YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Çelik Yapılarda Perf. Day. Tasarım

Yüksek Lisans Tezi

İBRAHİM DEMİR

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC) : R150/574

Kayıt No : 3071
Geldiği Yer : Fen Bilim Enst.
Tarih : 31.05.06
Fiyat : 430
Fatura No :
Ayniyat No : 1-6
Ek :

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
D.B. No: 76650

ÇELİK YAPILARDA PERFORMANSA DAYALI TASARIM

574

İnşaat Müh. İbrahim DEMİR

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapı Programında

Hazırlanan

YÜKSEKLİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. A. Zafer ÖZTÜRK (YTÜ)

Prof. İbrahim Ekiz

Y.Doç.Dr. Bülent AKBAŞ

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ v

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ x

ÖNSÖZ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiii

1. GİRİŞ 1

2. GENEL KAVRAMLAR 2

2.1 Plastik Hesap Teorisi 2
2.1.1 Genel 2
2.1.2 Plastik Tasarımla İlgili Genel Kavramlar 4
2.1.3 Plastik Mafsal Teorisi 8
2.2 Modal Spektral Analiz 9
2.2.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler 9
2.2.2 Çok Serbestlik Dereceli Sistemler 9
2.2.2.1 Modların Ortogonalliği, Modal Tepkiler ve Modların Birleştirilmesi 10
2.2.3 Modal Spektral Tepkilerinin Hesabı 13
2.2.4 Modal Spektral Tepkilerin Toplama Teknikleri 13
2.2.5 Etkili Modal Kütle 13

3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM GENEL İLKELERİ 14

3.1 Genel 14
3.1.1 SEOC VISION 2000 (SEOC, 1995) 15
3.1.2 ATC 40 (ATC, 1996) 15
3.1.3 FEMA273 (FEMA, 2000) 16
3.2 Performans Seviyeleri 16
3.2.1 Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları (Fema356, 2000) 16
3.2.1.1 S-1; Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi 16
3.2.1.2 S-2; Hasar Kontrollü Yapısal Performans Aralığı 16
3.2.1.3 S-3; Can güvenliği Yapısal Performans Seviyesi 17
3.2.1.4 S-4; Sınırlı Güvenli Yapısal Performans Aralığı 17
3.2.1.5 S-5; Göçme Önlenmesi Yapısal Performans Seviyesi 17
3.2.2 Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri (Fema356, 2000) 17
3.2.2.1 N-A; Yapısal Olmayan İşlevsel Performans Seviyesi 18
3.2.2.2 N-B; Yapısal Olmayan Hemen Kullanım Performans Seviyesi 18

3.2.2.3 N-C; Yapısal Olmayan Can Güvenliği Performans Seviyesi 18
3.2.2.4 N-D; Yapısal Olmayan Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi 18
3.2.3 Bina Performans Seviyesi (Fema356, 2000) 18
3.2.3.1 1-A; İşlevsel Bina Performans Seviyesi 18
3.2.3.2 1-B; Hemen Kullanım Bina Performans Seviyesi 19
3.2.3.3 3-C; Can Güvenliği Bina Performans Seviyesi 19
3.2.3.4 Göçmenin Önlenmesi Bina Performans Seviyesi 19
3.2.3.5 3-B Bina Performans Seviyesi 20
3.2.3.6 3-D Bina Performans Seviyesi 20
3.3 Deprem Etki Seviyeleri (Celep vd., 2000) 20
3.3.1 Kullanım Depremi (SE) 20
3.3.2 Tasarım Depremi (DE) 20
3.3.3 Maksimum Deprem (ME) 20
3.4 Performans Amaçları 21
3.4.1 Güvenlik Açısından Kritik Tesisler 21
3.4.2 Kritik Tesisler 21
3.4.3 Bina Türü Yapılar 21
3.5 Performans Değerlendirmesi 22
3.5.1 Kapasite Spektrum Metodu (Fajfar, 1999) 24
3.5.1.1 ADRS Formatında Sismik Talep 25
3.5.1.2 Öteleme Eğrisinden Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi 26
3.5.2 Deplasman Katsayıları Metodu (Fema356, 2000) 28
3.5.3 Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemlerinin Kusurları ve Bunları Gidermeye Yönelik Yapılan Çalışmalar 31
3.5.3.1 Modal İtme Analizi 31
3.5.3.2 Artımsal Spektrum Analizi (Aydınoğlu, 2003) 34

4. ÖRNEK PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ ÇALIŞMASI 37

4.1 Mukabele Spektrum Eğrisi 38
4.2 Bilgisayar Modeli 39
4.3 Malzeme Özellikleri 40
4.3.1 Çelik Malzemesi Özellikleri 40
4.4 Kesitler 41
4.5 Yüklemeler 41
4.6 Kütle Hesabı 43
4.7 Plastik Mafsal Özellikleri 44
4.7.1 Kiriş Elemanlarında Plastik Mafsal Özellikleri 44
4.7.1.1 W40x149 Kirişi Eğilme Mafsalı Özellikleri 45
4.7.1.2 W36x135 Kirişi Eğilme Mafsalı Özellikleri 45
4.7.1.3 W33x130 Kirişi Eğilme Mafsalı Özellikleri 46
4.7.1.4 W30x116 Kirişi Eğilme Mafsalı Özellikleri 46
4.7.1.5 W30x90 Kirişi Eğilme Mafsalı Özellikleri 46
4.7.2 Kolon Elemanlarında Plastik Mafsal Özellikleri 48
4.7.2.1 W14x665 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri 49
4.7.2.2 W14x550 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri 50
4.7.2.3 W14x500 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri 50
4.7.2.4 W14x455 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri 51
4.7.2.5 W14x426 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri 51
4.7.2.6 W14X342 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri 52
4.7.2.7 W14x257 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri 52

4.8 Analiz Durumlarının Tanımlanması 54
4.8.1 Düşey Yüklere Ait İtme Analizi 54
4.8.2 +X Yönü İçin İtme Analizi 55
4.9 Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi 57
4.10 Talep Eğrisinin Elde Edilmesi 60
4.11 Deprem Talebinin Belirlenmesi 62
4.12 Kiriş Elemanlarının Performanslarının Belirlenmesi 64
4.13 Kolon Elemanlarının Performanslarının Belirlenmesi 69
4.14 Kat Göreli Ötelemelerinin Belirlenmesi 75
4.15 Hedef Deplasmandaki Plastik Mafsal Yerleri 75
4.16 Zaman tanım alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Çözümleme ve Kapasite Spektrum Metodu ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması 76

5. SONUÇLAR 79

KAYNAKLAR 81

Ek 1 Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde yapısal çelik elemanları için modelleme parametreleri ve kabul kriterleri (Fema356, 2000) 83

