvveti ve tepe noktası yerdeğiştirmesi değerlerinden yararlanarak, statik itme eğrisi (kapasite diyagramı) çizilir.

d) Statik itme eğrisi iki doğrulu (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürölür. Bu dönüştürmede, iki doğrulu diyagramın ve statik itme eğrisinin altında kalan alanların yaklaşık olarak birbirlerine eşit olması sağlanır.

e) İki doğrulu itme eğrisine koordinat dönüşümü uygulanarak koordinatları modal yerdeğiştirme ve modal ivme olan *modal kapasite diyagramı* aşağıdaki denklemler yardımıyla elde edilir, [18].

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (4.6)$$

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (4.7)$$

f) İtme analizi sonucunda yukarıda açıklandığı şekilde elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, elastik davranış spektrumu da gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} ’e eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (4.8)$$

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

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (4.9)$$

h) Doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} ’den hesaplanır.

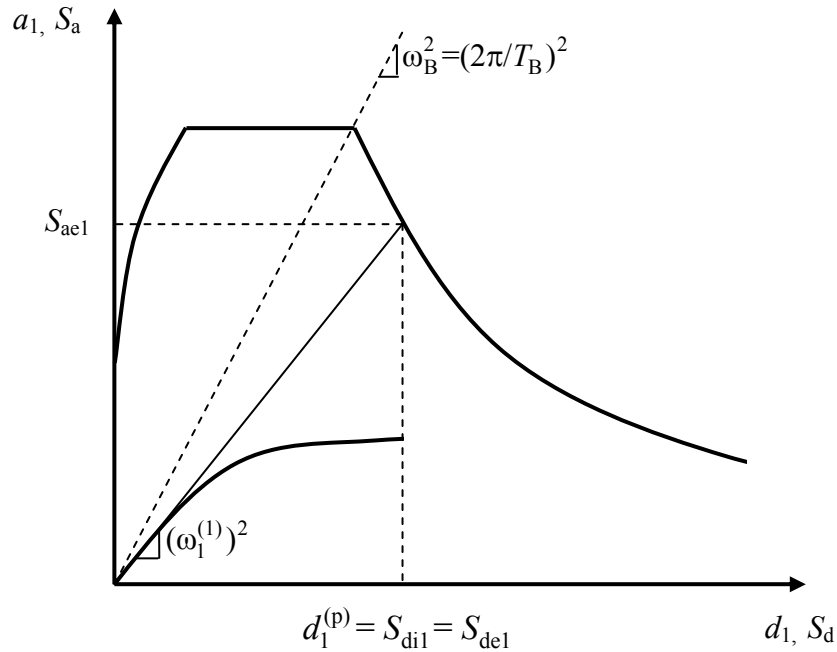
$$S_{del} = \frac{S_{ael}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (4.10)$$

i) Denklem (4.9)'da yer alan spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'in değerine ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$) bağlı olarak aşağıdaki şekilde belirlenir.

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B 'ye eşit veya daha büyük olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$), doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme S_{dil} , eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan eşitlik doğrusal elastik sisteme ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{del} 'e eşit alınır. Buna göre spektral yerdeğiştirme oranı,

$$C_{R1} = 1 \quad (4.11)$$

değerini almaktadır. şekil 4.1.

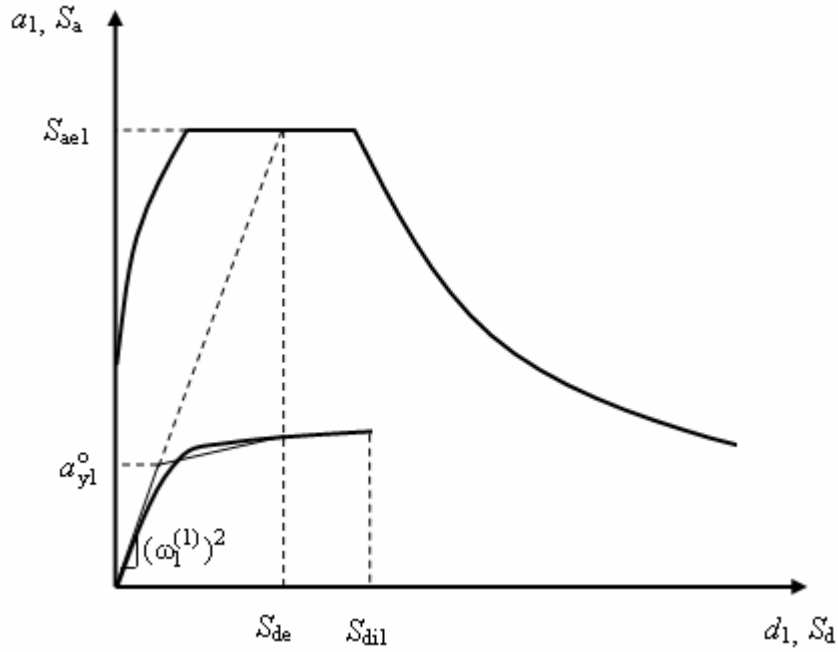


şekil 4.1: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} \geq T_B$)

Spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B 'den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 > \omega_B^2$) ise ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanır:

1. İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, 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 özdeğere, $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$), Şekil 4.2.

2. Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ kabulü yapılarak, eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir.



Şekil 4.2: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$)

Daha sonra, Denklem (4.9) ile S_{d1} doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme hesaplanır. Bu hesapta, C_{R1} değeri

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (4.12)$$

denklemini ile bulunur.

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait *dayanım azaltma katsayısı*'nı göstermektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (4.13)$$

3. S_{d1} esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları, 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.

j) x deprem doğrultusundaki tepe yatay yerdeğiştirmesi istemi

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (4.14)$$

denklemini hesaplanır.

k) Yapı sistemi, bu yatay yerdeğiştirme istemine kadar itilir.

l) İtme analizi sonucunda, tüm kritik kesitlerdeki plastik mafsal dönmeleri elde edilir.

m) Kiriş ve kolonlar için hesaplanan plastik mafsal dönmeleri, çelik yapı elemanlarının hasar sınırlarını tanımlayan plastik dönmeler için Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak kesitlerin hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir. Tablolardaki ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanır.

n) Kiriş ve kolon kesitleri için belirlenen hasar bölgeleri esas alınarak yapı sisteminin deprem performansı değerlendirilir.

5 SAYISAL İNCELEMELER

Bu bölümde, moment aktaran düzlem çerçevelerden oluşan çelik yapı sistemlerinin deprem etkileri altındaki güvenliklerinin ve performans düzeylerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen ve önceki bölümde esasları açıklanan yaklaşımların uygulandığı sayısal incelemeler yer almaktadır.

İncelemelerin amacı, orta yükseklikli çelik yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesine yönelik olarak geliştirilen doğrusal yöntem (*Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*) ve doğrusal olmayan yöntemin (*Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*) sayısal uygulamalarının yapılması ve sonuçlarının karşılaştırılarak yöntemlerin irdelenmesidir.

Sayısal incelemeler, çelik çerçeve sistemlerin pratikteki olası uygulamalarını temsil etmek üzere seçilen altı taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. 1998 ve 1975 Türk Deprem Yönetmelikleri'nde birinci derece deprem bölgesi için tanımlanan ve Z2 yerel zemin sınıfına karşı gelen deprem etkileri esas alınarak boyutlandırılan bu taşıyıcı sistemlerin doğrusal ve doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri ile deprem performansları bulunmuş ve her iki yöntemle elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İncelenen yapı sistemlerinin, kendi düzlemleri içindeki düşey yükler ve yatay deprem kuvvetleri etkisinde olan moment aktaran çerçevelerden oluştuğu gözönünde tutulmaktadır. Çerçeve sistemler, sabit yükler, hareketli yükler ve deprem etkileri altında, TS-648 çelik yapılar standardına [22] göre boyutlandırılarak enkesit profilleri belirlenmiştir.

Aşağıdaki bölümlerde, incelenen taşıyıcı sistem modelleri sırasıyla ele alınarak tanıtılmakta, deprem güvenlik ve performanslarının değerlendirmesi aşamasında elde edilen sayısal sonuçlar verilerek tartışılmaktadır.

5.1 İncelenen Taşıyıcı Sistem Modelleri

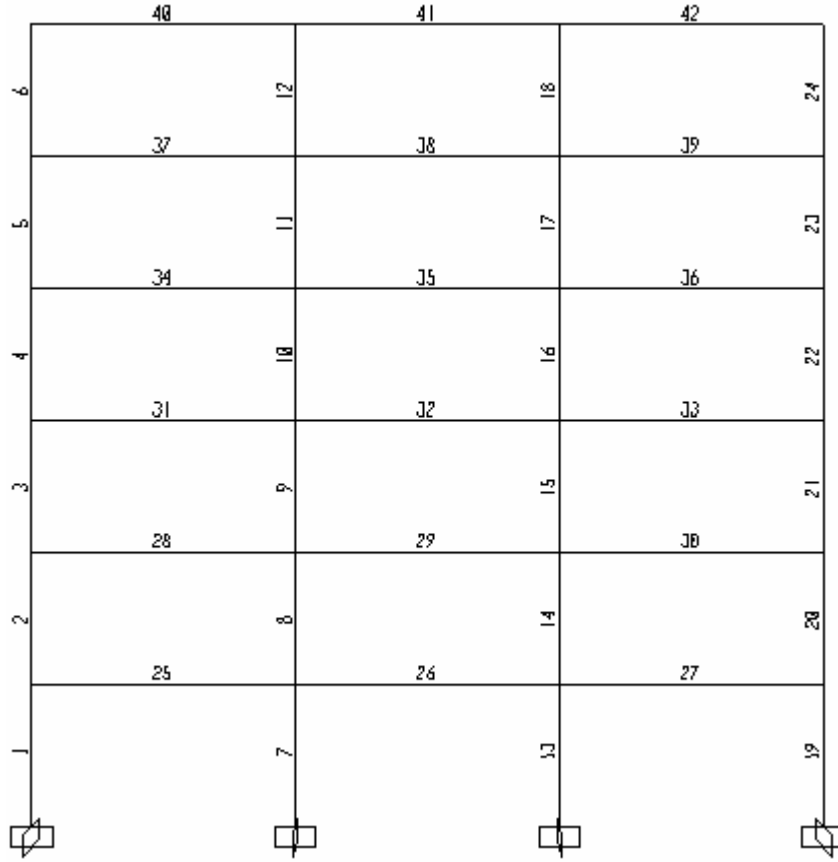
Sayısal incelemeler için seçilen taşıyıcı sistem modellerinin tümü (TSM-1, TSM-2, TSM-3, TSM-4, TSM-5 ve TSM-6) üç açıklıklı, altı katlı düzlem çerçeve

sistemlerdir ve kiriş açıklıkları 6.0 m, kat yükseklikleri 3.0 m olarak seçilmiştir. Planda çerçeve aralıkları 6.0 m'dir. İncelenen yapı sistemlerinin boyutlandırılmasında ve enkesit seçiminde, FEMA 356 Önstandartı'nın çelik yapılar bölümünde kompakt kesitler ve kompakt olmayan kesitler için verilen enkesit özelliklerine göre tanımlanan eleman hasar sınırları tablolarının tamamının taranarak geniş çaplı bir parametrik inceleme yapılması amaçlanmıştır. Çelik yapı sistemlerinin pratikteki olası uygulamalarını temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında esas alınan deprem yönetmelikleri ve kesitlerin kompakt ve kompakt olmama durumları Tablo 5.1'de görülmektedir.

Tablo 5.1: Taşıyıcı Sistem Modellerinin Farklılık Gösterdiği Özellikleri

Taşıyıcı Sistem Modelleri	Boyutlandırmada esas alınan deprem yönetmeliği	Kesit Özellikleri	
		Kirişler	Kolonlar
TSM-1	1998 Türk Deprem Yönetmeliği	kompakt	kompakt
TSM-2	1998 Türk Deprem Yönetmeliği	kompakt	kompakt değil
TSM-3	1998 Türk Deprem Yönetmeliği	kompakt değil	kompakt
TSM-4	1975 Türk Deprem Yönetmeliği	kompakt	kompakt
TSM-5	1975 Türk Deprem Yönetmeliği	kompakt	kompakt değil
TSM-6	1975 Türk Deprem Yönetmeliği	kompakt değil	kompakt

Tüm taşıyıcı sistem modelleri için ortak olan kiriş ve kolon numaraları Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1: Taşıyıcı Sistem Modellerinin Kiriş ve Kolon Numaraları

5.2 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması

Geometrik özellikleri Bölüm 5.1’de verilen taşıyıcı sistem modelleri, 1998 ve 1975 Türk Deprem Yönetmelikleri [17, 23] esaslarına göre ve TS-648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları Standardına [22] uygun olarak boyutlandırılmıştır.

Aşağıda, boyutlandırmada gözönünde tutulan varsayımlar ve esas alınan deprem yönetmeliklerinin esasları kısaca açıklanacaktır.

5.2.1 Boyutlandırmada gözönünde tutulan varsayımlar

Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında gözönünde tutulan varsayımlar aşağıda sıralanmıştır.

a- Malzemenin doğrusal-elastik olduğu varsayılmakta ve ikinci mertebe etkileri, TS-648 standardının öngördüğü şekilde, burkulma ve moment büyütme katsayıları ile hesaba katılmaktadır.

b- Tüm kirişler ve kolonlar **I** kesitlidir ve genel olarak Avrupa norm profilleri (kirişler için **IPE**, **HEA** ve **HEAA** profilleri, kolonlar için **HEA**, **HEAA** ve **HEB** profilleri) kullanılarak boyutlandırılmıştır. Boyutlandırmada kullanılan **IPE**, **HEA** ve **HEB** profilleri FEMA356 Östandardı'nda kompakt kesitler için verilen enkesit özelliklerini sağlamakta, buna karşılık **HEAA** profilleri kompakt kesitler için öngörülen enkesit koşullarını sağlamamaktadır.

c- Çerçevelerin düğüm noktalarının rijit, mesnetlerinin temelde ankastre oldukları gözönünde tutulmaktadır.

d- Döşeme yüklerinin, çerçeve düzlemine dik doğrultudaki ikincil döşeme kirişleri vasıtasıyla çerçeve kirişlerine yayılı yük olarak, deprem yüklerinin ise kat döşemelerine tekil kuvvetler olarak etkidiği idealleştirmesi yapılmıştır.

e- Düzlem çerçevelerin çerçeve düzlemine dik doğrultudaki hareketinin çapraz sistemi veya benzeri rijit taşıyıcı sistemler tarafından önlenildiği varsayılmaktadır. Bu durumda, kolonların çerçeve düzlemi dışındaki burkulma boyu kolon boyuna eşit olmaktadır. Kolonlarda yanal burkulmaya karşı gerekli önlemlerin alındığı, kirişlerin yanal burkulmasının ise betonarme döşeme sistemi tarafından önlenildiği varsayılmıştır.

f- Çerçeve kirişlerinin boyutlandırılmasında, kirişlerin betonarme döşeme ile birlikte kompozit olarak davranışı hesaba katılmamıştır.

5.2.2 Malzeme karakteristikleri

Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında esas alınan yapı çeliği sınıfı ve akma dayanımının TS-648 standardındaki malzeme tanımları cinsinden karşılıkları aşağıda verilmiştir.

Yapı çeliği : Fe37

Akma dayanımı : $\sigma_a = 235 \text{ N/mm}^2$

5.2.3 Boyutlandırmada esas alınan deprem yönetmelikleri

İncelenen taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında kullanılan deprem yönetmeliklerinin esasları aşağıda özetlenmiştir.

a) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998) [17]

TSM-1, TSM-2 ve TSM-3 taşıyıcı sistem modellerinin deprem hesaplarında, 1998 Türk Deprem Yönetmeliğinde verilen *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* kullanılmıştır. Bu yöntemde, binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti),

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 IW \quad (5.1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu bağtıda,

W : binanın deprem sırasındaki toplam ağırlığını

T_1 : binanın birinci doğal titreşim periyodunu

$A(T_1)$: T_1 periyot değeri için hesaplanan spektral ivme katsayısını

$R_a(T_1)$: T_1 periyot değeri için hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısını göstermektedir.