ÖZGEÇMİŞ 86

SİMGE LİSTESİ

α	Modal kütle katılım çarpanı
α_n	Modal sözde ivme
A	Kesit alanı
A_o	Etkin yer ivmesi katsayısı
b	Kesit başlık genişliği
c	Kesit başlığından gövde dolgu bölümü sonuna olan mesafe
C_j	Genelleştirilmiş önüm katsayısı
C_m	Etkili kütle katsayısı
$[c_{ij}]$	Sönüm matrisi
C_o	TSDS'e ait spektral deplasman ile ÇSDS'e ait spektral deplasmanı ilişkilendiren katsayı
C_1	Doğrusal elastik deplasmanlar ile beklenen en büyük elastik ötesi deplasmanları ilişkilendiren katsayı
C_2	En büyük deplasman seviyesindeki dayanım ve rijitlik azalmasını içeren katsayı
C_3	Dinamik P-Δ etkilerini yansıtan katsayı
Γ	Modal katılım çarpanı
d	Kesit derinliği
d_i	Göreli kat ötelemesi
d_n	Modal yerdeğiştirme
D_j	TSDS'e ait yerdeğiştirme vektörü
δ	Deplasman
δ_y	Akma deplasmanı
Δa_n	Modal sözde ivme artımı
Δd_n	Modal yerdeğiştirme artımı
Δf_{sn}	Eşdeğer deprem yükü artımı
Δh_i	(i)'inci katın kat yüksekliği
Δr_n	Herhangi bir tepki değeri
ΔM_J	Herhangi bir j kesitindeki eğilme momenti artımı
ε	Birim uzama
ε_{st}	Pekleşme birim uzaması
ε_y	Akma birim uzaması
ξ	Sönüm oranı
E	Elastisite modülü
E_H	Histerik enerji
E_{st}	Pekleşme elastisite modülü
f	Biçim faktörü
F	Uygulanan kuvvet
F_{ye}	Çelik beklenen akma dayanımı
g	Yerçekimi ivmesi (9.81 m/sn^2)
h	Kesit yüksekliği
h_w	Kesit gövde yüksekliği
θ_y	Akma dönmesi
I	Bina önem katsayısı
I_x	Atalet momenti
I_b	Kiriş elemanı atalet momenti
I_c	Kolon elemanı atalet momenti
k	Rijitlik katsayısı
$[k_{ij}]$	Rijitlik matrisi
K_j	Genelleştirilmiş rijitlik katsayısı

K_e	Yapı yanal rijitliği
K_i	Elastik yapı yanal rijitliği
L_b	Kiriş uzunluğu
L_c	Kolon uzunluğu
λ_n	Modlar arası ölçeklendirme
m	TSDS'in kütlesi
$[m_{ij}]$	Kütle matrisi
M_{eff}	Etkili modal kütle
M_j	Genelleştirilmiş kütle
M_J	Eğilme momenti
Mj^x	Modal kütle katılım çarpanı
M_p	Plastik moment
M_y	Akma momenti
P	Eleman kesitinde oluşan en büyük eksenel kuvvet
P_{ye}	Eleman kesitinde beklenen akma kuvveti
P_{cl}	Kolon elemanı alt sınır eksenel basınç dayanımı
P_y	Akma kuvveti
ρ	Eğrilik yarıçapı
R	Davranış azaltma katsayısı
R_s	Mukavemet fazlalık katsayısı
R_μ	Azaltma faktörü
σ	Gerilme
σ_y	Akma gerilmesi
σ_u	Kopma gerilmesi
S_a	TSDS'ye ait elastik ötesi spektral ivme
S_{ae}	TSDS'ye ait elastik spektral ivme
$S_{aeş}$	Eşdeğer TSDS'e ait spektral ivme
S_{de}	TSDS'ye ait elastik spektral deplasman
$S_{deş}$	Eşdeğer TSDS'e ait spektral ivme
S_{alt}	Tarafsız eksenin altındaki parçaların statik momentleri
$S_{üst}$	Tarafsız eksenin üstündeki parçaların statik momentleri
S_d	TSDS'ye ait elastik ötesi spektral deplasman
$S_{d\text{-}ÇSDS}$	ÇSDS'e ait elastik ötesi deplasman
S_{din}	En büyük modal yerdeğiştirme
t_f	Başlık et kalınlığı
t_b	Gövde et kalınlığı
T	Periyot
T_A	Spektrum karakteristik periyodu
T_o	Geçiş periyotu
T_B	Spektrum karakteristik periyodu
T_e	Efektif Periyot
u_{max}	Maksimum deplasman
u_y	Akma deplasmanı
u_{rno}	TSDS için (n)'inci moda ait elastik ötesi pik çatı deplasmanı
μ	Düktilite katsayısı
v	Yerdeğiştirme vektörü
$\dot{v}$	Hız vektörü
$\ddot{v}$	İvme vektörü
$\ddot{v}_g$	Yer hareketi ivmesi
V_t	Taban kesme kuvveti

w	Serbest titreşim frekansı
W	Mukavemet momenti
W_g	Etkili Ağırlık
ϕ	Eğrilik
ϕ_y	Akma eğriliği
Φ_i	(i)'inci moda ait serbest titreşim mod şekli
y	Tarafız eksen mesafesi
y_o	Plastikleşmeye başlamış kesitte tarafsız eksenden en uzak elastik life olan mesafe
Y_i	Genelleştirilmiş koordinatlar
Z	Plastik mukavemet momenti

KISALTMA LİSTESİ

ADRS	İvme - Deplasman Tepki Spektrumu (Acceleration – Displacement Response Spectrum)
ARSA	Artımsal Spektrum Analizi
ATC	Applied Technology Council
CQC	Tam Kare Toplamı (Complete Quadratic Combination)
DE	Tasarım Depremi (Design Earthquake)
ÇSDS	Çok Serbestlik Dereceli Sistem
FEMA	Federal Emergency Management Agency
GPUSH	Düşey Yüklere Ait İtme Analizi
IO	Hemen Yerleşim Performans Seviyesi (Immediate Occupancy)
LS	Can Güvenliği Performans Seviyesi (Life Safety)
ME	Maksimum Deprem (Maximum Earthquake)
M3	Kuvvetli Eksendeki Eğilme
N-A	Yapısal Olmayan İşlevsel Performans Seviyesi
N-B	Yapısal Olmayan Hemen Kullanım Performans Seviyesi
N-C	Yapısal Olmayan Can Güvenliği Performans Seviyesi
N-D	Yapısal Olmayan Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi
PMM	Eksantrik Normal Kuvvet
SE	Kullanım Depremi (Serviceability Earthquake)
SEAC	Structural Engineers of Association of California
SRSS	Karelerin Toplamının Karakökü (Square Root of Sum of the Squares)
S-1	Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi
S-2	Hasar Kontrollü Yapısal Performans Seviyesi
S-3	Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi
S-4	Sınırlı Güvenli Yapısal Performans Seviyesi
S-5	Göçme Önlenmesi Yapısal Performans Seviyesi
TSDS	Tek Serbestlik Dereceli Sistem
1-A	İşlevsel Bina Performans Seviyesi
1-B	Hemen Kullanım Bina Performans Seviyesi
3-C	Can Güvenliği Bina Yapısal Performans Seviyesi
5-E	Göçme Önlenmesi Bina Yapısal Performans Seviyesi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Çeliğe ait idealize edilmiş gerilme-birim uzama eğrisi (Beedle, 1958). 2
Şekil 2.2 Çelik histerik enerji grafiği (Deren vd., 2003) 3
Şekil 2.3 W kirişinde plastik gerilme dağılımı, başlıkta kısmi plastikleşme (Beedle, 2003) 5
Şekil 2.4 W kirişinde plastik gerilme dağılımı, başlık ve gövdede kısmi plastikleşme (Beedle, 2003) 6
Şekil 2.5 Geniş başlıklı kiriş için moment - eğrilik ilişkisi (Beedle, 1958) 6
Şekil 2.6 Geniş başlıklı W kirişi akma bölgeleri dağılımı (Beedle, 1958) 7
Şekil 2.7 Dikdörtgen kesit 8
Şekil 3.1 Tipik öteleme eğrileri (Celep vd., 2000) 23
Şekil 3.2 Talep ve kapasite spektrumları (Fajfar, 1999) 24
Şekil 3.3 Öteleme eğrisi ve kapasite eğrisi 27
Şekil 3.4 Eşit deplasman kuralı 28
Şekil 3.5 İdealize edilmiş bilinear öteleme eğrisi (Polat vd., 2003) 29
Şekil 3.6 Bilinear öteleme eğrisi (Chopra vd., 2002) 32
Şekil 3.7 Elastik ötesi TSDS'in (n)'inci moduna ait idealize edilmiş öteleme eğrisi (Chopra vd., 2002) 33
Şekil 3.8 Doğrusal ve doğrusal olmayan modal kapasite diyagramları (Aydınoğlu, 2003) 34
Şekil 4.1 Mukabele spektrumu 38
Şekil 4.2 Örnek çerçeveye ait kolon ve kiriş elemanlarının kesitleri. 39
Şekil 4.3 Çerçeve elemanlarının isimlendirilmesi. 40
Şekil 4.4 Tanımlanan Yüklemeler. 41
Şekil 4.5 Çerçeve elemanlarının döşeme yükü ile yüklenmesi 42
Şekil 4.6 Çerçeve elemanlarının hareketli yük ile yüklenmesi. 43
Şekil 4.7 Kütle data formu. 43
Şekil 4.8 Genelleştirilmiş kuvvet - deformasyon eğrisi (Fema356, 2000) 44
Şekil 4.9 Kiriş için genelleştirilmiş moment - dönme eğrisi (Fema356, 2000). 45
Şekil 4.10 KİRİŞ eğilme mafsalı özellikleri. 47
Şekil 4.11 KİRİŞ2 eğilme mafsalı özellikleri. 48
Şekil 4.12 Kolon için genelleştirilmiş moment - dönme eğrisi (Fema356, 2000) 49
Şekil 4.13 KOLON PMM mafsalı özellikleri. 53
Şekil 4.14 Düşey yüklere göre öteleme analizi için veri girişi 54
Şekil 4.15 Kontrol düğüm noktası tanımlanması. 55
Şekil 4.16 +X doğrultusundaki öteleme analizi için veri girişleri. 57
Şekil 4.17 Hedef deplasman varsayımı. 57
Şekil 4.18 Öteleme eğrisi. 58
Şekil 4.19 Kapasite eğrisi. 60
Şekil 4.20 Talep eğrisi. 62
Şekil 4.21 Hedef deplasman tayini 63
Şekil 4.22 Hedef performansın tanımlanması 64
Şekil 4.23 Plastik mafsal yerleri 76
Şekil 4.24 1999 İzmit depremi IZM_EW ivme kaydı 77
Şekil 4.25 Zaman tanım alanında analiz sonucu oluşan plastik mafsal yerleri 78

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa
Çizelge 3.1 Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları (Celep vd., 2000) 16
Çizelge 3.2 Yapısal olmayan performans seviyeleri (Celep vd., 2000) 17
Çizelge 3.3 Bina performans seviyeleri tanımı (Celep vd., 2000) 18
Çizelge 3.4 Yapısal olan ve olmayan performans seviyelerinin kombinasyonu (Celep vd., 2000) 19
Çizelge 3.5 Deprem etki seviyeleri (Celep vd., 2000) 20
Çizelge 3.6 Güvenlik açısından kritik tesisler performans amacı 21
Çizelge 3.7 Kritik tesisler performans amacı 21
Çizelge 3.8 Bina türü tesisler performans amacı 22
Çizelge 3.9 Göreli Öteleme Sınır Değerleri (Fema356, 2000) 24
Çizelge 3.10 C_o katsayısı için Fema356 önerilen değerleri (Fema356/Tablo3.2, 2000) 30
Çizelge 4.1 Kesit özellikleri 41
Çizelge 4.2 Öteleme eğrisi koordinatları 58
Çizelge 4.3 Sistem genel bilgileri 59
Çizelge 4.4 Öteleme eğrisinden kapasite eğrisine geçiş 59
Çizelge 4.5 Response spektrumu verileri 60
Çizelge 4.6 Talep eğrisi koordinatlarının elde edilmesi 61
Çizelge 4.7 Elastik eğri koordinatları 63
Çizelge 4.8 Kiriş elemanlarının akma dönmesi değerleri 65
Çizelge 4.9 Kiriş elemanları performans değerlendirmesi 67
Çizelge 4.10 Kolon elemanları akma dönmesi hesabı için gerekli değerler 69
Çizelge 4.11 Kolon elemanları performans değerlendirmesi 72
Çizelge 4.12 Kat göreli ötelemeleri 75

ÖNSÖZ

Günümüzde birçok ülkede depreme dayanıklı yapı tasarımı gelişme ve değişme halindedir. Bugüne kadar yaşanılan depremlerin ardından mevcut deprem yönetmeliklerine göre boyutlandırılmış yapıların, can güvenliği açısından beklenilen performansı sergiledikleri görülmüştür. Ancak çoklu performans amaçlarını sağlamada yetersiz kalmışlardır. Ayrıca yapılarda depremden kaynaklanan hasarlar beklentilerin üzerinde çıkmışlardır. Performansa dayalı tasarım hem günümüz deprem yönetmeliklerinin yetersiz kaldığı durumları ortadan kaldırmakta hem de inşaat mühendislerinin rahatça anlayıp uygulayabileceği pratik bir tasarım yöntemi olarak görünmektedir.

Bu çalışmada çelik yapılarda performansa dayalı tasarım yöntemleri ve bu yöntemlerin dayandığı genel ilkeler ele alınmıştır. Bununla birlikte 9 katlı çelik çerçevenin performans değerlendirmesi kapasite spektrum metodu kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca kapasite spektrum metodu ile bulunan sonuçlar (plastik mafsal yerleri), 1999 İzmit depremine ait IZM_EW ivme kaydını temel alan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Bu tezin hazırlanmasında görüş ve önerilerini esirgemeyen tez danışmanım Prof. A. Zafer ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca eğitim ve öğrenim hayatım boyunca benim için her türlü imkanı sağlayıp desteklerini esirgemeyen aileme de çok teşekkür ederim.

ÖZET

Son yıllarda birçok ülkede yaşanılan büyük depremlerin sonucunda, inşaat sektöründe dayanım ve ekonomi arasında en uygun çözüme duyulan ihtiyaç daha önemli hale gelmiştir. Yapılan inceleme ve araştırmalar sonucunda mevcut deprem yönetmeliklerinin bu ihtiyacı karşılamada yetersiz kaldıkları görülmüştür. Bu amaçla, deprem mühendisliğinde farklı analiz ve tasarım yöntemleri üzerinde durulmaktadır.