Binanın deprem sırasındaki toplam ağırlığı ise

$$W = \sum_{i=1}^N w_i = \sum_{i=1}^N (g_i + nq_i) \quad (5.2)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada,

w_i : binanın i'inci katının toplam ağırlığını

g_i : binanın i'inci katındaki toplam sabit yükleri

q_i : binanın i'inci katındaki toplam hareketli yükleri

n : hareketli yük katılım katsayısını

N : binanın kat adedini

göstermektedir. ABYYHY'98 Tablo 6.7'ye göre, taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında $n = 0.30$ olarak seçilmiştir.

Spektral ivme katsayısı

$$A(T_1) = A_0 IS(T_1) \quad (5.3)$$

şeklinde hesaplanır. Bu ifadede

A_0 : etkin yer ivmesi katsayısını

I : yapı önem katsayısını

$S(T_1)$: T_1 periyot değerine karşılık gelen ivme spektrum değerini

göstermektedir. ABYYHY'98 Tablo 6.2'ye göre, birinci derece deprem bölgesi için $A_0 = 0.40$ ve Tablo 6.3'e göre, bina önem katsayısı $I = 1.0$ olarak seçilmiştir. $S(T_1)$ değeri ise zemin sınıfına ve T_1 doğal titreşim periyoduna bağlı olarak aşağıdaki gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.4a)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (5.4b)$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (T > T_B) \quad (5.4c)$$

T_A ve T_B zemin karakteristik periyotları olup yerel zemin sınıfının türüne göre değişmektedir. Deprem yükü azaltma katsayısı

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.5a)$$

$$R_a(T) = R \quad (T > T_A) \quad (5.5b)$$

formülleri ile hesaplanmaktadır. Burada

R : taşıyıcı sistem davranış katsayısıdır.

ABYYHY'98 Tablo 6.5'e göre, süneklik düzeyi normal çerçeve sistem olarak boyutlandırılan TSM-1, TSM-2 ve TSM-3 taşıyıcı sistem modellerinde $R = 5$ olarak alınabilmektedir.

Taban kesme kuvveti belirlendikten sonra, kütlelerin toplandığı varsayılan kat döşemelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri Denklem (5.6) ile hesaplanır.

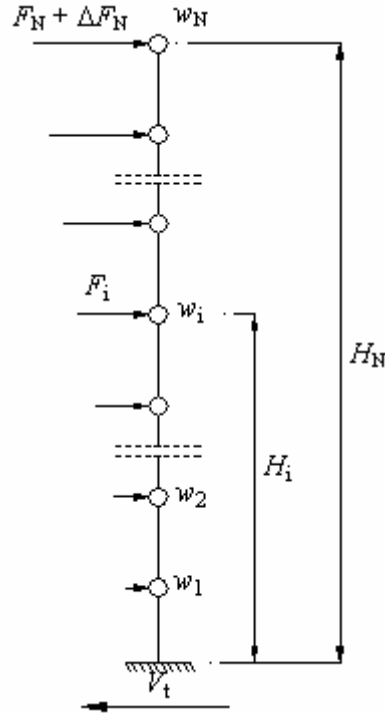
$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (5.6)$$

Bu bağıntıda

H_i : yapının i'inci katının temel seviyesinden yüksekliğini

ΔF_N : ek eşdeğer deprem yükünü göstermektedir, Şekil 5.2.

İncelenen yapı sistemlerinde toplam yapı yüksekliği 25 m den daha az olduğu için, 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'nin 6.7.2.2 maddesine göre $\Delta F_N = 0$ olmaktadır.



Şekil 5.2: Eşdeğer Deprem Yüklerinin Bulunması

b) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1975) [23]

TSM-4, TSM-5 ve TSM-6 taşıyıcı sistem modellerinin deprem hesapları 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak yapılmıştır. Bu yönetmeliğe göre, yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında esas alınacak toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)

$$F = C W \quad (5.7)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada C deprem katsayısı olup

$$C = C_o K S I \quad (5.8)$$

denklemleri ile belirlenir. Bu ifadede

C_o : deprem bölge katsayısı

K : yapı tipi katsayısı

S : yapı dinamik katsayısı (spektrum katsayısı)

I : yapı önem katsayısıdır.

ABYYHY'75 Tablo 13.2'ye göre birinci derece deprem bölgesi için $C_o = 0.10$, çerçeveleri yatay yüklerin tamamını taşıyabilen hafif ve az bölme duvarlı betonarme sünek çerçeveler için Tablo 13.3'ten $K = 1$ ve halkın az yığıldığı konutlar için Tablo 13.5'ten $I = 1.0$ olarak seçilmiştir.

Yapı dinamik katsayısı ise

$$S = \frac{1}{|0.8 + T - T_o|} \leq 1 \quad (5.9)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada

T : saniye cinsinden yapının birinci normal titreşim moduna ait doğal periyodu

T_o : zeminin hakim periyodudur.

T_o periyodu, II zemin cinsi (1998 Deprem Yönetmeliğindeki karşılığı: Z2) için $T_o = 0.42$ s değerini almaktadır.

Bu formülden bulunan S katsayısının maksimum değeri 1.0 olacak, C deprem katsayısı hiçbir zaman $C_o/2$ 'den daha küçük alınmayacaktır.

Toplam eşdeğer deprem yükünün hesaplamasında kullanılacak olan W toplam yapı ağırlığının ifadesi

$$W = \sum_{i=1}^N w_i = \sum_{i=1}^N (G_i + n P_i) \quad (5.10)$$

şeklindedir. Burada

G_i : i'inci kattaki sabit yüklerin toplamını

P_i : i'inci kattaki hareketli yüklerin toplamını göstermektedir.

Binanın kat düzeylerine uygulanacak F_i yatay kuvvetleri

$$F_i = (F - F_t) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (5.11)$$

denklemini ile hesaplanır. Bu ifadede

F : toplam yatay yük

w_i : i'inci katın ağırlığı

H_i : i'inci katın temel üst kotundan ölçülen yüksekliği

F_t : yapının en üst kat düzeyine uygulanacak ek tekil kuvvettir.

F_t kuvvetinin değeri

$$F_t = 0,004F \left(\frac{H}{D} \right)^2 \quad (5.12)$$

şeklinde hesaplanacaktır.

Not: 1- F_t ek kuvveti $0.15F$ değerinden daha küçük olamaz.

2- $H/D \leq 3$ olması halinde $F_t = 0$ alınabilir.

5.2.4 Boyutlandırmada esas alınan yükler

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

Normal kat döşemeleri: sabit yük, $g = 3.50 \text{ kN/m}^2$

hareketli yük, $q = 3.50 \text{ kN/m}^2$ (1.50 kN/m^2 bölme duvar yükü dahil)

Çatı katı döşemesi: sabit yük, $g = 4.00 \text{ kN/m}^2$

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

Dış duvar yüklerinin ($g_d = 4.00 \text{ kN/m}$) $b=6.00 \text{ m}$ 'lik çerçeve aralığındaki toplamı dış kolonlara eşdeğer tekil yükler olarak etkilmiştir.

5.2.5 Deprem karakteristikleri

1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne [17] göre boyutlandırılan TSM-1, TSM-2 ve TSM-3 taşıyıcı sistem modellerinde esas alınan deprem karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

Yapı Önem Katsayısı	: $I = 1.0$
Hareketli Yük Katılım Katsayısı	: $n = 0.30$
Etkin Yer İvmesi Katsayısı	: $A_0 = 0.40$
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	: $R = 5$
Yerel Zemin Sınıfı	: $Z2$
Spektrum Karakteristik Periyotları	: $T_A = 0.15 \text{ s}$, $T_B = 0.40 \text{ s}$

TSM-4, TSM-5 ve TSM-6 taşıyıcı sistem modelleri 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne [23] göre boyutlandırılırken, tasarım kriterleri aşağıda listelendiği şekilde alınmıştır.

Deprem Bölge Katsayısı	: $C_o = 0.10$
Yapı Tipi Katsayısı	: $K = 1.0$
Zemin Hakim Periyodu	: $T_o = 0.42 \text{ s}$
Hareketli Yük Katsayısı	: $n = 0.30$

Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında esas alınan deprem yükleri yukarıda belirtilen ilgili deprem yönetmeliklerine uygun olarak hesaplanmıştır.

5.2.6 Boyutlandırmada esas alınan yükleme kombinasyonları

Tüm taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında, düşey yükler ile düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında belirlenen yükleme kombinasyonları gözönüne alınmıştır.

5.2.7 Analiz ve boyutlandırma

Sabit yükler (yapı yükleri), hareketli yükler ve çerçeve doğrultusunda hesaplanan deprem etkileri altında, SAP Yapısal Analiz Programı [10] sonuçlarından elde edilen

kesit tesiri değerleri kullanılarak, Bۆlüm 5.2.6’da belirtilen yۆkleme kombinasyonları için elik kesit hesapları yapılmış ve kiriş, kolon enkesit profilleri belirlenmiştir.

5.3 Boyutlandırılan Taşıyıcı Sistem Modellerinin Performans Değerlendirmesi

Yukarıdaki bۆlۆmlerde açıklandığı şekilde boyutlandırılan taşıyıcı sistem modellerinin deprem performans değerlendirmesi, esasları Bۆlüm 4’te açıklanan iki farklı yaklaşım ile gerçekleştirilmiştir.

- a) Boyutlandırılan yapı sistemlerinde, (5.6) bağıntısı ile bulunan deprem kuvvetlerinin yۆnۆ de dikkate alınarak, sadece deprem etkisi altında hesaplanan eğilme momentlerinin kesitlerin artık eğilme momenti kapasitelerine bۆlünmesi ile kiriş ve kolonların etki/kapasite oranları (r) elde edilmiş ve bu değerler ilgili sınır değerler ile karşılaştırılarak, FEMA 356 nstandardı’nda performans değerlendirmesine ilişkin olarak verilen esaslar çerçevesinde, yapı elemanlarının hasar bۆlgeleri doğrusal yۆnteme gۆre bulunmuştur.
- b) Boyutlandırılan taşıyıcı sistem modellerinin her biri için, SAP2000 Yapısal Analiz Programı’nın [10] doğrusal olmayan analiz modۆlۆnden yararlanarak sabit dۆřey yۆkler ve monoton olarak artan yatay yۆkler etkisi altında, tepe noktası yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti diyagramı (kapasite eğrisi) elde edilmiştir. Elde edilen kapasite eğrisi Bۆlüm 4.2’de açıklanan bağıntılar kullanılarak S_a-S_d spektral formatına dۆnۆřtürۆldۆkten sonra, elastik istem spektrumu ve dۆnۆřtürۆlmüş kapasite eğrisi aynı eksen takımında çizilmiş ve performans noktası 2006 Tۆrk Deprem Yۆnetmelięi’nde ۆngۆrۆlen doğrusal olmayan yۆnteme gۆre belirlenmiştir. Yapı sistemleri, bu yatay yerdeğiştirme istemlerine kadar itilerek tۆm kritik kesitlerdeki plastik mafsall dۆnmeleri bulunmuştur. Plastik mafsall dۆnmeleri, FEMA 356 nstandardı’nda verilen, elik yapı elemanlarının hasar sınır değerleri ile karşılaştırılarak yapı elemanlarının hasar bۆlgeleri belirlenmiştir.

5.4 TSM-1 İçin Ayrıntılı İnceleme

Bu çalışmada gerçekleştirilen sayısal incelemelere ۆrnek olmak ۆzere, TSM-1 olarak tanımlanan taşıyıcı sistem modelinin 1998 Tۆrk Deprem Yۆnetmelięi’ne gۆre ve tۆm kiriş, kolon enkesitlerinin FEMA 356 nstandardı’nda kompakt (başlık ve gۆvde

levhalarının bölgesel stabilitesi sağlanmış) kesitler için verilen enkesit sınırlarının içinde kalacak şekilde boyutlandırılması ve boyutlandırılan sistemin 2006 Türk Deprem Yönetmeliği ile FEMA 356 Östandardı'nda öngörülen ilkeler çerçevesinde, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle deprem performanslarının belirlenmesi aşamaları aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Diğer sistemler ve tasarım kriterleri için yapılan performans değerlendirme hesaplarının sonuçları, bu ayrıntılı incelemenin ardından tablolar halinde özetlenmiştir.

5.4.1 Tasarım deprem yüklerinin bulunması

TSM-1 taşıyıcı sistem modelinin birinci derece deprem bölgesinde ve Z2 zemin sınıfı üzerinde inşa edildiği gözönünde tutulmuştur.

Sistemin deprem hesaplarında 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* kullanılmıştır. Bu yöntemle göre, Bölüm 5.2.5'te verilen deprem karakteristikleri kullanılarak,

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10A_0IW \quad (5.1)$$

$$W = G + 0.3Q$$

$$A(T_1) = A_0IS(T_1)$$

$$A_0 = 0.40$$

$$I = 1.00$$

$$T = 1.265s > T_B$$

$$S(T) = 2.5 \times (0.40/1.26)^{0.8} = 1.00$$

elde edilir ve spektral ivme katsayısı

$$A(T) = 0.40 \times 1.00 \times 1.00 = 0.40 \text{ değerini alır.}$$

Çerçeve toplam ağırlığı $W = 3887.59 \text{ kN}$, Denklem (5.1)'de yerine konularak taban kesme kuvveti

$$V_t = 0.40 \times 3887.59 / 5.00 = 311.01 \text{ kN}$$

olarak elde edilir. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin

$$F_i = (V_i - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (\Delta F_N = 0) \quad (5.6)$$

denklemleri ile hesabı Tablo 5.1 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

Kat	H_i (m)	w_i (kN)	$w_i H_i$ (kNm)	$w_i H_i / \sum w_i H_i$	F_i (kN)
6	18.00	514.41	9259.40	0.2334	72.586
5	15.00	674.32	10114.79	0.2550	79.291
4	12.00	675.89	8110.69	0.2044	63.581
3	9.00	677.46	6097.16	0.1537	47.797
2	6.00	678.66	4071.98	0.1026	31.921
1	3.00	673.18	2019.55	0.0509	15.832

5.4.2 Enkesit profilleri, gerilme oranları ve yatay yerdeğiştirmelerin bulunması

Yukarıda belirlenen düşey yükler ve deprem kuvvetleri altında taşıyıcı sistem modeli hesaplanarak kesit tesirleri ve yerdeğiştirmeler bulunmuştur. Deprem yüklemesinden oluşan yerdeğiştirme (δ) değerleri Tablo 5.2’de görölmektedir. Bu tabloda ayrıca görelî kat ötelemelerinin değerleri de yer almaktadır.

Tablo 5.3: TSM-1 İçin Deprem Yüklerinden Oluşan Kat Yatay Yerdeğiştirmeleri

Kat	h_i (m)	d_{ix} (cm)	Δ_{ix} (cm)	$\delta_{ix} = R \Delta_{ix}$ (cm)	δ_{ix} / h_i
6	300	5.37	0.52	2.5950	0.0087
5	300	4.85	1.03	5.1500	0.0172
4	300	3.82	0.96	4.7800	0.0159
3	300	2.86	1.15	5.7550	0.0192
2	300	1.71	1.00	5.0150	0.0167
1	300	0.71	0.71	3.5450	0.0118

Binanın her katındaki azaltılmış görelî kat ötelemeleri, deprem yükü azaltma katsayısı, R ile çarpılarak etkin görelî kat ötelemeleri hesaplanmış ve tablonun beşinci kolonuna yazılmıştır. Bu değerlerin kat yüksekliklerine oranları ise tablonun son kolonunda yer almaktadır.

Tabloda göröldüğü gibi, δ_{ix} / h_i görelî kat ötelemelerinin en büyük değeri $0.0192 < 0.02$ olup, DBYBHY’06 Madde 2.10.1.3’te öngörölen koşulu sağlamaktadır.