Bu çalışmada, çelik yapılarda performansa dayalı tasarım yöntemleri ve bu yöntemler içinde önemli bir yere sahip olan kapasite spektrum metodu üzerinde durulmuştur. Ayrıca performansa dayalı tasarımın özünü oluşturan plastik hesap teorisinin temel kavramları ve modal spektral analize değinilmiştir. Performans değerlendirmesine örnek olarak dokuz katlı rijit bir çelik çerçeve ele alınmıştır. Bu çerçevenin performansı, genel (göreli kat ötelemeleri) ve yerel (plastik mafsal dönmeleri) tepki parametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz yöntemi olarak ise kapasite spektrum metodu kullanılmıştır. Kapasite spektrum metodu kullanılarak bulunan plastik mafsal yerleri ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda belirlenen plastik mafsal yerleri karşılaştırılarak kapasite spektrum metodunun performans değerlendirmesindeki başarısı belirlenmiştir. Zaman tanım alanında analiz için 1999 İzmit depremine ait IZM_EW ivme kaydı kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Performansa dayalı sismik tasarım, çelik çerçeve performans analizi, kapasite spektrum metodu

ABSTRACT

After major earthquakes occured in several countries in recent years, the need for the most optimum solution between economy and strength have become more important. As a result of investigations and researches, current building codes have lack for achieving that solution. Thus, different analyse and design methods have been discussing in earthquake engineering.

In this study, it is aimed to review performance evaluation methods of steel frames especially capacity spectrum method which are the most popular subject of the earthquake engineering. Furtermore, plastic theory and response spectrum analyse method were mentioned. Nine storey moment resisting steel frame's performance were evaulated by using drift ratios and plastic rotation capacities. Capacity spectrum method were used to find the target performance of the frame. In addition to nonlinear static solution, nonlinear time – history analyse were used to find real locations of plastic hinges at the target performance point. So the success of capacity spectrum method were found by comparing two analyse results (plastic hinge locations). IZM_EW acceleration record (7.4 magnitude Izmit Earthquke, 1999) were used for time – history analyse.

Keywords: Performance based seismic design, performance evaluation of steel frames, capacity spectrum method.

1. GİRİŞ

Başta ülkemiz olmak üzere dünyanın çeşitli bölgelerinde 20. yüzyılda meydana gelen şiddetli depremler milyonlarca insanın hayatlarını kaybetmelerine ve çok büyük ekonomik kayıplara neden olmuştur. Sadece 1999 yılında meydana gelen ve büyüklüğü 7.4 olarak ölçülen Gölcük depreminde resmi kayıtlara göre 20.000'e yakın insanımız hayatını kaybetmiş ve binlerce insan evsiz kalmışlardır. Şiddetli depremlerin yaşanmasıyla birlikte mevcut yapıların onarım ve güçlendirme metotları, depremlerin yol açtığı can kayıpları ve ekonomik maliyeti sebebiyle daha fazla önem kazanmıştır.

Mevcut yapıların güçlendirilmesiyle ilgili analiz metotlarının büyük bir çoğunluğu, yeni yapıların tasarımı için yönetmeliklerce önerilen eşdeğer yanal yük analiz yöntemlerine dayanmaktadır. Halbuki bu yöntemler, depremin yapıda oluşturacağı iç tesirleri tam olarak yansıtamazlar ve yapının depremden kaynaklanan elastik ötesi davranışı temsil edemezler. Bu sebepten dolayı elastik ötesi davranışı da göz önüne alan daha sofistike analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Performansa dayalı tasarım, bu ihtiyaçtan kaynaklanan yeni bir kavramdır. İçerisinde doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerini barındırmaktadır. Öteleme analizi sonucu elde edilen öteleme eğrisinden kapasite eğrisine geçilebilmektedir. Deprem talep eğrisi ve kapasite eğrisi karşılaştırılarak sistemin ve elemanların genel ve yerel performansları hakkında bir yargıya varılabilir.

Bu çalışmanın temel amacı; çelik yapılarda performansa dayalı tasarım yöntemlerini incelemek ve kapasite spektrum metodunun çelik yapılarda performans değerlendirmesindeki yeterliliğini belirlemektir. Bu çalışmada ilk olarak performansa dayalı tasarımın genel ilkeleri ve dayandığı analiz yöntemleri tanımlanarak teorik temeli üzerinde durulmuştur. Son bölümde ise 9 katlı rijit çelik çerçevenin performans değerlendirmesi yapılmıştır. Analiz yöntemi olarak kapasite spektrum metodu kullanılmıştır. Ayrıca 1999 İzmit depremine ait IZM_EW ivme kaydı kullanılarak çerçevenin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Böylece kapasite spektrum metodunun çerçeve elemanlarında oluşan plastik mafsalları tahmin etmede ne kadar başarılı olduğu belirlenmiştir.

Performansa dayalı tasarım her ne kadar deprem mühendisliğinde son yılların en popüler konusu olsa da içerisinde teorik olarak bazı sorunlu kısımlar ve eksiklikler barındırmaktadır. Bu sebepten ötürü üzerinde durulup geliştirilmesi gerekir.

2. GENEL KAVRAMLAR

Bu bölümde performansa dayalı tasarımın daha iyi anlaşılması için gereken genel kavramlar hakkında bilgiler verilmektedir.

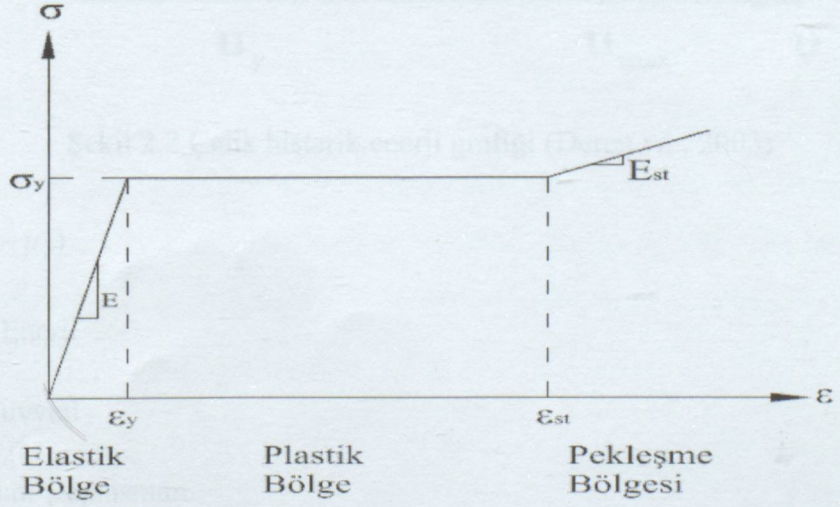
Öncelikle plastik hesap teorisine değinilmektedir. Yapısal sistem elemanlarında oluşan plastik mafsallar, performansa dayalı tasarımda önemli bir yere sahiptir. Bu yüzden plastik mafsal teorisi ve plastik analiz yöntemleri hakkında bilgi sahibi olunması gerekir.

İkinci olarak ta modal spektral analiz yöntemi hakkında bilgi sunulmaktadır. Performansa dayalı tasarım sırasında kullanılan doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinde, yapısal sistem monotonik artan yanal yüklere maruz bırakılır. Bu çalışmada yapısal sistemimiz için yanal yükleme şekli olarak modal analiz sonucu elde edilen hakim mod şekli alınmaktadır. Ayrıca doğrusal olmayan statik analiz sonucu elde edilen çok serbestlik dereceli sisteme ait öteleme eğrisi, modal analiz parametreleri yardımıyla tek serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisine dönüştürülmektedir.

2.1 Plastik Hesap Teorisi

2.1.1 Genel

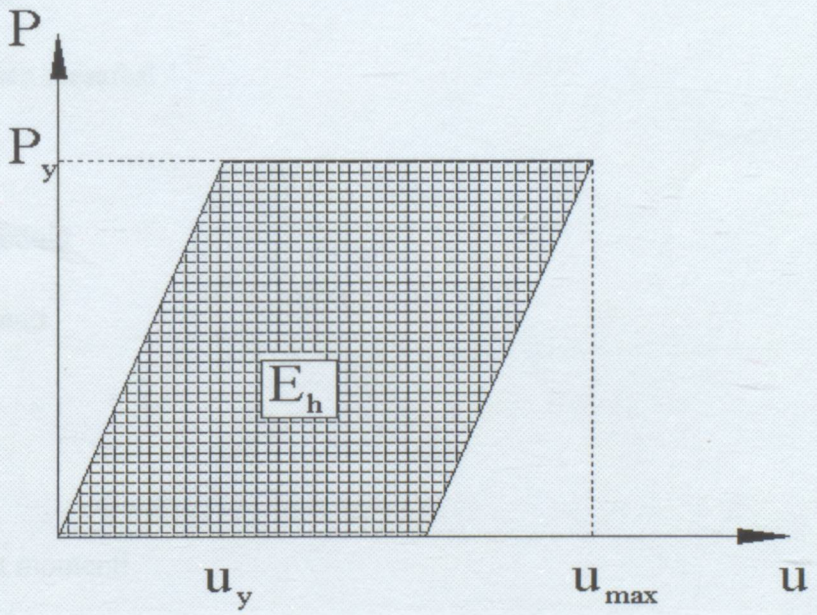
Plastik tasarım, rijit düğüm noktalı çerçevelerde, sürekli kirişlerde ve hiperstatik sistemlerde, elastik tasarımla karşılaştırıldığında daha avantajlıdır. Yapısal çeliğin, gerilme-birim deformasyon eğrisinin plastik bölgesinde önemli ölçüde deformasyon kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir.



Şekil 2.1 Çeliğe ait idealize edilmiş gerilme-birim uzama eğrisi (Beedle, 1958)

Çelik düktil bir malzemedir. En önemli iki özelliği, sünekliği ve tekrarlı inelastik yükleme altında enerji yutma kapasitesidir. Yük altında, kırılma göstermeden deformasyon yapma kabiliyetine sahiptir. Çeliğin bu özelliği, yapısal tasarımda plastik analizin kullanılmasına imkan sağlar. Plastik bölgede çelik elemanının gerilme ve birim uzama değerleri birbirleriyle orantılı değildirler ve bu bölgede kalıcı deformasyonlar oluşmuştur. Plastik tasarım, gerilme birim-uzama ilişkisinden, pekleşme başlangıcına kadar yararlanır. Pekleşme bölgesinde çelik elemanlar, teorik olarak ilave dayanım kazanırlar. Ancak bu bölgedeki kalıcı deformasyonlar yapının kullanımına etki edecek ölçüde büyük oldukları için plastik tasarımda birim uzamaların pekleşme bölgesine geçmeleri istenilmez.

Bir çelik elemanın plastik uzaması veya kısalması için ihtiyaç duyulan enerji, histerik enerji olarak adlandırılır. Histerik enerji, plastik kuvvet ile plastik deformasyon değerlerinin çarpımı sonucu hesaplanır.



Şekil 2.2 Çelik histerik enerji grafiği (Deren vd., 2003)

$$E_H = P_y\,(u_{\max} - u_y) \tag{2.1}$$

E_H : Histerik Enerji

P_y : Akma Kuvveti

u_{max} : Maksimum Deplasman

u_y : Akma Deplasmanı

2.1.2 Plastik Tasarımla İlgili Genel Kavramlar

Bu bölümde plastik mukavemet momenti, kesit biçim faktörü ve moment - eğrilik ilişkileri ele alınmaktadır. Plastik analiz yöntemlerinin anlaşılabilmesi için bu kavramların iyi bilinmesi gerekir. Yukarıda ifade edilen kavramların belirlenebilmesi için ise elastik davranışa ait eğilme denklemlerinin bilinmesi gerekir.

$$\phi = \frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon}{y} = \frac{\sigma}{Ey} \tag{2.2}$$

$$M = E\,I\,\phi \tag{2.3}$$

$$M_y = \sigma_s W \tag{2.4}$$

ρ : Eğrilik yarıçapı

ε : Birim uzama

y : Tarafsız eksen mesafesi

σ : Gerilme

E : Elastisite modülü

I : Atalet momenti

M : Moment

ϕ : Eğrilik

W : Mukavemet momenti

ε : Birim uzama

Verilen bir kesite ait eğriliğin belirlenmesi, gerilme dağılımı ile olmaktadır. Kısmi plastikleşmenin oluştuğu kesitlerde, kesitin eğriliği elastik en dış liflerin deformasyonu tarafından kontrol edilir. Akmış liflerin deformasyon dayanımına ilave katkıları yoktur.

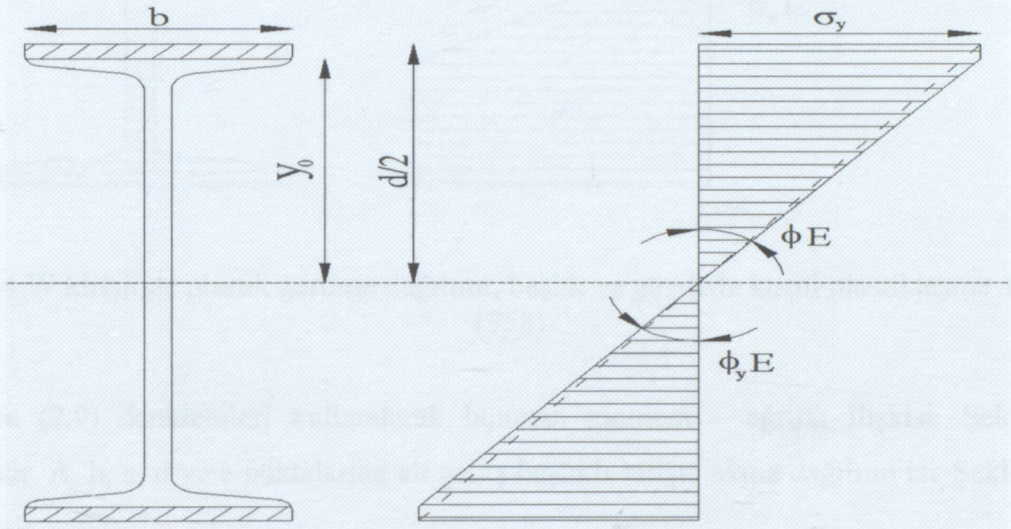
$$\varepsilon = \frac{\sigma_y}{E} \tag{2.5}$$

$$\tan\phi = \phi = \frac{\varepsilon}{y_o} \tag{2.6}$$

$$\phi = \frac{\sigma_y}{E\, y_o} \tag{2.7}$$

y_o : Tarafsız eksenden en uzak elastik life olan mesafe

Geniş başlıklı W çelik kesitlerin moment – eğrilik ilişkisi, plastikleşmenin başlıkla sınırlı olup olmadığına göre belirlenir. Eğer plastikleşme sadece başlık bölgesiyle sınırlı kalmışsa, moment – eğrilik ilişkisi aşağıdaki gibi hesaplanır (Beedle, 1958) ;