Düşey yükler ve deprem kuvvetlerinin ortak etkisi altında yapılan boyutlandırma sonucunda elde edilen kiriş ve kolon enkesit profilleri ile gerilme oranları

(enkesitteki en büyük normal gerilmenin emniyet gerilmesine oranı) sırasıyla Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te verilmiştir. Boyutlandırmada, yapı çeliği sınıfı Fe37 (akma dayanımı $\sigma_a = 235 \text{ N/mm}^2$) olarak seçilmiş ve gerilme oranlarının sınır değerleri 1.33 olarak alınmıştır.

Tablo 5.4: TSM-1 İçin Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

		<i>1. kat kenar kirişler</i>	<i>1. kat orta kirişler</i>	<i>2. kat kenar kirişler</i>	<i>2. kat orta kirişler</i>	<i>3. kat kenar kirişler</i>	<i>3. kat orta kirişler</i>
Z2 Zemin Grubu	R=5	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450
		1.284	1.245	1.300	1.265	1.204	1.165
		<i>4. kat kenar kirişler</i>	<i>4. kat orta kirişler</i>	<i>5. kat kenar kirişler</i>	<i>5. kat orta kirişler</i>	<i>6. kat kenar kirişler</i>	<i>6. kat orta kirişler</i>
		IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450
		1.083	1.103	0.914	1.066	0.686	0,924

Tablo 5.5: TSM-1 İçin Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

		<i>1. kat dış kolonlar</i>	<i>2. kat dış kolonlar</i>	<i>3. kat dış kolonlar</i>	<i>4. kat dış kolonlar</i>	<i>5. kat dış kolonlar</i>	<i>6. kat dış kolonlar</i>
Z2 Zemin Grubu	R=5	HEB-260	HEB-260	HEB-240	HEB-240	HEB-200	HEB-200
		1.248	1.189	1.211	1.044	1.233	0.914
		<i>1. kat iç kolonlar</i>	<i>2. kat iç kolonlar</i>	<i>3. kat iç kolonlar</i>	<i>4. kat iç kolonlar</i>	<i>5. kat iç kolonlar</i>	<i>6. kat iç kolonlar</i>
		HEB-340	HEB-340	HEB-280	HEB-280	HEB-220	HEB-220
		1.294	1.031	1.197	0.973	1.139	0.611

5.4.3 Sistemin doğrusal elastik hesap yöntemine göre deprem performansının belirlenmesi

Boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin, 2006 Türk Deprem Yönetmeliğinde yer alan doğrusal hesap yöntemi (*Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*) ve FEMA 356 Öncestandarı'nda verilen esaslar çerçevesinde, deprem performansının belirlenmesinde izlenen hesap adımları aşağıda sayısal olarak açıklanmıştır.

a) Yapı sistemi düşey işletme yükleri altında hesaplanarak tüm kesitlerdeki kesit tesirleri elde edilir.

b) Kirişlerin enkesit ve malzeme özelliklerine bağlı olarak, Denklem (4.1) uyarınca kiriş uçlarındaki eğilme momenti kapasiteleri hesaplanır.

c) Kolon uçlarındaki eğilme momenti kapasiteleri Denklem (4.2) – Denklem (4.4) kullanılarak hesaplanır. Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisinde olan kolon kesitlerinin eğilme momenti kapasiteleri, başlangıçta düşey yüklerden oluşan normal kuvvetler altında hesaplanır.

d) Kiriş ve kolon enkesitlerinin eğilme momenti kapasiteleri ile düşey yükler altında bu kesitlerde hesaplanan eğilme momentlerinin farkları bulunarak kesitlerin artık eğilme momenti kapasiteleri elde edilir. Bu işlem, kirişlerin sol ve sağ uçları, kolonların üst ve alt uçları için tekrarlanır. Bu şekilde hesaplanan büyüklükler ileride Tablo 5.6 ve Tablo 5.7'nin 2. – 4. kolonlarında verilmiştir. Tablolarda

M_p : kesitin eğilme momenti kapasitesini

M_{GQ} : düşey yükler altında hesaplanan eğilme momentini

M_{ak} : kesitin artık eğilme momenti kapasitesini

M_{EX} : x doğrultusundaki deprem yükleri altında hesaplanan eğilme momentini göstermektedir.

e) Deprem yükü azaltma katsayısını $R_a = 1$ değeri için, katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Denklem (4.5) kullanılarak bulunur, Tablo 5.5. Bu deprem yükleri altında her kesitteki kesit tesirleri hesaplanır.

Tablo 5.6: Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri

Kat	H_i (m)	w_i (kN)	$w_i H_i$ (kNm)	$w_i H_i / \sum w_i H_i$	F_i (kN)
6	18.00	514.41	9259.40	0.2334	362.929
5	15.00	674.32	10114.79	0.2550	396.456
4	12.00	675.89	8110.69	0.2044	317.904
3	9.00	677.46	6097.16	0.1537	238.983
2	6.00	678.66	4071.98	0.1026	159.604
1	3.00	673.18	2019.55	0.0509	79.158

f) Kirişlerin ve kolonların etki/kapasite oranları (r), uygulanan deprem kuvvetinin yönü de dikkate alınarak, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit eğilme momentinin kesitin artık eğilme momenti kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Deprem yüklerinden oluşan kolon ve kiriş eğilme momentleri ile (r) değerleri Tablo 5.6 ve Tablo 5.7'nin 5. ve 6. kolonlarında verilmiştir. Tablolardan görüldüğü

gibi, sistem ve yükleme özellikleri nedeniyle, simetrik olan kesitlerde (r) oranları aynı değeri almaktadır.

Tablo 5.7: Kirişlerde Artık Eğilme Momenti Taşıma Kapasiteleri ve Etki/Kapasite Oranları (r)

Kiriş Uçları	M _p (kNm)	M _{GQ} (kNm)	M _{ak} (kNm)	M _{EX} (kNm)	r
Kiriş25 sol uç	399,97	88,36	311,61	628,68	2,02
Kiriş25 sağ uç	399,97	143,09	256,88	642,17	2,50
Kiriş26 sol uç	399,97	129,92	270,05	666,78	2,47
Kiriş26 sağ uç	399,97	129,92	270,05	666,78	2,47
Kiriş27 sol uç	399,97	143,09	256,88	642,17	2,50
Kiriş27 sağ uç	399,97	88,36	311,61	628,68	2,02
Kiriş28 sol uç	399,97	92,34	307,63	682,42	2,22
Kiriş28 sağ uç	399,97	140,10	259,87	674,36	2,59
Kiriş29 sol uç	399,97	129,61	270,36	689,42	2,55
Kiriş29 sağ uç	399,97	129,61	270,36	689,42	2,55
Kiriş30 sol uç	399,97	140,10	259,87	674,36	2,59
Kiriş30 sağ uç	399,97	92,34	307,63	682,42	2,22
Kiriş31 sol uç	399,97	91,20	308,77	615,39	1,99
Kiriş31 sağ uç	399,97	138,04	261,93	582,42	2,22
Kiriş32 sol uç	399,97	129,73	270,24	582,85	2,16
Kiriş32 sağ uç	399,97	129,73	270,24	582,85	2,16
Kiriş33 sol uç	399,97	138,04	261,93	582,42	2,22
Kiriş33 sağ uç	399,97	91,20	308,77	615,39	1,99
Kiriş34 sol uç	399,97	83,72	316,25	489,86	1,55
Kiriş34 sağ uç	399,97	138,71	261,26	451,07	1,73
Kiriş35 sol uç	399,97	130,41	269,56	450,94	1,67
Kiriş35 sağ uç	399,97	130,41	269,56	450,94	1,67
Kiriş36 sol uç	399,97	138,71	261,26	451,07	1,73
Kiriş36 sağ uç	399,97	83,72	316,25	489,86	1,55
Kiriş37 sol uç	399,97	73,50	326,47	309,93	0,95
Kiriş37 sağ uç	399,97	140,03	259,94	266,38	1,02
Kiriş38 sol uç	399,97	131,42	268,55	264,84	0,99
Kiriş38 sağ uç	399,97	131,42	268,55	264,84	0,99
Kiriş39 sol uç	399,97	140,03	259,94	266,38	1,02
Kiriş39 sağ uç	399,97	73,50	326,47	309,93	0,95
Kiriş40 sol uç	399,97	42,40	357,57	109,33	0,31
Kiriş40 sağ uç	399,97	122,83	277,14	86,17	0,31
Kiriş41 sol uç	399,97	116,35	283,62	103,61	0,37
Kiriş41 sağ uç	399,97	116,35	283,62	103,61	0,37
Kiriş42 sol uç	399,97	122,83	277,14	86,17	0,31
Kiriş42 sağ uç	399,97	42,40	357,57	109,33	0,31

Tablo 5.8: Kolonlarda Artık Eğilme Momenti Taşıma Kapasiteleri ve Etki/Kapasite Oranları (r)

Kolon Uçları	M_p (kNm)	M_{GQ} (kNm)	M_{ak} (kNm)	M_{EX} (kNm)	r
Kolon1 üst uç	185,07	36,56	148,51	270,49	1,82
Kolon1 alt uç	202,34	15,68	186,66	468,70	2,51
Kolon2 üst uç	221,63	51,21	170,43	332,08	1,95
Kolon2 alt uç	224,18	51,80	172,38	358,19	2,08
Kolon3 üst uç	203,62	43,18	160,44	359,17	2,24
Kolon3 alt uç	202,54	41,13	161,41	350,34	2,17
Kolon4 üst uç	225,72	52,12	173,60	283,79	1,63
Kolon4 alt uç	223,05	48,03	175,02	256,23	1,46
Kolon5 üst uç	148,15	34,27	113,88	226,87	1,99
Kolon5 alt uç	147,23	31,60	115,63	206,06	1,78
Kolon6 üst uç	150,99	42,40	108,59	109,33	1,01
Kolon6 alt uç	150,99	39,24	111,75	83,05	0,74
Kolon7 üst uç	403,90	5,69	398,21	538,51	1,35
Kolon7 alt uç	403,45	2,23	401,22	1054,85	2,63
Kolon8 üst uç	447,70	6,81	440,89	753,11	1,71
Kolon8 alt uç	447,07	7,48	439,59	770,44	1,75
Kolon9 üst uç	280,32	3,82	276,50	654,23	2,37
Kolon9 alt uç	279,82	3,68	276,14	610,67	2,21
Kolon10 üst uç	317,15	5,26	311,90	564,86	1,81
Kolon10 alt uç	316,63	4,48	312,15	511,05	1,64
Kolon11 üst uç	174,50	3,53	170,97	368,99	2,16
Kolon11 alt uç	174,24	3,04	171,20	337,15	1,97
Kolon12 üst uç	194,35	6,48	187,86	189,78	1,01
Kolon12 alt uç	194,35	5,08	189,27	162,23	0,86
Kolon13 üst uç	403,90	5,69	398,21	538,51	1,35
Kolon13 alt uç	403,45	2,23	401,22	1054,85	2,63
Kolon14 üst uç	447,70	6,81	440,89	753,11	1,71
Kolon14 alt uç	447,07	7,48	439,59	770,44	1,75
Kolon15 üst uç	280,32	3,82	276,50	654,23	2,37
Kolon15 alt uç	279,82	3,68	276,14	610,67	2,21
Kolon16 üst uç	317,15	5,26	311,90	564,86	1,81
Kolon16 alt uç	316,63	4,48	312,15	511,05	1,64
Kolon17 üst uç	174,50	3,53	170,97	368,99	2,16
Kolon17 alt uç	174,24	3,04	171,20	337,15	1,97
Kolon18 üst uç	194,35	6,48	187,86	189,78	1,01
Kolon18 alt uç	194,35	5,08	189,27	162,23	0,86
Kolon19 üst uç	185,07	36,56	148,51	270,49	1,82
Kolon19 alt uç	202,34	15,68	186,66	468,70	2,51
Kolon20 üst uç	221,63	51,21	170,43	332,08	1,95
Kolon20 alt uç	224,18	51,80	172,38	358,19	2,08
Kolon21 üst uç	203,62	43,18	160,44	359,17	2,24
Kolon21 alt uç	202,54	41,13	161,41	350,34	2,17
Kolon22 üst uç	225,72	52,12	173,60	283,79	1,63
Kolon22 alt uç	223,05	48,03	175,02	256,23	1,46
Kolon23 üst uç	148,15	34,27	113,88	226,87	1,99
Kolon23 alt uç	147,23	31,60	115,63	206,06	1,78
Kolon24 üst uç	150,99	42,40	108,59	109,33	1,01
Kolon24 alt uç	150,99	39,24	111,75	83,05	0,74

g) Kirişler ve kolonlar için hesaplanan etki/kapasite oranları, ilgili sınır değerler ile karşılaştırılarak kesitlerin hasar bölgeleri belirlenir, Tablo 5.8 ve Tablo 5.9.

Tablo 5.9: Kirişler İçin Hasar Bölgeleri

Kiriş Uçları	r	r_{sMN}	r_{sGV}	r_{sGÇ}	Hasar sınırı
Kiriş25 sol uç	2,02	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş25 sağ uç	2,50	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş26 sol uç	2,47	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş26 sağ uç	2,47	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş27 sol uç	2,50	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş27 sağ uç	2,02	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş28 sol uç	2,22	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş28 sağ uç	2,59	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş29 sol uç	2,55	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş29 sağ uç	2,55	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş30 sol uç	2,59	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş30 sağ uç	2,22	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş31 sol uç	1,99	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş31 sağ uç	2,22	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş32 sol uç	2,16	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş32 sağ uç	2,16	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş33 sol uç	2,22	2,00	6,00	8,00	BHB
Kiriş33 sağ uç	1,99	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş34 sol uç	1,55	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş34 sağ uç	1,73	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş35 sol uç	1,67	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş35 sağ uç	1,67	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş36 sol uç	1,73	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş36 sağ uç	1,55	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş37 sol uç	0,95	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş37 sağ uç	1,02	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş38 sol uç	0,99	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş38 sağ uç	0,99	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş39 sol uç	1,02	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş39 sağ uç	0,95	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş40 sol uç	0,31	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş40 sağ uç	0,31	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş41 sol uç	0,37	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş41 sağ uç	0,37	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş42 sol uç	0,31	2,00	6,00	8,00	MHB
Kiriş42 sağ uç	0,31	2,00	6,00	8,00	MHB

Tablo 5.10: Kolonlar İçin Hasar Bölgeleri

Kolon Uçları	r	r _{sMN}	r _{sGV}	r _{sGÇ}	Hasar sınırı
Kolon1 üst uç	1,82	1,25	1,68	2,24	İHB
Kolon1 alt uç	2,51	1,25	2,43	3,24	İHB
Kolon2 üst uç	1,95	1,25	3,26	4,35	BHB
Kolon2 alt uç	2,08	1,25	3,37	4,49	BHB
Kolon3 üst uç	2,24	1,25	4,40	5,87	BHB
Kolon3 alt uç	2,17	1,25	4,34	5,79	BHB
Kolon4 üst uç	1,63	1,25	5,56	7,42	BHB
Kolon4 alt uç	1,46	1,25	5,42	7,23	BHB
Kolon5 üst uç	1,99	2,00	6,00	8,00	MHB
Kolon5 alt uç	1,78	2,00	6,00	8,00	MHB
Kolon6 üst uç	1,01	2,00	6,00	8,00	MHB
Kolon6 alt uç	0,74	2,00	6,00	8,00	MHB
Kolon7 üst uç	1,35	1,25	2,98	3,98	BHB
Kolon7 alt uç	2,63	1,25	2,97	3,96	BHB
Kolon8 üst uç	1,71	1,25	3,99	5,32	BHB
Kolon8 alt uç	1,75	1,25	3,97	5,30	BHB
Kolon9 üst uç	2,37	1,25	3,81	5,08	BHB
Kolon9 alt uç	2,21	1,25	3,79	5,06	BHB
Kolon10 üst uç	1,81	1,25	5,14	6,86	BHB
Kolon10 alt uç	1,64	1,25	5,12	6,83	BHB
Kolon11 üst uç	2,16	1,25	5,38	7,17	BHB
Kolon11 alt uç	1,97	1,25	5,36	7,15	BHB
Kolon12 üst uç	1,01	2,00	6,00	8,00	MHB
Kolon12 alt uç	0,86	2,00	6,00	8,00	MHB
Kolon13 üst uç	1,35	1,25	2,98	3,98	BHB
Kolon13 alt uç	2,63	1,25	2,97	3,96	BHB
Kolon14 üst uç	1,71	1,25	3,99	5,32	BHB
Kolon14 alt uç	1,75	1,25	3,97	5,30	BHB
Kolon15 üst uç	2,37	1,25	3,81	5,08	BHB
Kolon15 alt uç	2,21	1,25	3,79	5,06	BHB
Kolon16 üst uç	1,81	1,25	5,14	6,86	BHB
Kolon16 alt uç	1,64	1,25	5,12	6,83	BHB
Kolon17 üst uç	2,16	1,25	5,38	7,17	BHB
Kolon17 alt uç	1,97	1,25	5,36	7,15	BHB
Kolon18 üst uç	1,01	2,00	6,00	8,00	MHB
Kolon18 alt uç	0,86	2,00	6,00	8,00	MHB
Kolon19 üst uç	1,82	1,25	1,68	2,24	İHB
Kolon19 alt uç	2,51	1,25	2,43	3,24	İHB
Kolon20 üst uç	1,95	1,25	3,26	4,35	BHB
Kolon20 alt uç	2,08	1,25	3,37	4,49	BHB
Kolon21 üst uç	2,24	1,25	4,40	5,87	BHB
Kolon21 alt uç	2,17	1,25	4,34	5,79	BHB
Kolon22 üst uç	1,63	1,25	5,56	7,42	BHB
Kolon22 alt uç	1,46	1,25	5,42	7,23	BHB
Kolon23 üst uç	1,99	2,00	6,00	8,00	MHB
Kolon23 alt uç	1,78	2,00	6,00	8,00	MHB
Kolon24 üst uç	1,01	2,00	6,00	8,00	MHB
Kolon24 alt uç	0,74	2,00	6,00	8,00	MHB

doğrultusundaki birinci titreşim moduna ait etkin modal kütlesi, modal katılım oranı ve tepe noktası genliği değerleri de elde edilir, Tablo 5.10 – Tablo 5.12.

Tablo 5.11: Etkin Modal Kütle (%) Değerleri

Mod	Periyot	UX
1	1.2647	0.7868
2	0.4625	0.1171
3	0.2687	0.0489
4	0.2056	0.0173
5	0.1535	0.0156
6	0.1156	0.0144
7	0.1145	0.0000
8	0.1093	0.0000
9	0.1002	0.0000
10	0.0994	0.0000
11	0.0434	0.0000
12	0.0431	0.0000

Tablo 5.12: Modal Katılım Oranı (%) Değerleri

Mod	Periyot	UX
1	1.2647	55.4154
2	0.4625	-21.3809
3	0.2687	13.8131
4	0.2056	-8.2205
5	0.1535	-7.7926
6	0.1156	7.4880
7	0.1145	0.0000
8	0.1093	0.2108
9	0.1002	0.0000
10	0.0994	0.0623
11	0.0434	0.0000
12	0.0431	-0.0011

Tablo 5.13: Birinci Mod Yatay Yerdeğiştirmeleri

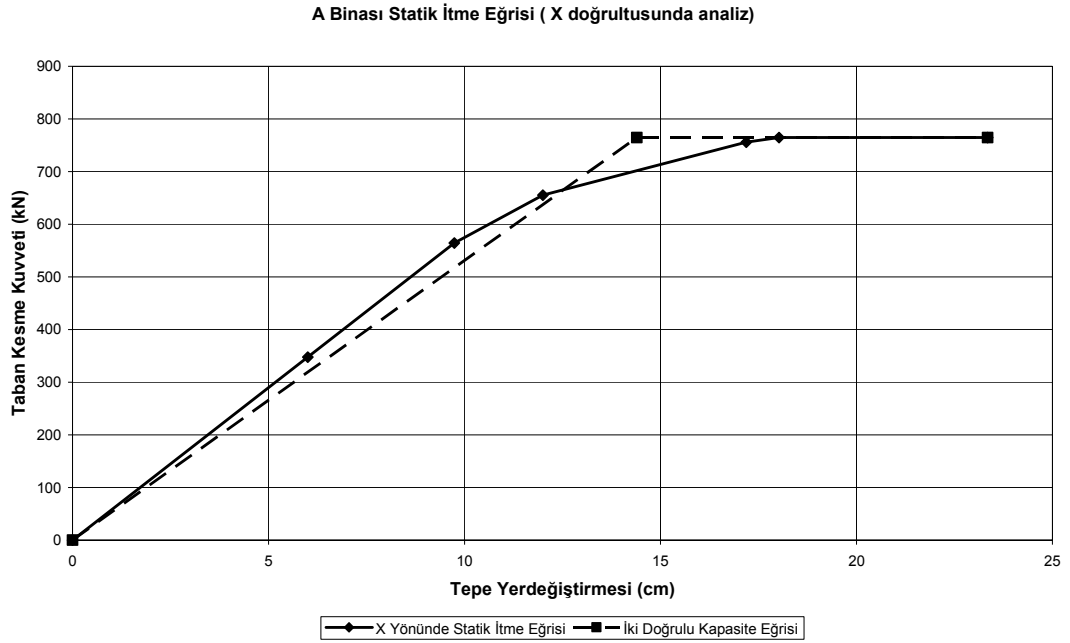
Kat	Mod	UX (m)
Kat 1	1	0.03128
Kat 2	1	0.07593
Kat 3	1	0.12758
Kat 4	1	0.17048
Kat 5	1	0.21633
Kat 6	1	0.23864

c) İtme analizinin her adımı için hesaplanan taban kesme kuvveti – tepe noktası yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 5.13’te verilmiştir. Bu değerlerden yararlanarak statik itme eğrisi (kapasite diyagramı) çizilir.

Tablo 5.14: Taban Kesme Kuvveti-Tepe Noktası Yerdeğiştirmesi Değerleri

Adım	u_n (cm)	V_b (kN)
0	0	0
1	6.000	347.648
2	9.7401	564.352
3	11.9991	655.409
4	17.1884	755.959
5	18.0228	764.622
6	23.3472	764.622

d) Statik itme eğrisi iki doğrulu (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürölür. Bu dönüştürmede, iki doğrulu diyagramın ve statik itme eğrisinin altında kalan alanların yaklaşık olarak birbirlerine eşit olması sağlanır, şekil 5.4.



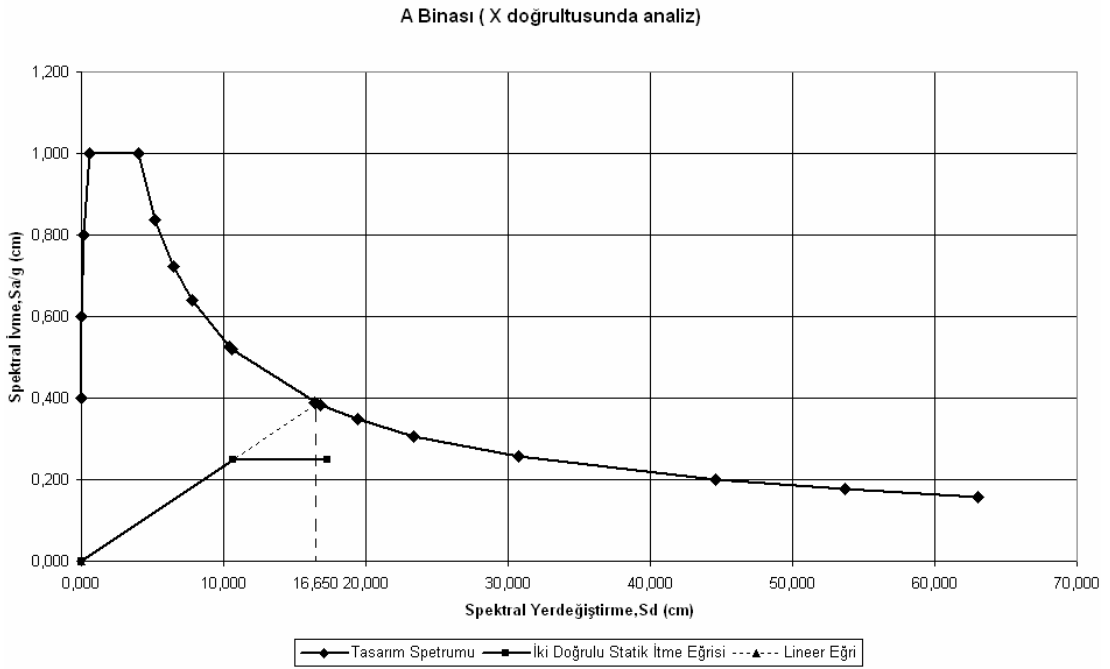
şekil 5.4: Statik İtme Eğrisinin İki Doğrulu Diyagrama Dönüştürölmesi

e) İki doğrulu itme eğrisine koordinat dönüşümü uygulanarak, modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerleri (4.6) ve (4.7) denklemlerinden yararlanarak elde edilir, Tablo 5.14.

Tablo 5.15: Modal Yerdeğiştirme ve Modal İvme Değerleri

Σ Mass	d	a
3893.93	0	0
	0.454	0.113
Γ	0.737	0.184
55.415	0.907	0.213
	1.300	0.246
Φ	1.363	0.249
0.23864	1.765	0.249

f) Bulunan modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerlerinden yararlanarak, eksenleri spektral ivme ve spektral yerdeğiştirme olan diyagram çizilir. Bu diyagramda, birinci derece deprem bölgesi ve Z2 yerel zemin sınıfına ait ivme spektrumu eğrisi de gösterilir. Spektral ivme ve spektral yerdeğiştirme değerlerinin oluşturacağı iki doğrulu diyagramın birinci doğrusunun ivme spektrumu eğrisini kestiği noktanın x eksenine izdüşümü alınarak doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme değeri bulunur, Şekil 5.5.

**Şekil 5.5:** Spektral İvme ve Spektral Yerdeğiştirme Diyagramı

g) Şekil 5.5'teki başlangıç periyodu 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.

h) Modal yerdeğiştirme istemi, eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme değerine eşittir.

i) x deprem doğrultusundaki tepe yatay yerdeğiştirmesi istemi Denklem (4.14)'e göre hesaplanır, Tablo 5.15.

Tablo 5.16: Tepe Noktası Yatay Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi

ω	T_e (s)
4.782	1.314
C_1	C_2
1.000	1.000
R_y	$S_{de}(T_e)$
15.067	0.017
$S_{di}(T_e)$	UX-hedef (m)
0.017	0.227

j) Yapı sistemi bu yatay yerdeğiştirme istemine kadar itilir. Bu itme sonucunda sistemde oluşan plastik dönme değerleri elde edilir.

k) İtme analizi sonucunda tüm plastik kesitlerde elde edilen plastik mafsall dönmeleri, ilgili sınır değerler ile karşılaştırılarak kesitlerin hasar bölgeleri belirlenir, Tablo 5.16 ve Tablo 5.17.

Tablo 5.17: Kirişlerin Deprem Hasar Bölgeleri

Kiriş Uçları	Mafsal Numaraları	Φ_{plastik} (radyan)	Hasar Bölgesi
Kiriş25 sol uç	25H1	0.000000	MHB
Kiriş25 sağ uç	25H2	-0.006738	BHB
Kiriş26 sol uç	26H1	0.000000	MHB
Kiriş26 sağ uç	26H2	-0.006815	BHB
Kiriş27 sol uç	27H1	0.000000	MHB
Kiriş27 sağ uç	27H2	0.000000	MHB
Kiriş28 sol uç	28H1	0.000000	MHB
Kiriş28 sağ uç	28H2	-0.006155	BHB
Kiriş29 sol uç	29H1	0.000000	MHB
Kiriş29 sağ uç	29H2	-0.005619	MHB
Kiriş30 sol uç	30H1	0.000000	MHB
Kiriş30 sağ uç	30H2	-0.005369	MHB
Kiriş31 sol uç	31H1	0.000000	MHB
Kiriş31 sağ uç	31H2	-0.001254	MHB
Kiriş32 sol uç	32H1	0.000000	MHB
Kiriş32 sağ uç	32H2	-0.000088	MHB
Kiriş33 sol uç	33H1	0.000000	MHB
Kiriş33 sağ uç	33H2	0.000000	MHB
Kiriş34 sol uç	34H1	0.000000	MHB
Kiriş34 sağ uç	34H2	0.000000	MHB
Kiriş35 sol uç	35H1	0.000000	MHB
Kiriş35 sağ uç	35H2	0.000000	MHB
Kiriş36 sol uç	36H1	0.000000	MHB
Kiriş36 sağ uç	36H2	0.000000	MHB
Kiriş37 sol uç	37H1	0.000000	MHB
Kiriş37 sağ uç	37H2	0.000000	MHB
Kiriş38 sol uç	38H1	0.000000	MHB
Kiriş38 sağ uç	38H2	0.000000	MHB
Kiriş39 sol uç	39H1	0.000000	MHB
Kiriş39 sağ uç	39H2	0.000000	MHB
Kiriş40 sol uç	40H1	0.000000	MHB
Kiriş40 sağ uç	40H2	0.000000	MHB
Kiriş41 sol uç	41H1	0.000000	MHB
Kiriş41 sağ uç	41H2	0.000000	MHB
Kiriş42 sol uç	42H1	0.000000	MHB
Kiriş42 sağ uç	42H2	0.000000	MHB

Tablo 5.18: Kolonların Deprem Hasar Bölgeleri

Kolon Uçları	Mafsal Numaraları	Φ_{plastik} (radyan)	Hasar Bölgesi
Kolon1 alt uç	1H2	0.000000	MHB
Kolon1 üst uç	1H1	0.004462	BHB
Kolon2 alt uç	2H2	0.000000	MHB
Kolon2 üst uç	2H1	0.000000	MHB
Kolon3 alt uç	3H2	-0.017472	BHB
Kolon3 üst uç	3H1	0.015591	BHB
Kolon4 alt uç	4H2	0.000000	MHB
Kolon4 üst uç	4H1	0.000000	MHB
Kolon5 alt uç	5H2	0.000000	MHB
Kolon5 üst uç	5H1	0.000000	MHB
Kolon6 alt uç	6H2	0.000000	MHB
Kolon6 üst uç	6H1	0.000000	MHB
Kolon7 alt uç	7H2	0.000000	MHB
Kolon7 üst uç	7H1	0.007819	BHB
Kolon8 alt uç	8H2	0.000000	MHB
Kolon8 üst uç	8H1	0.000000	MHB
Kolon9 alt uç	9H2	-0.023277	BHB
Kolon9 üst uç	9H1	0.019496	İHB
Kolon10 alt uç	10H2	0.000000	MHB
Kolon10 üst uç	10H1	0.000000	MHB
Kolon11 alt uç	11H2	-0.001988	MHB
Kolon11 üst uç	11H1	0.000240	MHB
Kolon12 alt uç	12H2	0.000000	MHB
Kolon12 üst uç	12H1	0.000000	MHB
Kolon13 alt uç	13H2	0.000000	MHB
Kolon13 üst uç	13H1	0.007868	BHB
Kolon14 alt uç	14H2	0.000000	MHB
Kolon14 üst uç	14H1	0.000000	MHB
Kolon15 alt uç	15H2	-0.023087	BHB
Kolon15 üst uç	15H1	0.019490	İHB
Kolon16 alt uç	16H2	0.000000	MHB
Kolon16 üst uç	16H1	0.000000	MHB
Kolon17 alt uç	17H2	-0.001464	MHB
Kolon17 üst uç	17H1	0.000000	MHB
Kolon18 alt uç	18H2	0.000000	MHB
Kolon18 üst uç	18H1	0.000000	MHB
Kolon19 alt uç	19H2	-0.006195	BHB
Kolon19 üst uç	19H1	0.007538	BHB
Kolon20 alt uç	20H2	0.000000	MHB
Kolon20 üst uç	20H1	0.005498	MHB
Kolon21 alt uç	21H2	-0.022891	BHB
Kolon21 üst uç	21H1	0.018870	BHB
Kolon22 alt uç	22H2	0.000000	MHB
Kolon22 üst uç	22H1	0.000000	MHB
Kolon23 alt uç	23H2	-0.001120	MHB
Kolon23 üst uç	23H1	0.000000	MHB
Kolon24 sol uç	24H2	0.000000	MHB
Kolon24 sağ uç	24H1	0.000000	MHB