Şekil 2.3 W kirişinde plastik gerilme dağılımı, başlıkta kısmi plastikleşme (Beedle, 1958)

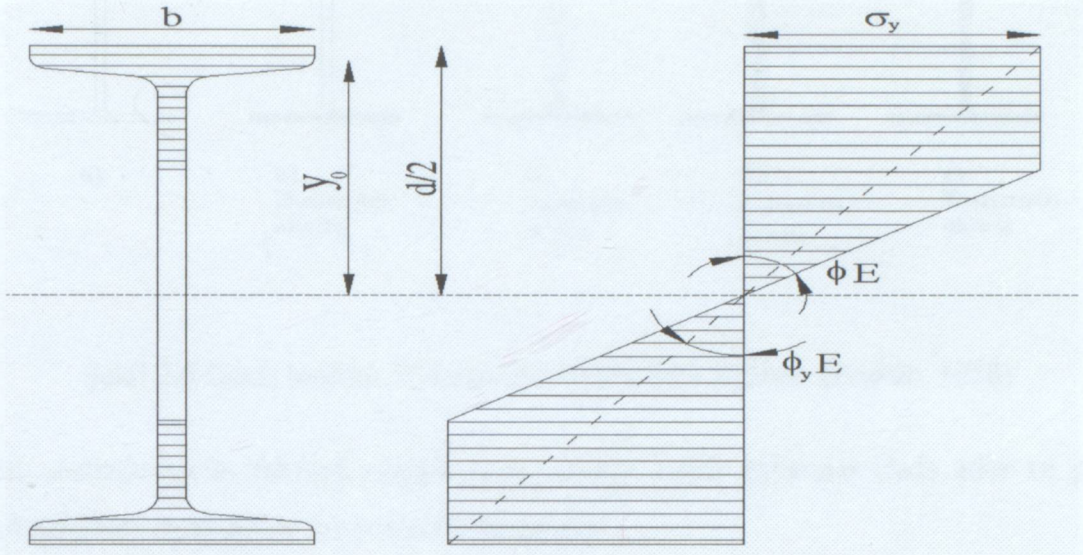
$$\frac{M}{M_Y} = \frac{\phi}{\phi_Y}\left(1 - \frac{b\,d^2}{6W}\right) + \frac{b\,d}{4W}\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{\phi_y}{\phi}\right)^2\right] \qquad \left(1 < \frac{\phi}{\phi_y} < \frac{d/2}{\left(\frac{d}{2} - t\right)}\right) \tag{2.8}$$

Başlıkla beraber gövdenin bir kısmında plastikleşmenin oluştuğu hallerde ise moment – eğrilik ilişkisi aşağıdaki gibi hesaplanır (Beedle, 1958) ;

$$\frac{M}{M_y} = f - \frac{w\,d^2}{12W}\left(\frac{\phi_y}{\phi}\right)^2 \qquad \left(\frac{d/2}{\frac{d}{2} - c} < \frac{\phi}{\phi_y} < \infty\right) \tag{2.9}$$

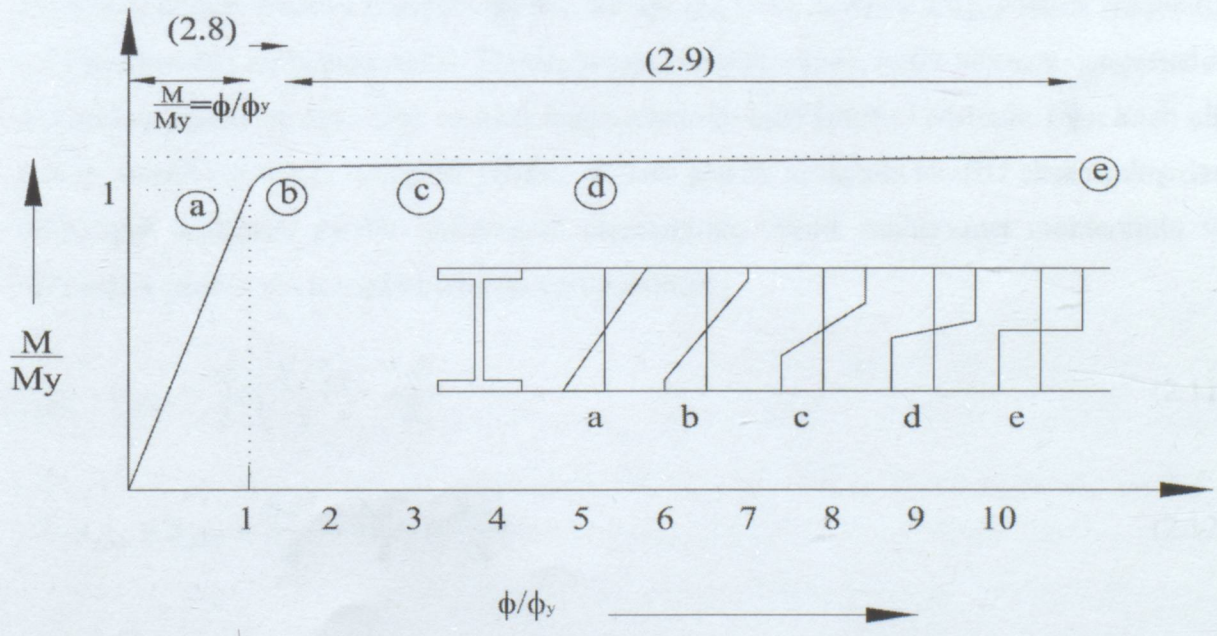
f : Biçim faktörü

c : Kesit başlığından gövde dolgu bölümüne olan mesafe

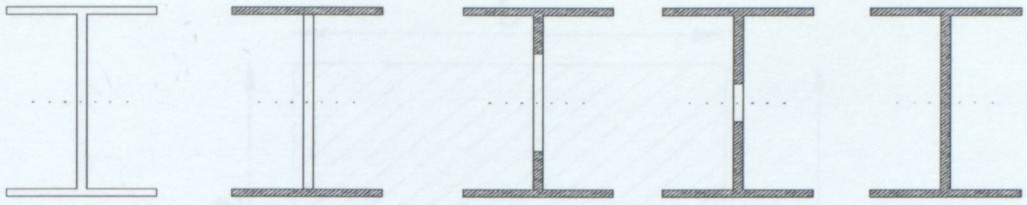


Şekil 2.4 W kirişinde plastik gerilme dağılımı, başlık ve gövdede kısmi plastikleşme (Beedle, 1958)

(2.8) ve (2.9) denklemleri kullanılarak bulunan moment – eğrilik ilişkisi, Şekil.2.5'da çizilmiştir. A, b, c, d ve e noktalarına ait geniş başlıklı kirişte akma dağılımı ise Şekil. 2.6'de verilmiştir.