5.4.5 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Sistemin kiriş ve kolon uç noktaları için, yukarıda açıklanan her iki yöntem ile belirlenen hasar bölgeleri Tablo 5.18 ve Tablo 5.19 üzerinde karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada, (✓) işareti her iki yöntemle aynı hasar bölgelerinin elde edildiğini, (×) işareti ise elde edilen hasar bölgelerinin farklı olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.19: Kirişlerin Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Kiriş Uçları	Mafsal Numaraları	Doğrusal Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Doğrusal Olmayan Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Karşılaştırma
Kiriş25 sol uç	25H1	BHB	MHB	X
Kiriş25 sağ uç	25H2	BHB	BHB	✓
Kiriş26 sol uç	26H1	BHB	MHB	X
Kiriş26 sağ uç	26H2	BHB	BHB	✓
Kiriş27 sol uç	27H1	BHB	MHB	X
Kiriş27 sağ uç	27H2	BHB	MHB	X
Kiriş28 sol uç	28H1	BHB	MHB	X
Kiriş28 sağ uç	28H2	BHB	BHB	✓
Kiriş29 sol uç	29H1	BHB	MHB	X
Kiriş29 sağ uç	29H2	BHB	MHB	X
Kiriş30 sol uç	30H1	BHB	MHB	X
Kiriş30 sağ uç	30H2	BHB	MHB	X
Kiriş31 sol uç	31H1	MHB	MHB	✓
Kiriş31 sağ uç	31H2	BHB	MHB	X
Kiriş32 sol uç	32H1	BHB	MHB	X
Kiriş32 sağ uç	32H2	BHB	MHB	X
Kiriş33 sol uç	33H1	BHB	MHB	X
Kiriş33 sağ uç	33H2	MHB	MHB	✓
Kiriş34 sol uç	34H1	MHB	MHB	✓
Kiriş34 sağ uç	34H2	MHB	MHB	✓
Kiriş35 sol uç	35H1	MHB	MHB	✓
Kiriş35 sağ uç	35H2	MHB	MHB	✓
Kiriş36 sol uç	36H1	MHB	MHB	✓
Kiriş36 sağ uç	36H2	MHB	MHB	✓
Kiriş37 sol uç	37H1	MHB	MHB	✓
Kiriş37 sağ uç	37H2	MHB	MHB	✓
Kiriş38 sol uç	38H1	MHB	MHB	✓
Kiriş38 sağ uç	38H2	MHB	MHB	✓
Kiriş39 sol uç	39H1	MHB	MHB	✓
Kiriş39 sağ uç	39H2	MHB	MHB	✓
Kiriş40 sol uç	40H1	MHB	MHB	✓
Kiriş40 sağ uç	40H2	MHB	MHB	✓
Kiriş41 sol uç	41H1	MHB	MHB	✓
Kiriş41 sağ uç	41H2	MHB	MHB	✓
Kiriş42 sol uç	42H1	MHB	MHB	✓
Kiriş42 sağ uç	42H2	MHB	MHB	✓

Tablo 5.20: Kolonların Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Kolon Uçları	Mafsal Numaraları	Doğrusal Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Doğrusal Olmayan Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Karşılaştırma
Kolon1 üst uç	1H2	İHB	MHB	X
Kolon1 alt uç	1H1	İHB	BHB	X
Kolon2 üst uç	2H2	BHB	MHB	X
Kolon2 alt uç	2H1	BHB	MHB	X
Kolon3 üst uç	3H2	BHB	BHB	√
Kolon3 alt uç	3H1	BHB	BHB	√
Kolon4 üst uç	4H2	BHB	MHB	X
Kolon4 alt uç	4H1	BHB	MHB	X
Kolon5 üst uç	5H2	MHB	MHB	√
Kolon5 alt uç	5H1	MHB	MHB	√
Kolon6 üst uç	6H2	MHB	MHB	√
Kolon6 alt uç	6H1	MHB	MHB	√
Kolon7 üst uç	7H2	BHB	MHB	X
Kolon7 alt uç	7H1	BHB	BHB	√
Kolon8 üst uç	8H2	BHB	MHB	X
Kolon8 alt uç	8H1	BHB	MHB	X
Kolon9 üst uç	9H2	BHB	BHB	√
Kolon9 alt uç	9H1	BHB	İHB	X
Kolon10 üst uç	10H2	BHB	MHB	X
Kolon10 alt uç	10H1	BHB	MHB	X
Kolon11 üst uç	11H2	BHB	MHB	X
Kolon11 alt uç	11H1	BHB	MHB	X
Kolon12 üst uç	12H2	MHB	MHB	√
Kolon12 alt uç	12H1	MHB	MHB	√
Kolon13 üst uç	13H2	BHB	MHB	X
Kolon13 alt uç	13H1	BHB	BHB	√
Kolon14 üst uç	14H2	BHB	MHB	X
Kolon14 alt uç	14H1	BHB	MHB	X
Kolon15 üst uç	15H2	BHB	BHB	√
Kolon15 alt uç	15H1	BHB	İHB	X
Kolon16 üst uç	16H2	BHB	MHB	X
Kolon16 alt uç	16H1	BHB	MHB	X
Kolon17 üst uç	17H2	BHB	MHB	X
Kolon17 alt uç	17H1	BHB	MHB	X
Kolon18 üst uç	18H2	MHB	MHB	√
Kolon18 alt uç	18H1	MHB	MHB	√
Kolon19 üst uç	19H2	İHB	BHB	X
Kolon19 alt uç	19H1	İHB	BHB	X
Kolon20 üst uç	20H2	BHB	MHB	X
Kolon20 alt uç	20H1	BHB	MHB	X
Kolon21 üst uç	21H2	BHB	BHB	√
Kolon21 alt uç	21H1	BHB	BHB	√
Kolon22 üst uç	22H2	BHB	MHB	X
Kolon22 alt uç	22H1	BHB	MHB	X
Kolon23 üst uç	23H2	MHB	MHB	√
Kolon23 alt uç	23H1	MHB	MHB	√
Kolon24 üst uç	24H2	MHB	MHB	√
Kolon24 alt uç	24H1	MHB	MHB	√

5.5 TSM-2 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırma

Sayısal incelemeler için seçilen TSM-2 taşıyıcı sistem modeli, üç açıklıklı ve altı katlı düzlem çerçeve sistem olup, kiriş açıklıkları 6.0 m, kat yükseklikleri 3.0 m olarak seçilmiştir. Planda çerçeve aralıkları 6.0 m'dir.

TSM-2 taşıyıcı sistem modeli, 1998 Türk Deprem Yönetmeliği esaslarına ve TS-648 çelik yapılar standardına uygun olarak, Bölüm 5.2'de açıklanan şekilde boyutlandırılmıştır. Kiriş ve kolonların enkesit profillerinin seçiminde, kiriş enkesitlerinin FEMA 356 Östandardı'nda kompakt kesitler için verilen enkesit sınırlarını sağlaması, buna karşılık kolon enkesitlerinin bu sınırlar dışında kalması öngörülmüş, böylece plastik mafsal dönmelerine bağlı olarak tanımlanan hasar bölgelerini veren ilgili tabloların geniş oranda taranması amaçlanmıştır.

Düşey yükler ve deprem kuvvetlerinin ortak etkisi altında yapılan analiz ve boyutlandırma hesapları sonucunda elde edilen kiriş ve kolon enkesit profilleri ile gerilme oranları sırasıyla Tablo 5.20 ve Tablo 5.21'de verilmiştir. Boyutlandırmada, yapı çeliği sınıfı Fe37 (akma dayanımı $\sigma_a = 235 \text{ N/mm}^2$) olarak seçilmiş ve gerilme oranlarının sınır değerleri 1.33 olarak alınmıştır.

Tablo 5.21: TSM-2 İçin Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

		<i>1. kat kenar kirişler</i>	<i>1. kat orta kirişler</i>	<i>2. kat kenar kirişler</i>	<i>2. kat orta kirişler</i>	<i>3. kat kenar kirişler</i>	<i>3. kat orta kirişler</i>
Z2 Zemin Grubu	R=5	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450
		1.230	1.213	1.299	1.296	1.226	1.225
		<i>4. kat kenar kirişler</i>	<i>4. kat orta kirişler</i>	<i>5. kat kenar kirişler</i>	<i>5. kat orta kirişler</i>	<i>6. kat kenar kirişler</i>	<i>6. kat orta kirişler</i>
		IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450
		1.101	1.110	0,927	1,057	0.699	0.910

Tablo 5.22: TSM-2 İçin Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

		<i>1. kat dış kolonlar</i>	<i>2. kat dış kolonlar</i>	<i>3. kat dış kolonlar</i>	<i>4. kat dış kolonlar</i>	<i>5. kat dış kolonlar</i>	<i>6. kat dış kolonlar</i>
Z2 Zemin Grubu	R=5	HEAA-440	HEAA-440	HEAA-320	HEAA-320	HEAA-260	HEAA-260
		1.210	1.105	1.254	1.077	1.214	0.909
		<i>1. kat iç kolonlar</i>	<i>2. kat iç kolonlar</i>	<i>3. kat iç kolonlar</i>	<i>4. kat iç kolonlar</i>	<i>5. kat iç kolonlar</i>	<i>6. kat iç kolonlar</i>
		HEAA-550	HEAA-550	HEAA-400	HEAA-400	HEAA-280	HEAA-280
		1.330	1.063	1.233	0,982	1.155	0.615

5.5.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Sistemin kiriş ve kolon uç noktaları için, yukarıdaki bölümlerde açıklanan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile belirlenen hasar bölgeleri Tablo 5.22 ve Tablo 5.23 üzerinde karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.23: TSM-2 Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Kiriş Uçları	Mafsal Numaraları	Doğrusal Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Doğrusal Olmayan Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Karşılaştırma
Kiriş25 sol uç	25H1	BHB	MHB	X
Kiriş25 sağ uç	25H2	BHB	BHB	√
Kiriş26 sol uç	26H1	BHB	MHB	X
Kiriş26 sağ uç	26H2	BHB	BHB	√
Kiriş27 sol uç	27H1	BHB	MHB	X
Kiriş27 sağ uç	27H2	BHB	BHB	√
Kiriş28 sol uç	28H1	BHB	MHB	X
Kiriş28 sağ uç	28H2	BHB	BHB	√
Kiriş29 sol uç	29H1	BHB	MHB	X
Kiriş29 sağ uç	29H2	BHB	BHB	√
Kiriş30 sol uç	30H1	BHB	MHB	X
Kiriş30 sağ uç	30H2	BHB	BHB	√
Kiriş31 sol uç	31H1	BHB	MHB	X
Kiriş31 sağ uç	31H2	BHB	MHB	X
Kiriş32 sol uç	32H1	BHB	MHB	X
Kiriş32 sağ uç	32H2	BHB	MHB	X
Kiriş33 sol uç	33H1	BHB	MHB	X
Kiriş33 sağ uç	33H2	BHB	MHB	X
Kiriş34 sol uç	34H1	MHB	MHB	√
Kiriş34 sağ uç	34H2	MHB	MHB	√
Kiriş35 sol uç	35H1	MHB	MHB	√
Kiriş35 sağ uç	35H2	MHB	MHB	√
Kiriş36 sol uç	36H1	MHB	MHB	√
Kiriş36 sağ uç	36H2	MHB	MHB	√
Kiriş37 sol uç	37H1	MHB	MHB	√
Kiriş37 sağ uç	37H2	MHB	MHB	√
Kiriş38 sol uç	38H1	MHB	MHB	√
Kiriş38 sağ uç	38H2	MHB	MHB	√
Kiriş39 sol uç	39H1	MHB	MHB	√
Kiriş39 sağ uç	39H2	MHB	MHB	√
Kiriş40 sol uç	40H1	MHB	MHB	√
Kiriş40 sağ uç	40H2	MHB	MHB	√
Kiriş41 sol uç	41H1	MHB	MHB	√
Kiriş41 sağ uç	41H2	MHB	MHB	√
Kiriş42 sol uç	42H1	MHB	MHB	√
Kiriş42 sağ uç	42H2	MHB	MHB	√

Tablo 5.24: TSM-2 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Kolon Uçları	Mafsal Numaraları	Doğrusal Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Doğrusal Olmayan Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Karşılaştırma
Kolon1 üst uç	1H2	MHB	BHB	X
Kolon1 alt uç	1H1	GB	GB	√
Kolon2 üst uç	2H2	GB	MHB	X
Kolon2 alt uç	2H1	GB	MHB	X
Kolon3 üst uç	3H2	GB	MHB	X
Kolon3 alt uç	3H1	GB	MHB	X
Kolon4 üst uç	4H2	GB	MHB	X
Kolon4 alt uç	4H1	İHB	MHB	X
Kolon5 üst uç	5H2	GB	MHB	X
Kolon5 alt uç	5H1	İHB	MHB	X
Kolon6 üst uç	6H2	MHB	MHB	√
Kolon6 alt uç	6H1	MHB	MHB	√
Kolon7 üst uç	7H2	MHB	BHB	X
Kolon7 alt uç	7H1	GB	GB	√
Kolon8 üst uç	8H2	BHB	MHB	X
Kolon8 alt uç	8H1	BHB	MHB	X
Kolon9 üst uç	9H2	GB	BHB	X
Kolon9 alt uç	9H1	GB	MHB	X
Kolon10 üst uç	10H2	GB	MHB	X
Kolon10 alt uç	10H1	GB	MHB	X
Kolon11 üst uç	11H2	GB	MHB	X
Kolon11 alt uç	11H1	GB	MHB	X
Kolon12 üst uç	12H2	MHB	MHB	√
Kolon12 alt uç	12H1	MHB	MHB	√
Kolon13 üst uç	13H2	MHB	BHB	X
Kolon13 alt uç	13H1	GB	GB	√
Kolon14 üst uç	14H2	BHB	MHB	X
Kolon14 alt uç	14H1	BHB	MHB	X
Kolon15 üst uç	15H2	GB	BHB	X
Kolon15 alt uç	15H1	GB	MHB	X
Kolon16 üst uç	16H2	GB	MHB	X
Kolon16 alt uç	16H1	GB	MHB	X
Kolon17 üst uç	17H2	GB	MHB	X
Kolon17 alt uç	17H1	GB	MHB	X
Kolon18 üst uç	18H2	MHB	MHB	√
Kolon18 alt uç	18H1	MHB	MHB	√
Kolon19 üst uç	19H2	MHB	GB	X
Kolon19 alt uç	19H1	GB	GB	√
Kolon20 üst uç	20H2	GB	MHB	X
Kolon20 alt uç	20H1	GB	MHB	X
Kolon21 üst uç	21H2	GB	BHB	X
Kolon21 alt uç	21H1	GB	MHB	X
Kolon22 üst uç	22H2	GB	MHB	X
Kolon22 alt uç	22H1	İHB	MHB	X
Kolon23 üst uç	23H2	GB	MHB	X
Kolon23 alt uç	23H1	İHB	MHB	X
Kolon24 üst uç	24H2	MHB	MHB	√
Kolon24 alt uç	24H1	MHB	MHB	√

5.6 TSM-3 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırma

Sayısal incelemeler için seçilen TSM-3 taşıyıcı sistem modeli, üç açıklıklı ve altı katlı düzlem çerçeve sistem olup, kiriş açıklıkları 6.0 m, kat yükseklikleri 3.0 m olarak seçilmiştir. Planda çerçeve aralıkları 6.0 m'dir.

TSM-3 taşıyıcı sistem modeli, 1998 Türk Deprem Yönetmeliği esaslarına ve TS-648 çelik yapılar standardına uygun olarak, Bölüm 5.2'de açıklanan şekilde boyutlandırılmıştır. Kiriş ve kolonların enkesit profillerinin seçiminde, kolon enkesitlerinin FEMA 356 Östandardı'nda kompakt kesitler için verilen enkesit sınırlarını sağlaması, buna karşılık kiriş enkesitlerinin bu sınırlar dışında kalması öngörülmüştür.

Düşey yükler ve deprem kuvvetlerinin ortak etkisi altında yapılan analiz ve boyutlandırma hesapları sonucunda elde edilen kolon ve kiriş enkesit profilleri ile gerilme oranları sırasıyla Tablo 5.24 ve Tablo 5.25'te verilmiştir. Boyutlandırmada, yapı çeliği sınıfı Fe37 (akma dayanımı $\sigma_a = 235 \text{ N/mm}^2$) olarak seçilmiş ve gerilme oranlarının sınır değerleri 1.33 olarak alınmıştır.

Tablo 5.25: TSM-3 İçin Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

Z2 Zemin Grubu	R=5	<i>1. kat kenar kirişler</i>	<i>1. kat orta kirişler</i>	<i>2. kat kenar kirişler</i>	<i>2. kat orta kirişler</i>	<i>3. kat kenar kirişler</i>	<i>3. kat orta kirişler</i>
		HEAA-400	HEAA-400	HEAA-400	HEAA-400	HEAA-360	HEAA-360
		1.120	1.084	1.149	1.116	1.261	1.219
		<i>4. kat kenar kirişler</i>	<i>4. kat orta kirişler</i>	<i>5. kat kenar kirişler</i>	<i>5. kat orta kirişler</i>	<i>6. kat kenar kirişler</i>	<i>6. kat orta kirişler</i>
		HEAA-360	HEAA-360	HEAA-320	HEAA-320	HEAA-320	HEAA-320
		1.160	1.116	1.207	1.141	0.909	0.859

Tablo 5.26: TSM-3 İçin Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

		<i>1. kat dış kolonlar</i>	<i>2. kat dış kolonlar</i>	<i>3. kat dış kolonlar</i>	<i>4. kat dış kolonlar</i>	<i>5. kat dış kolonlar</i>	<i>6. kat dış kolonlar</i>
Z2 Zemin Grubu	R=5	HEB-260	HEB-260	HEB-240	HEB-240	HEB-200	HEB-200
		1.258	1.203	1.220	1.046	1.258	1.094
		<i>1. kat iç kolonlar</i>	<i>2. kat iç kolonlar</i>	<i>3. kat iç kolonlar</i>	<i>4. kat iç kolonlar</i>	<i>5. kat iç kolonlar</i>	<i>6. kat iç kolonlar</i>
		HEB-340	HEB-340	HEB-280	HEB-280	HEB-220	HEB-220
		1.282	1.019	1.179	0.944	1.111	0.639

5.6.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Sistemin giriş ve kolon uç noktaları için, yukarıdaki bölümlerde açıklanan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile belirlenen hasar bölgeleri Tablo 5.26 ve Tablo 5.27 üzerinde karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.27: TSM-3 Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Kiriş Uçları	Mafsal Numaraları	Doğrusal Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Doğrusal Olmayan Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Karşılaştırma
Kiriş25 sol uç	25H1	BHB	MHB	X
Kiriş25 sağ uç	25H2	İHB	BHB	X
Kiriş26 sol uç	26H1	İHB	MHB	X
Kiriş26 sağ uç	26H2	İHB	BHB	X
Kiriş27 sol uç	27H1	İHB	MHB	X
Kiriş27 sağ uç	27H2	BHB	MHB	X
Kiriş28 sol uç	28H1	BHB	MHB	X
Kiriş28 sağ uç	28H2	İHB	BHB	X
Kiriş29 sol uç	29H1	İHB	MHB	X
Kiriş29 sağ uç	29H2	İHB	BHB	X
Kiriş30 sol uç	30H1	İHB	MHB	X
Kiriş30 sağ uç	30H2	BHB	MHB	X
Kiriş31 sol uç	31H1	İHB	MHB	X
Kiriş31 sağ uç	31H2	İHB	BHB	X
Kiriş32 sol uç	32H1	İHB	MHB	X
Kiriş32 sağ uç	32H2	İHB	BHB	X
Kiriş33 sol uç	33H1	İHB	MHB	X
Kiriş33 sağ uç	33H2	İHB	BHB	X
Kiriş34 sol uç	34H1	BHB	MHB	X
Kiriş34 sağ uç	34H2	İHB	BHB	X
Kiriş35 sol uç	35H1	BHB	MHB	X
Kiriş35 sağ uç	35H2	BHB	BHB	√
Kiriş36 sol uç	36H1	İHB	MHB	X
Kiriş36 sağ uç	36H2	BHB	MHB	X
Kiriş37 sol uç	37H1	BHB	MHB	X
Kiriş37 sağ uç	37H2	BHB	MHB	X
Kiriş38 sol uç	38H1	BHB	MHB	X
Kiriş38 sağ uç	38H2	BHB	MHB	X
Kiriş39 sol uç	39H1	BHB	MHB	X
Kiriş39 sağ uç	39H2	BHB	MHB	X
Kiriş40 sol uç	40H1	MHB	MHB	√
Kiriş40 sağ uç	40H2	MHB	MHB	√
Kiriş41 sol uç	41H1	MHB	MHB	√
Kiriş41 sağ uç	41H2	MHB	MHB	√
Kiriş42 sol uç	42H1	MHB	MHB	√
Kiriş42 sağ uç	42H2	MHB	MHB	√

Tablo 5.28: TSM-3 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Kolon Uçları	Mafsal Numaraları	Doğrusal Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Doğrusal Olmayan Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Karşılaştırma
Kolon1 üst uç	1H2	İHB	MHB	X
Kolon1 alt uç	1H1	BHB	BHB	√
Kolon2 üst uç	2H2	BHB	MHB	X
Kolon2 alt uç	2H1	BHB	MHB	X
Kolon3 üst uç	3H2	BHB	BHB	√
Kolon3 alt uç	3H1	BHB	BHB	√
Kolon4 üst uç	4H2	BHB	MHB	X
Kolon4 alt uç	4H1	BHB	MHB	X
Kolon5 üst uç	5H2	MHB	MHB	√
Kolon5 alt uç	5H1	MHB	MHB	√
Kolon6 üst uç	6H2	MHB	MHB	√
Kolon6 alt uç	6H1	MHB	MHB	√
Kolon7 üst uç	7H2	MHB	MHB	√
Kolon7 alt uç	7H1	BHB	BHB	√
Kolon8 üst uç	8H2	BHB	MHB	X
Kolon8 alt uç	8H1	BHB	MHB	X
Kolon9 üst uç	9H2	BHB	BHB	√
Kolon9 alt uç	9H1	BHB	BHB	√
Kolon10 üst uç	10H2	BHB	MHB	X
Kolon10 alt uç	10H1	BHB	MHB	X
Kolon11 üst uç	11H2	BHB	BHB	√
Kolon11 alt uç	11H1	BHB	MHB	X
Kolon12 üst uç	12H2	MHB	MHB	√
Kolon12 alt uç	12H1	MHB	MHB	√
Kolon13 üst uç	13H2	MHB	MHB	√
Kolon13 alt uç	13H1	BHB	BHB	√
Kolon14 üst uç	14H2	BHB	MHB	X
Kolon14 alt uç	14H1	BHB	MHB	X
Kolon15 üst uç	15H2	BHB	BHB	√
Kolon15 alt uç	15H1	BHB	BHB	√
Kolon16 üst uç	16H2	BHB	MHB	X
Kolon16 alt uç	16H1	BHB	MHB	X
Kolon17 üst uç	17H2	BHB	BHB	√
Kolon17 alt uç	17H1	BHB	MHB	X
Kolon18 üst uç	18H2	MHB	MHB	√
Kolon18 alt uç	18H1	MHB	MHB	√
Kolon19 üst uç	19H2	İHB	BHB	X
Kolon19 alt uç	19H1	BHB	BHB	√
Kolon20 üst uç	20H2	BHB	MHB	X
Kolon20 alt uç	20H1	BHB	MHB	X
Kolon21 üst uç	21H2	BHB	BHB	√
Kolon21 alt uç	21H1	BHB	BHB	√
Kolon22 üst uç	22H2	BHB	MHB	X
Kolon22 alt uç	22H1	BHB	MHB	X
Kolon23 üst uç	23H2	MHB	MHB	√
Kolon23 alt uç	23H1	MHB	MHB	√
Kolon24 üst uç	24H2	MHB	MHB	√
Kolon24 alt uç	24H1	MHB	MHB	√

5.7 TSM-4 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırma

Sayısal incelemeler için seçilen TSM-4 taşıyıcı sistem modeli, üç açıklıklı ve altı katlı düzlem çerçeve sistem olup, kiriş açıklıkları 6.0 m, kat yükseklikleri 3.0 m olarak seçilmiştir. Planda çerçeve aralıkları 6.0 m'dir.

TSM-4 taşıyıcı sistem modeli, 1975 Türk Deprem Yönetmeliği esaslarına ve TS-648 çelik yapılar standardına uygun olarak, Bölüm 5.2'de açıklanan şekilde boyutlandırılmıştır. Kiriş ve kolonların enkesit profillerinin seçiminde, tüm enkesitlerin FEMA 356 Östandardı'nda kompakt kesitler için verilen enkesit sınırlarını sağlaması öngörülmüştür.

Düşey yükler ve deprem kuvvetlerinin ortak etkisi altında yapılan analiz ve boyutlandırma hesapları sonucunda elde edilen kolon ve kiriş enkesit profilleri ile gerilme oranları sırasıyla Tablo 5.28 ve Tablo 5.29'da verilmiştir. Boyutlandırmada, yapı çeliği sınıfı Fe37 (akma dayanımı $\sigma_a = 235 \text{ N/mm}^2$) olarak seçilmiş ve gerilme oranlarının sınır değerleri 1.33 olarak alınmıştır.

Tablo 5.29: TSM-4 İçin Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

		<i>1. kat kenar kirişler</i>	<i>1. kat orta kirişler</i>	<i>2. kat kenar kirişler</i>	<i>2. kat orta kirişler</i>	<i>3. kat kenar kirişler</i>	<i>3. kat orta kirişler</i>
Z2 Zemin Grubu	R=5	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450
		1.120	1.110	1.121	1.108	1.041	1.084
		<i>4. kat kenar kirişler</i>	<i>4. kat orta kirişler</i>	<i>5. kat kenar kirişler</i>	<i>5. kat orta kirişler</i>	<i>6. kat kenar kirişler</i>	<i>6. kat orta kirişler</i>
		IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450
		0.950	1.064	0.891	1.048	0.680	0.916

Tablo 5.30: TSM-4 İçin Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

		<i>1. kat dış kolonlar</i>	<i>2. kat dış kolonlar</i>	<i>3. kat dış kolonlar</i>	<i>4. kat dış kolonlar</i>	<i>5. kat dış kolonlar</i>	<i>6. kat dış kolonlar</i>
Z2 Zemin Grubu	R=5	HEB-260	HEB-260	HEB-240	HEB-240	HEB-200	HEB-200
		1.142	1.101	1.114	0.947	1.142	0.883
		<i>1. kat iç kolonlar</i>	<i>2. kat iç kolonlar</i>	<i>3. kat iç kolonlar</i>	<i>4. kat iç kolonlar</i>	<i>5. kat iç kolonlar</i>	<i>6. kat iç kolonlar</i>
		HEB-320	HEB-320	HEB-260	HEB-260	HEB-200	HEB-200
		1.232	1.009	1.219	0.916	1.156	0.583

5.7.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Sistemin kiriş ve kolon uç noktaları için, yukarıdaki bölümlerde açıklanan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile belirlenen hasar bölgeleri Tablo 5.30 ve Tablo 5.31 üzerinde karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.31: TSM-4 Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Kiriş Uçları	Mafsal Numaraları	Doğrusal Yönteme Göre Performans Değerleri	Doğrusal Olmayan Yönteme Göre Performans Değerleri	Karşılaştırma
Kiriş25 sol uç	25H1	BHB	MHB	X
Kiriş25 sağ uç	25H2	BHB	MHB	X
Kiriş26 sol uç	26H1	BHB	MHB	X
Kiriş26 sağ uç	26H2	BHB	MHB	X
Kiriş27 sol uç	27H1	BHB	MHB	X
Kiriş27 sağ uç	27H2	BHB	MHB	X
Kiriş28 sol uç	28H1	BHB	MHB	X
Kiriş28 sağ uç	28H2	BHB	MHB	X
Kiriş29 sol uç	29H1	BHB	MHB	X
Kiriş29 sağ uç	29H2	BHB	MHB	X
Kiriş30 sol uç	30H1	BHB	MHB	X
Kiriş30 sağ uç	30H2	BHB	MHB	X
Kiriş31 sol uç	31H1	BHB	MHB	X
Kiriş31 sağ uç	31H2	BHB	MHB	X
Kiriş32 sol uç	32H1	MHB	MHB	√
Kiriş32 sağ uç	32H2	MHB	MHB	√
Kiriş33 sol uç	33H1	BHB	MHB	X
Kiriş33 sağ uç	33H2	BHB	MHB	X
Kiriş34 sol uç	34H1	MHB	MHB	√
Kiriş34 sağ uç	34H2	MHB	MHB	√
Kiriş35 sol uç	35H1	MHB	MHB	√
Kiriş35 sağ uç	35H2	MHB	MHB	√
Kiriş36 sol uç	36H1	MHB	MHB	√
Kiriş36 sağ uç	36H2	MHB	MHB	√
Kiriş37 sol uç	37H1	MHB	MHB	√
Kiriş37 sağ uç	37H2	MHB	MHB	√
Kiriş38 sol uç	38H1	MHB	MHB	√
Kiriş38 sağ uç	38H2	MHB	MHB	√
Kiriş39 sol uç	39H1	MHB	MHB	√
Kiriş39 sağ uç	39H2	MHB	MHB	√
Kiriş40 sol uç	40H1	MHB	MHB	√
Kiriş40 sağ uç	40H2	MHB	MHB	√
Kiriş41 sol uç	41H1	MHB	MHB	√
Kiriş41 sağ uç	41H2	MHB	MHB	√
Kiriş42 sol uç	42H1	MHB	MHB	√
Kiriş42 sağ uç	42H2	MHB	MHB	√

Tablo 5.32: TSM-4 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Kolon Uçları	Mafsal Numaraları	Doğrusal Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Doğrusal Olmayan Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Karşılaştırma
Kolon1 üst uç	1H2	İHB	MHB	X
Kolon1 alt uç	1H1	İHB	MHB	X
Kolon2 üst uç	2H2	BHB	MHB	X
Kolon2 alt uç	2H1	BHB	MHB	X
Kolon3 üst uç	3H2	BHB	BHB	√
Kolon3 alt uç	3H1	BHB	BHB	√
Kolon4 üst uç	4H2	BHB	MHB	X
Kolon4 alt uç	4H1	BHB	MHB	X
Kolon5 üst uç	5H2	BHB	MHB	X
Kolon5 alt uç	5H1	MHB	MHB	√
Kolon6 üst uç	6H2	MHB	MHB	√
Kolon6 alt uç	6H1	MHB	MHB	√
Kolon7 üst uç	7H2	BHB	MHB	X
Kolon7 alt uç	7H1	İHB	BHB	X
Kolon8 üst uç	8H2	BHB	MHB	X
Kolon8 alt uç	8H1	BHB	MHB	X
Kolon9 üst uç	9H2	BHB	GB	X
Kolon9 alt uç	9H1	BHB	GB	X
Kolon10 üst uç	10H2	BHB	MHB	X
Kolon10 alt uç	10H1	BHB	MHB	X
Kolon11 üst uç	11H2	BHB	MHB	X
Kolon11 alt uç	11H1	BHB	BHB	√
Kolon12 üst uç	12H2	MHB	MHB	√
Kolon12 alt uç	12H1	MHB	MHB	√
Kolon13 üst uç	13H2	BHB	MHB	X
Kolon13 alt uç	13H1	İHB	BHB	X
Kolon14 üst uç	14H2	BHB	MHB	X
Kolon14 alt uç	14H1	BHB	MHB	X
Kolon15 üst uç	15H2	BHB	GB	X
Kolon15 alt uç	15H1	BHB	GB	X
Kolon16 üst uç	16H2	BHB	MHB	X
Kolon16 alt uç	16H1	BHB	MHB	X
Kolon17 üst uç	17H2	BHB	MHB	X
Kolon17 alt uç	17H1	BHB	BHB	√
Kolon18 üst uç	18H2	MHB	MHB	√
Kolon18 alt uç	18H1	MHB	MHB	√
Kolon19 üst uç	19H2	İHB	BHB	X
Kolon19 alt uç	19H1	İHB	BHB	X
Kolon20 üst uç	20H2	BHB	MHB	X
Kolon20 alt uç	20H1	BHB	MHB	X
Kolon21 üst uç	21H2	BHB	BHB	√
Kolon21 alt uç	21H1	BHB	BHB	√
Kolon22 üst uç	22H2	BHB	MHB	X
Kolon22 alt uç	22H1	BHB	MHB	X
Kolon23 üst uç	23H2	BHB	MHB	X
Kolon23 alt uç	23H1	MHB	MHB	√
Kolon24 üst uç	24H2	MHB	MHB	√
Kolon24 alt uç	24H1	MHB	MHB	√

5.8 TSM-5 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırma

Sayısal incelemeler için seçilen TSM-5 taşıyıcı sistem modeli, üç açıklıklı ve altı katlı düzlem çerçeve sistem olup, kiriş açıklıkları 6.0 m, kat yükseklikleri 3.0 m olarak seçilmiştir. Planda çerçeve aralıkları 6.0 m'dir.