Şekil 2.5 Geniş başlıklı kiriş için moment-eğrilik ilişkisi (Beedle, 1958)



a) b) Başlıkları akmış c) $\frac{1}{4}$ derinlik akmış d) $\frac{1}{2}$ derinlik akmış e) Tamamen akmış

Şekil.2.6 Geniş başlıklı W kirişi akma bölgeleri dağılımı (Beedle, 1958)

Plastik analizde biçim faktörü, elastik limit sonrası kalan dayanımı ifade eder ve plastik momentin akma momentine oranı olarak hesaplanır.

$$f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{\sigma_y Z}{\sigma_y W} = \frac{Z}{W} \tag{2.10}$$

$f > 1$ ise plastik hesap, elastik hesaptan daha avantajlıdır. Geniş başlıklı W kesitlerde yaklaşık olarak biçim faktörü 1.14 alınabilir (Beedle, 1958) .

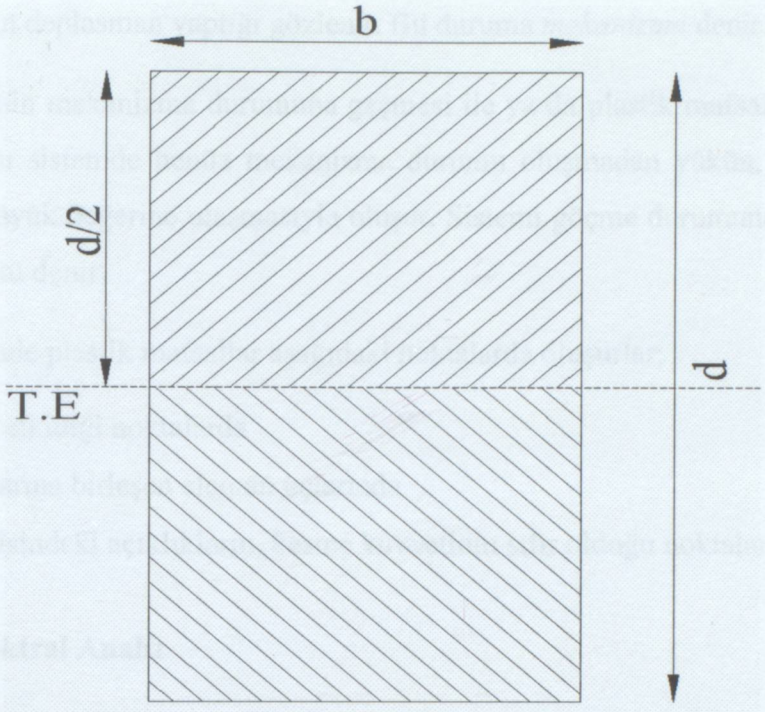
Plastik mukavemet momenti (Z) ise; düzgün gerilme dağılımı olması halinde gerilmelerin işaret değiştirdiği eksenin (tarafsız eksen) altında (S_{xalt}) ve üstünde ($S_{xüst}$) kalan parçaların statik momentleri toplamına eşittir. Elastik hesapta tarafsız eksen, statik moment dengesinden bulunurken plastik hesapta altta ve üstte kalan alanların eşitliğinden belirlenir. Eğer kesit çift simetri eksenli ise elastik hesaptaki tarafsız eksenle plastik hesaptaki tarafsız eksen çakışırlar. Dikdörtgen kesitlerde plastik mukavemet momentinin, elastik mukavemet momentinin ve kesit biçim faktörünün hesapları aşağıda verilmektedir ;

$$S_{xalt} = S_{xüst} = \frac{d}{2} b \left(\frac{d/2}{2} \right) = \frac{b d^2}{8} \tag{2.11}$$

$$Z = S_{xalt} + S_{xüst} = \frac{b d^2}{8} + \frac{b d^2}{8} = \frac{b d^2}{4} \tag{2.12}$$

$$W = \frac{b d^2}{6} \tag{2.13}$$

$$f = \frac{Z}{W} = \frac{b d^2 / 4}{b d^2 / 6} = 1.5 \tag{2.14}$$



Şekil 2.7 Dikdörtgen kesit

Plastik analiz yöntemi üç koşulu sağlamalıdır;

- Göçme yüküne bir mekanizmanın oluşması anında ulaşılır (Mekanizma koşulu).
- Sistemin tümü veya herhangi bir düğüm noktası için statik denge sağlanmalıdır (Denge koşulu).
- Taşıyıcı sistemin hiçbir noktasında kesitin plastik moment kapasitesi aşılmamalıdır (Plastik moment koşulu).

2.1.3 Plastik Mafsal Teorisi

Plastik mafsal teorisinde, iç kuvvetlerin akma şartı denilen bir sınır değere vardığı noktalarda plastik mafsal oluşur. Yükün arttırılması halinde, plastik mafsalın oluştuğu noktalar serbestçe dönebilmektedir. Limit yük değerine ulaşılması halinde ise sistem, oluşan plastik mafsallar sebebiyle mekanizma durumuna geçer ve kullanılmaz hale gelir. Plastik mafsalın uzunluğu, kirişte momentin akma momentinin üzerine çıktığı uzunluk kadardır. Plastik mafsal, yapısal elemandaki akma bölgesini ifade eder. Plastik mafsalın boyu, geometri ve yüklemeye bağlı olsa da analitik yöntemde plastik dönmenin noktasal olduğu kabul edilir.

Sistemlerin hiperstatiklik derecesi, her bir plastik mafsal durumu ile bir derece düşmektedir. Hiperstatiklik derecesinin bir fazlası kadar plastik mafsal oluşumu da sistemin göçmesine neden olur. Yeterli sayıda plastik mafsalın oluşması halinde, yükün şiddetinde artışa gerek

kalmadan sistemin deplasman yaptığı gözlenir. Bu duruma *mekanizma* denir.

Göçme, ya sistemin mekanizma durumuna geçmesi ile ya da plastik mafsalların yalnızca bir kısmının oluştuğu sistemde henüz mekanizma durumu oluşmadan yükün, dengeyi kararsız hale getiren en büyük değerine ulaşmasıyla oluşur. Sistemi göçme durumuna getiren yüke ise göçme (limit) yükü denir.

Bir taşıyıcı sistemde plastik mafsallar aşağıdaki noktalarda oluşurlar;

- Tekil yüklerin etkidiği noktalarda
- Düğüm noktalarına birleşen eleman uçlarında
- Yayılı yük etkisindeki açıklıkların, kesme kuvvetinin sıfır olduğu noktalarında.