TSM-5 taşıyıcı sistem modeli, 1975 Türk Deprem Yönetmeliği esaslarına ve TS-648 çelik yapılar standardına uygun olarak, Bölüm 5.2'de açıklanan şekilde boyutlandırılmıştır. Kiriş ve kolonların enkesit profillerinin seçiminde, kiriş enkesitlerinin FEMA 356 Östandardı'nda kompakt kesitler için verilen enkesit sınırlarını sağlaması, buna karşılık kolon enkesitlerinin bu sınırlar dışında kalması öngörülmüştür.

Düşey yükler ve deprem kuvvetlerinin ortak etkisi altında yapılan analiz ve boyutlandırma hesapları sonucunda elde edilen kiriş ve kolon enkesit profilleri ile gerilme oranları sırasıyla Tablo 5.32 ve Tablo 5.33'te verilmiştir. Boyutlandırmada, yapı çeliği sınıfı Fe37 (akma dayanımı $\sigma_a = 235 \text{ N/mm}^2$) olarak seçilmiş ve gerilme oranlarının sınır değerleri 1.33 olarak alınmıştır.

Tablo 5.33: TSM-5 İçin Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

Z2 Zemin Grubu	R=5	<i>1. kat kenar kirişler</i>	<i>1. kat orta kirişler</i>	<i>2. kat kenar kirişler</i>	<i>2. kat orta kirişler</i>	<i>3. kat kenar kirişler</i>	<i>3. kat orta kirişler</i>
		IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450
		1.093	1.104	1.139	1.121	1.074	1.098
		<i>4. kat kenar kirişler</i>	<i>4. kat orta kirişler</i>	<i>5. kat kenar kirişler</i>	<i>5. kat orta kirişler</i>	<i>6. kat kenar kirişler</i>	<i>6. kat orta kirişler</i>
		IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450	IPE-450
		0.982	1.074	0.876	1.052	0.676	0.916

Tablo 5.34: TSM-5 İçin Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

		<i>1. kat dış kolonlar</i>	<i>2. kat dış kolonlar</i>	<i>3. kat dış kolonlar</i>	<i>4. kat dış kolonlar</i>	<i>5. kat dış kolonlar</i>	<i>6. kat dış kolonlar</i>
Z2 Zemin Grubu	R=5	HEAA-360	HEAA-360	HEAA-300	HEAA-300	HEAA-240	HEAA-240
		1.137	1.111	1.213	1.058	1.225	0.929
		<i>1. kat iç kolonlar</i>	<i>2. kat iç kolonlar</i>	<i>3. kat iç kolonlar</i>	<i>4. kat iç kolonlar</i>	<i>5. kat iç kolonlar</i>	<i>6. kat iç kolonlar</i>
		HEAA-550	HEAA-550	HEAA-360	HEAA-360	HEAA-260	HEAA-260
		1.259	0.976	1.257	0.990	1.171	0.603

5.8.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Sistemin kiriş ve kolon uç noktaları için, yukarıdaki bölümlerde açıklanan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile belirlenen hasar bölgeleri Tablo 5.34 ve Tablo 5.35 üzerinde karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.35: TSM-5 Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Kiriş Uçları	Mafsal Numaraları	Doğrusal Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Doğrusal Olmayan Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Karşılaştırma
Kiriş25 sol uç	25H1	MHB	MHB	√
Kiriş25 sağ uç	25H2	BHB	MHB	X
Kiriş26 sol uç	26H1	BHB	MHB	X
Kiriş26 sağ uç	26H2	BHB	MHB	X
Kiriş27 sol uç	27H1	BHB	MHB	X
Kiriş27 sağ uç	27H2	MHB	MHB	√
Kiriş28 sol uç	28H1	BHB	MHB	X
Kiriş28 sağ uç	28H2	BHB	MHB	X
Kiriş29 sol uç	29H1	BHB	MHB	X
Kiriş29 sağ uç	29H2	BHB	MHB	X
Kiriş30 sol uç	30H1	BHB	MHB	X
Kiriş30 sağ uç	30H2	BHB	MHB	X
Kiriş31 sol uç	31H1	BHB	MHB	X
Kiriş31 sağ uç	31H2	BHB	MHB	X
Kiriş32 sol uç	32H1	BHB	MHB	X
Kiriş32 sağ uç	32H2	BHB	MHB	X
Kiriş33 sol uç	33H1	BHB	MHB	X
Kiriş33 sağ uç	33H2	BHB	MHB	X
Kiriş34 sol uç	34H1	MHB	MHB	√
Kiriş34 sağ uç	34H2	MHB	MHB	√
Kiriş35 sol uç	35H1	MHB	MHB	√
Kiriş35 sağ uç	35H2	MHB	MHB	√
Kiriş36 sol uç	36H1	MHB	MHB	√
Kiriş36 sağ uç	36H2	MHB	MHB	√
Kiriş37 sol uç	37H1	MHB	MHB	√
Kiriş37 sağ uç	37H2	MHB	MHB	√
Kiriş38 sol uç	38H1	MHB	MHB	√
Kiriş38 sağ uç	38H2	MHB	MHB	√
Kiriş39 sol uç	39H1	MHB	MHB	√
Kiriş39 sağ uç	39H2	MHB	MHB	√
Kiriş40 sol uç	40H1	MHB	MHB	√
Kiriş40 sağ uç	40H2	MHB	MHB	√
Kiriş41 sol uç	41H1	MHB	MHB	√
Kiriş41 sağ uç	41H2	MHB	MHB	√
Kiriş42 sol uç	42H1	MHB	MHB	√
Kiriş42 sağ uç	42H2	MHB	MHB	√

Tablo 5.36: TSM-5 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Kolon Uçları	Mafsal Numaraları	Doğrusal Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Doğrusal Olmayan Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Karşılaştırma
Kolon1 üst uç	1H2	GB	MHB	X
Kolon1 alt uç	1H1	GB	MHB	X
Kolon2 üst uç	2H2	GB	MHB	X
Kolon2 alt uç	2H1	GB	MHB	X
Kolon3 üst uç	3H2	GB	GB	√
Kolon3 alt uç	3H1	GB	GB	√
Kolon4 üst uç	4H2	GB	MHB	X
Kolon4 alt uç	4H1	GB	MHB	X
Kolon5 üst uç	5H2	GB	MHB	X
Kolon5 alt uç	5H1	GB	MHB	X
Kolon6 üst uç	6H2	İHB	MHB	X
Kolon6 alt uç	6H1	MHB	MHB	√
Kolon7 üst uç	7H2	MHB	MHB	√
Kolon7 alt uç	7H1	GB	BHB	X
Kolon8 üst uç	8H2	BHB	MHB	X
Kolon8 alt uç	8H1	BHB	MHB	X
Kolon9 üst uç	9H2	GB	GB	√
Kolon9 alt uç	9H1	GB	GB	√
Kolon10 üst uç	10H2	GB	MHB	X
Kolon10 alt uç	10H1	GB	MHB	X
Kolon11 üst uç	11H2	GB	MHB	X
Kolon11 alt uç	11H1	GB	İHB	X
Kolon12 üst uç	12H2	MHB	MHB	√
Kolon12 alt uç	12H1	MHB	MHB	√
Kolon13 üst uç	13H2	MHB	MHB	√
Kolon13 alt uç	13H1	GB	BHB	X
Kolon14 üst uç	14H2	BHB	MHB	X
Kolon14 alt uç	14H1	BHB	MHB	X
Kolon15 üst uç	15H2	GB	GB	√
Kolon15 alt uç	15H1	GB	GB	√
Kolon16 üst uç	16H2	GB	MHB	X
Kolon16 alt uç	16H1	GB	MHB	X
Kolon17 üst uç	17H2	GB	MHB	X
Kolon17 alt uç	17H1	GB	İHB	X
Kolon18 üst uç	18H2	MHB	MHB	√
Kolon18 alt uç	18H1	MHB	MHB	√
Kolon19 üst uç	19H2	GB	MHB	X
Kolon19 alt uç	19H1	GB	BHB	X
Kolon20 üst uç	20H2	GB	MHB	X
Kolon20 alt uç	20H1	GB	MHB	X
Kolon21 üst uç	21H2	GB	GB	√
Kolon21 alt uç	21H1	GB	GB	√
Kolon22 üst uç	22H2	GB	MHB	X
Kolon22 alt uç	22H1	GB	MHB	X
Kolon23 üst uç	23H2	GB	MHB	X
Kolon23 alt uç	23H1	GB	BHB	X
Kolon24 üst uç	24H2	İHB	MHB	X
Kolon24 alt uç	24H1	MHB	MHB	√

5.9 TSM-6 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırma

Sayısal incelemeler için seçilen TSM-6 taşıyıcı sistem modeli, üç açıklıklı ve altı katlı düzlem çerçeve sistem olup, kiriş açıklıkları 6.0 m, kat yükseklikleri 3.0 m olarak seçilmiştir. Planda çerçeve aralıkları 6.0 m'dir.

TSM-6 taşıyıcı sistem modeli, 1975 Türk Deprem Yönetmeliği esaslarına ve TS-648 çelik yapılar standardına uygun olarak, Bölüm 5.2'de açıklanan şekilde boyutlandırılmıştır. Kiriş ve kolonların enkesit profillerinin seçiminde, kolon enkesitlerinin FEMA 356 Östandardı'nda kompakt kesitler için verilen enkesit sınırlarını sağlaması, buna karşılık kiriş enkesitlerinin bu sınırlar dışında kalması öngörülmüştür.

Düşey yükler ve deprem kuvvetlerinin ortak etkisi altında yapılan analiz ve boyutlandırma hesapları sonucunda elde edilen kolon ve kiriş enkesit profilleri ile gerilme oranları sırasıyla Tablo 5.36 ve Tablo 5.37'de verilmiştir. Boyutlandırmada, yapı çeliği sınıfı Fe37 (akma dayanımı $\sigma_a = 235 \text{ N/mm}^2$) olarak seçilmiş ve gerilme oranlarının sınır değerleri 1.33 olarak alınmıştır.

Tablo 5.37: TSM-6 İçin Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

Z2 Zemin Grubu	R=5	<i>1. kat kenar kirişler</i>	<i>1. kat orta kirişler</i>	<i>2. kat kenar kirişler</i>	<i>2. kat orta kirişler</i>	<i>3. kat kenar kirişler</i>	<i>3. kat orta kirişler</i>
		HEAA-360	HEAA-360	HEAA-360	HEAA-360	HEAA-340	HEAA-340
		1.203	1.153	1.231	1.183	1.267	1.215
		<i>4. kat kenar kirişler</i>	<i>4. kat orta kirişler</i>	<i>5. kat kenar kirişler</i>	<i>5. kat orta kirişler</i>	<i>6. kat kenar kirişler</i>	<i>6. kat orta kirişler</i>
		HEAA-340	HEAA-340	HEAA-300	HEAA-300	HEAA-300	HEAA-300
		1.176	1.118	1.267	1.191	0.987	0.932

Tablo 5.38: TSM-6 İçin Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

		<i>1. kat dış kolonlar</i>	<i>2. kat dış kolonlar</i>	<i>3. kat dış kolonlar</i>	<i>4. kat dış kolonlar</i>	<i>5. kat dış kolonlar</i>	<i>6. kat dış kolonlar</i>
Z2 Zemin Grubu	R=5	HEB-260	HEB-260	HEB-240	HEB-240	HEB-200	HEB-200
		1.199	1.161	1.160	0.944	1.219	1.132
		<i>1. kat iç kolonlar</i>	<i>2. kat iç kolonlar</i>	<i>3. kat iç kolonlar</i>	<i>4. kat iç kolonlar</i>	<i>5. kat iç kolonlar</i>	<i>6. kat iç kolonlar</i>
		HEB-320	HEB-320	HEB-260	HEB-260	HEB-200	HEB-200
		1.267	1.016	1.218	0.978	1.179	0.653

5.9.1 Sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Sistemin kiriş ve kolon uç noktaları için, yukarıdaki bölümlerde açıklanan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile belirlenen hasar bölgeleri Tablo 5.38 ve Tablo 5.39 üzerinde karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.39: TSM-6 Kirişlerinin Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Kiriş Uçları	Mafsal Numaraları	Doğrusal Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Doğrusal Olmayan Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Karşılaştırma
Kiriş25 sol uç	25H1	İHB	MHB	X
Kiriş25 sağ uç	25H2	İHB	BHB	X
Kiriş26 sol uç	26H1	İHB	MHB	X
Kiriş26 sağ uç	26H2	İHB	BHB	X
Kiriş27 sol uç	27H1	İHB	MHB	X
Kiriş27 sağ uç	27H2	İHB	BHB	X
Kiriş28 sol uç	28H1	İHB	MHB	X
Kiriş28 sağ uç	28H2	İHB	BHB	X
Kiriş29 sol uç	29H1	İHB	MHB	X
Kiriş29 sağ uç	29H2	İHB	BHB	X
Kiriş30 sol uç	30H1	İHB	MHB	X
Kiriş30 sağ uç	30H2	İHB	BHB	X
Kiriş31 sol uç	31H1	İHB	MHB	X
Kiriş31 sağ uç	31H2	İHB	BHB	X
Kiriş32 sol uç	32H1	İHB	MHB	X
Kiriş32 sağ uç	32H2	İHB	BHB	X
Kiriş33 sol uç	33H1	İHB	MHB	X
Kiriş33 sağ uç	33H2	İHB	BHB	X
Kiriş34 sol uç	34H1	İHB	MHB	X
Kiriş34 sağ uç	34H2	İHB	BHB	X
Kiriş35 sol uç	35H1	İHB	MHB	X
Kiriş35 sağ uç	35H2	İHB	MHB	X
Kiriş36 sol uç	36H1	İHB	MHB	X
Kiriş36 sağ uç	36H2	İHB	BHB	X
Kiriş37 sol uç	37H1	BHB	MHB	X
Kiriş37 sağ uç	37H2	İHB	MHB	X
Kiriş38 sol uç	38H1	BHB	MHB	X
Kiriş38 sağ uç	38H2	BHB	MHB	X
Kiriş39 sol uç	39H1	İHB	MHB	X
Kiriş39 sağ uç	39H2	BHB	MHB	X
Kiriş40 sol uç	40H1	MHB	MHB	√
Kiriş40 sağ uç	40H2	MHB	MHB	√
Kiriş41 sol uç	41H1	MHB	MHB	√
Kiriş41 sağ uç	41H2	MHB	MHB	√
Kiriş42 sol uç	42H1	MHB	MHB	√
Kiriş42 sağ uç	42H2	MHB	MHB	√

Tablo 5.40: TSM-6 Kolonlarının Her İki Yöntemle Belirlenen Hasar Bölgelerinin Karşılaştırılması

Kolon Uçları	Mafsal Numaraları	Doğrusal Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Doğrusal Olmayan Yönteme Göre Hasar Bölgesi	Karşılaştırma
Kolon1 üst uç	1H2	İHB	MHB	X
Kolon1 alt uç	1H1	BHB	BHB	√
Kolon2 üst uç	2H2	BHB	MHB	X
Kolon2 alt uç	2H1	BHB	MHB	X
Kolon3 üst uç	3H2	BHB	BHB	√
Kolon3 alt uç	3H1	BHB	BHB	√
Kolon4 üst uç	4H2	BHB	MHB	X
Kolon4 alt uç	4H1	BHB	MHB	X
Kolon5 üst uç	5H2	BHB	MHB	X
Kolon5 alt uç	5H1	MHB	MHB	√
Kolon6 üst uç	6H2	MHB	MHB	√
Kolon6 alt uç	6H1	MHB	MHB	√
Kolon7 üst uç	7H2	MHB	MHB	√
Kolon7 alt uç	7H1	İHB	BHB	X
Kolon8 üst uç	8H2	BHB	MHB	X
Kolon8 alt uç	8H1	BHB	MHB	X
Kolon9 üst uç	9H2	BHB	BHB	√
Kolon9 alt uç	9H1	BHB	BHB	√
Kolon10 üst uç	10H2	BHB	MHB	X
Kolon10 alt uç	10H1	BHB	MHB	X
Kolon11 üst uç	11H2	BHB	BHB	√
Kolon11 alt uç	11H1	BHB	BHB	√
Kolon12 üst uç	12H2	MHB	MHB	√
Kolon12 alt uç	12H1	MHB	MHB	√
Kolon13 üst uç	13H2	MHB	MHB	√
Kolon13 alt uç	13H1	İHB	BHB	X
Kolon14 üst uç	14H2	BHB	MHB	X
Kolon14 alt uç	14H1	BHB	MHB	X
Kolon15 üst uç	15H2	BHB	BHB	√
Kolon15 alt uç	15H1	BHB	BHB	√
Kolon16 üst uç	16H2	BHB	MHB	X
Kolon16 alt uç	16H1	BHB	MHB	X
Kolon17 üst uç	17H2	BHB	BHB	√
Kolon17 alt uç	17H1	BHB	BHB	√
Kolon18 üst uç	18H2	MHB	MHB	√
Kolon18 alt uç	18H1	MHB	MHB	√
Kolon19 üst uç	19H2	İHB	MHB	X
Kolon19 alt uç	19H1	BHB	BHB	√
Kolon20 üst uç	20H2	BHB	MHB	X
Kolon20 alt uç	20H1	BHB	MHB	X
Kolon21 üst uç	21H2	BHB	BHB	√
Kolon21 alt uç	21H1	BHB	BHB	√
Kolon22 üst uç	22H2	BHB	MHB	X
Kolon22 alt uç	22H1	BHB	MHB	X
Kolon23 üst uç	23H2	BHB	BHB	√
Kolon23 alt uç	23H1	MHB	MHB	√
Kolon24 üst uç	24H2	MHB	MHB	√
Kolon24 alt uç	24H1	MHB	MHB	√

5.10 Sayısal İncelemelere İlişkin Değerlendirmeler

Sayısal incelemeler, orta yükseklikli mevcut çelik binaları temsil etmek üzere seçilen üç açıklıklı ve altı katlı düzlem çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistem modelleri ve alternatifleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kesit ve eleman hasar bölgelerinin belirlenmesinde, 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen genel ilkeler ve öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile FEMA 356 Önstandartı'nda çelik yapı sistemlerinin performans değerlendirmesine ilişkin olarak verilen esaslar gözönüne alınmış ve bu yöntemlerle elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Sayısal incelemelerde elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- 1) İncelenen taşıyıcı sistem modellerinin 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen kesit hasar bölgeleri, kiriş ve kolonların kompakt kesit koşullarını sağlaması veya sağlamaması durumlarına göre farklılıklar göstermektedir. Belirlenen hasar bölgelerinin farklılık gösterdiği kesit sayısının çerçevedeki toplam kesit sayısına oranı, kiriş ve kolonların tümünün kompakt kesit koşullarını sağladığı taşıyıcı sistem modellerinde, kirişlerde ortalama % 40, kolonlarda ise ortalama % 63 olmaktadır. Sadece kirişlerin kompakt kesit koşullarını sağladığı modellerde bu oranlar kirişlerde ortalama % 39, kolonlarda ortalama % 72, sadece kolonların kompakt kesit koşullarını sağladığı modellerde ise, kirişlerde ortalama % 80, kolonlarda ortalama % 42 dolaylarındadır.
- 2) İki yöntemin sonuçlarının farklılık gösterdiği elemanlardaki değişim, kiriş ve kolonların kompakt kesit koşullarını sağladığı modellerde, hemen hemen tüm elemanlarda bir hasar bölgesi aralığında, sadece kirişlerin kompakt kesit koşullarını sağladığı modellerde kirişlerde bir hasar bölgesi, kolonlarda bir veya birden fazla hasar bölgesi aralığında, sadece kolonların kompakt kesit koşullarını sağladığı modellerde ise kirişlerde bir veya iki hasar bölgesi, kolonların hemen hemen tamamında bir hasar bölgesi aralığındadır.
- 3) Doğrusal olmayan hesap yöntemi ile belirlenen kesit hasar bölgeleri, beklenildiği gibi, doğrusal yöntemle oranla daha elverişlidir. Yapı elemanlarının kompakt kesit koşullarını sağlamaması durumlarında iki

yöntem arasındaki fark daha da açılmaktadır. Bu sonuç, deprem güvenlik ve performansının değerlendirmesinde, yapı sistemlerinin gerçek davranışlarını daha yakından izleyen doğrusal olmayan yöntemlerin üstünlüğünü vurgulamaktadır.

- 4) Doğrusal olmayan yöntemde sistemin tümsel davranışını ifade eden yerdeğiştirmeler ve plastik mafsal dönmeleri ile değerlendirme yapılırken, doğrusal yöntemde kesit bazında değerlendirme yapılarak elemanların hasar bölgeleri belirlenmekte ve bu sonuçlara dayanarak binanın deprem performansı elde edilmektedir. Bu durum, doğrusal yöntemin olumsuz bir özelliği olarak değerlendirilebilir.
- 5) Doğrusal yöntemin gerek betonarme yapılarda gerekse çelik yapılarda uygulamasında, FEMA 356 Östandardı ile 2006 Türk Deprem Yönetmeliği yaklaşımları arasında farklılıklar bulunmakta ve bu farklılıklar elde edilen sonuçları etkilemektedir. Bu nedenle, FEMA 356 Östandardı'ndaki etki/kapasite oranları sınır değerlerinin Türk Deprem Yönetmeliği'ne uyarlanması aşamasında, uygun şekilde revize edilmeleri gerekmektedir.
- 6) Seçilen taşıyıcı sistem modellerinin tümsel yapı sistemi yerine, bina taşıyıcı sisteminin elemanları olan çerçeveler olması nedeniyle, elde edilen sonuçlar ile bina bazında bir değerlendirme yapılmamaktadır. Bununla birlikte, çerçeve düzeyinde yapılan performans değerlendirmesi sonuçlarına göre, 1998 ve 1975 Türk Deprem Yönetmelikleri'ne uygun olarak boyutlandırılan çelik binalar için, tüm kiriş ve kolonları kompakt kesit koşullarını sağlayan taşıyıcı sistem modellerinde can güvenliği performans düzeyinin sağlandığı, buna karşılık sadece kirişleri kompakt kesit koşullarını sağlayan sistemlerde kolonlar için doğrusal yöntemde göçme durumunun, doğrusal olmayan yöntemde göçmenin önlenmesi durumunun, sadece kolonları kompakt kesit koşullarını sağlayan modellerde ise kirişler için doğrusal yöntemde göçmenin önlenmesi durumunun olduğu görülmektedir.

6 SONUÇLAR

Mevcut Çelik Yapıların Deprem Performanslarının Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım konulu tez çalışmasında elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

1. Bu çalışmada, orta yükseklikli çelik binaların pratikteki olası uygulamalarını temsil edecek şekilde seçilen taşıyıcı sistem modelleri, çeşitli tarihlerde yürürlükte olan deprem yönetmeliklerine göre boyutlandırılmıştır. Daha sonra, 2006 Türk Deprem Yönetmeliğinde verilen genel ilkeler ve öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile FEMA 356 Östandardı'nda çelik yapı sistemlerinin performans değerlendirmesine ilişkin olarak verilen esaslar çerçevesinde iki yaklaşım önerilerek, bu yaklaşımların esas alındığı sayısal incelemeler gerçekleştirilmiştir. Sayısal incelemelerde, önerilen yaklaşımlar irdelenerek sayısal sonuçları karşılaştırılmaktadır.

2. Dayanım bazlı doğrusal hesap yöntemi ile deprem performansının belirlenmesinde çelik yapı elemanlarının hasar bölgelerini tanımlayan etki/kapasite oranları, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı doğrusal olmayan hesap yönteminde ise, çelik yapı elemanlarının hasar bölgelerini tanımlayan plastik mafsallı dönmeleri esas alınmaktadır.

3. Mevcut çelik yapı sistemlerinin deprem etkileri altındaki performans düzeylerinin ve güvenliklerinin belirlenmesine yönelik olarak, 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan bir değerlendirme yöntemi bulunmamaktadır. Bu çalışma ve bundan sonra gerçekleştirilecek olan benzeri sayısal çalışmaların sonuçlarına dayanarak, mevcut çelik yapıların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla, 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerine gerekli revizyon ve ilavelerin yapılmasının mümkün olabileceği düşünülmektedir. Böylece, 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'ne katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

4. Çalışmanın sayısal ve parametrik incelemelerine dayanarak varılan bazı sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- a. 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen genel ilkeler, öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile FEMA 356 Önstandartı'nda çelik yapı sistemlerinin performans değerlendirmesine ilişkin olarak verilen esaslar çerçevesinde geliştirilen iki yaklaşım ile belirlenen kesit hasar bölgeleri, kiriş ve kolon kesitlerinin kompakt kesit koşullarını sağlama veya sağlamama durumlarına göre farklılıklar göstermektedir. İki yöntemin sonuçlarının farklılık gösterdiği elemanlardaki değişim, kiriş ve kolonların tamamının kompakt kesit koşullarını sağladığı modellerde büyük oranda bir hasar bölgesi aralığında, sadece kirişlerin veya sadece kolonların kompakt kesit koşullarını sağladığı modellerde ise bir veya birden fazla hasar bölgesi aralığı mertebesinde-dir.
- b. Doğrusal olmayan değerlendirme yöntemi ile belirlenen kesit hasar bölgeleri genelde daha elverişli sonuçlar vermektedir. Yapı elemanlarının kompakt kesit koşullarını sağlamadığı durumlarında iki yöntem arasındaki fark daha da açılmaktadır. Bu sonuç, deprem güvenlik ve performansının değerlendirmesinde, yapı sistemlerinin gerçek davranışlarını daha yakından izleyen doğrusal olmayan yöntemlerin üstünlüğünü vurgulamaktadır.
- c. Doğrusal olmayan yöntemde bina bazında bir değerlendirme yapılmasına karşılık, doğrusal yöntemde kesit bazında değerlendirme ile elemanların hasar sınırları belirlenmekte ve bu sonuçlara dayanarak binanın deprem performansı elde edilmektedir. Bu durum doğrusal yöntemin olumsuz bir özelliği olarak değerlendirilebilir.
- d. Doğrusal yöntemin betonarme ve çelik yapılara uygulamasında, FEMA 356 Önstandartı'nda ve 2006 Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki doğrusal yöntemler arasında farklılıklar bulunmakta ve bu farklılıklar elde edilen sonuçları etkilemektedir. Bu nedenle, FEMA 356 Önstandartı'ndaki etki/kapasite oranları sınır değerlerinin, Türk Deprem Yönetmeliği'ne uyarlanması aşamasında, uygun şekilde revize edilmesi gerekmektedir.
- e. Seçilen taşıyıcı sistem modellerinin tümsel yapı sistemi yerine, bina taşıyıcı sisteminin elemanları olan çerçeveler olması nedeniyle, elde edilen sonuçlar ile bina bazında bir değerlendirme yapılmamaktadır. Bununla birlikte, çerçeve düzeyinde yapılan performans değerlendirmesi sonuçlarına göre,

1998 ve 1975 Türk Deprem Yönetmelikleri'ne uygun olarak boyutlandırılan çelik binalar için, tüm kiriş ve kolonları kompakt kesit koşullarını sağlayan taşıyıcı sistem modellerinde can güvenliği performans düzeyinin sağlandığı, buna karşılık sadece kirişleri kompakt kesit koşullarını sağlayan sistemlerde kolonlar için doğrusal yöntemde göçme durumunun, doğrusal olmayan yöntemde göçmenin önlenmesi durumunun, sadece kolonları kompakt kesit koşullarını sağlayan modellerde ise kirişler için doğrusal yöntemde göçmenin önlenmesi durumunun olduğu görülmektedir.

5. Bu çalışmada çelik binaların pratikteki olası uygulamalarını temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modelleri moment aktaran düzlem çerçeve sistemlerdir. Bu çalışmanın olası uzantıları diğer çelik yapı sistemlerini de kapsayacak şekilde genişletilebilir.

6. Bu çalışmada esas alınan, tasarım ve deprem yönetmeliklerine, deprem bölgelerine, yerel zemin sınıflarına, sistem geometrisine, malzeme ve enkesit özelliklerine ilişkin parametrelerde değişiklikler yapılarak seçilecek farklı taşıyıcı sistem modelleri üzerinde benzeri sayısal çalışmalar gerçekleştirilerek önerilen yaklaşımların uygulama alanları genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.,** 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt I, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.,** 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt II, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [3] **Özer, E.,** 1969. Lineer olmayan sistemlerin hesabı için bir metot, *Doktora Tezi*, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [4] **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.
- [5] **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.
- [6] **Parikh, B. P.,**1966. The elastic-plastic analysis and design of unbraced multistory steel frames, *PhD. Dissertation*, Lehigh University.
- [7] **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.
- [8] **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.
- [9] **Özer, E.,** 2006. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.ins.itu.edu.tr/eozer/, İstanbul.
- [10] **SAP 2000,** 2005. Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

- [11] **ETABS**, 2004. Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [12] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [13] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [14] **FEMA-356**, 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [15] **FEMA-440**, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [16] **European Committee for Standardization**, 2004. Design of Structures for Earthquake Resistance- Assessment and Retrofitting of Buildings, Eurocode 8-3.
- [17] **ABYYHY**, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [18] **DBYBHY**, 2006. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [19] **Çakıroğlu, A. ve Özer, E.**, 1980. Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- [20] **Neal, B.G.**, 1956. The Plastic Methods of Structural Analysis, Chapman & Hall, London.
- [21] **Hodge, P.G.**, 1959. Plastic Analysis of Structures, McGraw-Hill, New York.
- [22] **TS-648**, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [23] **ABYYHY**, 1975. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Bora SEZER, 1979 yılında Edremit’te doğmuştur. İlköğrenimini Bandırma Cumhuriyet İlköğretim ilkokulunda, orta ve lise öğrenimini Bandırma Kültür ve Eğitim Vakfı Özel Lisesi’nde tamamlamıştır. 1998 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazanmıştır. 2002 yılında lisans eğitimini iyi derece ile tamamlamış, aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği programına girmeye hak kazanmıştır. 2005 yılında özel bir şirkette proje mühendisi olarak göreve başlamıştır. Halen bu şirkette çalışmaktadır.