2.2 Modal Spektral Analiz

2.2.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

Bir sistemin hareket halinde bulunduğu konum, tek bir parametrenin verilmesi ile belirlenebiliyor ise, bu tür sistem tek serbestlik dereceli sistem olarak isimlendirilir. Böyle bir sistemin dinamik davranışının belirlenebilmesi için sisteme ait hareket denkleminin yazılması gerekir. Tek serbestlik dereceli sistemlere ait genel hareket denklemi, (2.16) denkleminde verilmektedir;

$$m\ddot{v} + c\dot{v} + k v = -m\ddot{v}_g \tag{2.16}$$

m : TSDS'in kütlesi

c : TSDS'in sönümü

k : TSDS'in rijitliği

$\ddot{v}$: İvme vektörü

$\dot{v}$: Hız vektörü

v : Yerdeğiştirme vektörü

2.2.2 Çok Serbestlik Dereceli Sistemler

Bir sistemin hareket halinde bulunduğu konum, birden fazla parametrenin verilmesi ile belirlenebiliyorsa, bu tür sistem çok serbestlik dereceli sistem olarak isimlendirilir. Sistemin

hareketini, serbestlik derecesi sayısı kadar yazılacak diferansiyel denklem yönetir. Sadece yer hareketinin varlığı halinde bu denklem, (2.17) denklemindeki gibi yazılır.

$$\left.\begin{aligned} [m_{ij}]\{\ddot{v}_i\}+[c_{ij}]\{\dot{v}_i\}+[k_{ij}]\{v_i\} &= -[m]\{1\}\ddot{v}_g \\ m &= [m_{ij}] \\ c &= [c_{ij}] \\ k &= [k_{ij}] \\ v &= [v_i] \end{aligned}\right\} \qquad (2.17)$$

$[m_{ij}]$: Kütle matrisi

$[c_{ij}]$: Sönüm matrisi

$[k_{ij}]$: Rijitlik matrisi

$\{1\}$: Birim matrisi

Sönümsüz sistemin serbest titreşim frekansları ($w_1, w_2 ..... w_n$), (2.18) denkleminin çözülmesi ile belirlenir.

$$\left|k - w^2 m\right| = 0 \qquad (2.18)$$

Her bir titreşim frekansı için sistemin serbest titreşim mod şekilleri (ϕ_i), (2.19) denklemi yardımıyla hesaplanır.

$$\left(k - w^2 m\right)\phi_i = 0 \qquad (2.19)$$

2.2.2.1 Modların Ortogonalliği, Modal Tepkiler ve Modların Birleştirilmesi

Betti-Maxwell karşıtlık teoremine göre; bir yapısal sistemde, $\{F_j\}$ ve $\{F_k\}$ kuvvetler heyetinden oluşan deplasmanlar $\{\delta_j\}$ ve $\{\delta_k\}$ ise, $\{F_j\}$ kuvvetlerinin $\{\delta_k\}$ deplasmanlarında yaptığı virtüel iş, $\{F_k\}$ kuvvetlerinin $\{\delta_j\}$ deplasmanlarında yaptığı virtüel işe eşittir. Bu yasanın modal analize uyarlanması halinde ise (2.20) denklemi elde edilmektedir.

$$\sum\left(m_i \phi_{ij} w_j^{\,2}\right)\phi_{ki} = \sum\left(m_i \phi_{ki} w_k^{\,2}\right)\phi_{ji} \qquad (2.20)$$

(2.20) denkleminin matris formunda yazılması halinde ise (2.21) denklemi elde edilmektedir.

$$w_j^{\,2}\{\phi_j\}^T [m]\{\phi_k\} = w_k^{\,2}\{\phi_k\}^T [m]\{\phi_j\} \qquad (2.21)$$

Terimler bir tarafta toplanır ve gerekli sadeleştirmeler yapılırsa (2.22) denklemi elde edilmektedir.

$$\left(w_j^{\,2} - w_k^{\,2}\right)\{\phi_j\}^T [m]\{\phi_k\} = 0 \tag{2.22}$$

(2.22) ifadesi ancak aşağıdaki hallerde sıfıra eşit olabilir;

- $\left(w_j^{\,2} - w_k^{\,2}\right) = 0$ olmalıdır ki bu da ancak aynı mod durumunda, (i=j), mümkündür.
- $\{\phi_j\}^T [m]\{\phi_k\} = 0$ olmalıdır. Bu ise iki farklı modun ortogonal (dik) olması demektir

Visköz sönüm halinde, $[c = 2w\xi]$, ise ;

$$\{\phi_j\}^T [c]\{\phi_k\} = 0, \; j \neq k \tag{2.23}$$

$$\{\phi_j\}^T [k]\{\phi_k\} = 0, \; j \neq k \tag{2.24}$$

Yukarıdaki üç ifade, ortogonallik bağıntıları olarak tanımlanırlar ve hareket denklemini oldukça sadeleştirirler.

Yer hareketi etkisindeki sistemin, hareket denkleminin çözümü için modların birleştirilmesi yöntemi kullanılabilir. Bu amaçla çözümün mod vektörlerinin doğrusal bir birleşimi olarak yazılabileceği kabul edilebilir:

$$v(t) = \sum_{i=1}^{N} v_i = \sum_{i=1}^{N} \phi_i Y_i(t) \tag{2.25}$$

(2.16) denkleminin bütün terimleri $\{\phi_j\}^T$ ile çarpılırsa (2.26) ifadesi elde edilir.

$$\{\phi_j\}^T [m]\{\phi\}\{\ddot{Y}\} + \{\phi_j\}^T [c]\{\phi\}\{\dot{Y}\} + \{\phi_j\}^T [k]\{\phi\}\{Y\} = -\{\phi_j\}^T [m]\{1\}\ddot{v}_g \tag{2.26}$$

Ortogonallik bağıntılarının dikkate alınması ile denklem oldukça sadeleşir ve her bir çarpım durumunda sıfırdan farklı sadece birer terim kalır;

$$\{\phi_j\}^T [m]\{\phi_j\}\ddot{Y}_j + \{\phi_j\}^T [c]\{\phi_j\}\dot{Y}_j + \{\phi_j\}^T [k]\{\phi_j\}Y_j = -\{\phi_j\}^T [m]\{1\}\ddot{v}_g \tag{2.27}$$

Aşağıdaki kısaltmaların yapılması halinde ise;

$$M_j = \{\phi_j\}^T [m]\{\phi_j\} \tag{2.28}$$

$$C_j = \{\phi_j\}^T [c] \{\phi_j\} \tag{2.29}$$

$$K_j = \{\phi_j\}^T [k] \{\phi_j\} \tag{2.30}$$

M_j : Genelleştirilmiş kütle

C_j : Genelleştirilmiş sönüm

K_j : Genelleştirilmiş rijitlik

$$M_J \ddot{Y}_j + 2\, w_j\, \xi_j\, \dot{Y}_j + K_j Y_j = -\{\phi_j\}^T [m] \{1\} \ddot{v}_g \tag{2.31}$$

denklemi elde edilir. Denklemin her iki tarafı M_j ile bölündüğü takdirde;

$$\ddot{Y}_j + \frac{C_j}{M_j} \dot{Y}_j + \frac{K_j}{M_J} Y_j = -\Gamma_j \ddot{v}_g \tag{2.32}$$

Denklemin ikinci tarafındaki Γ_j terimi, *modal katılım çarpanı* olarak adlandırılır ve aşağıdaki ifadeden elde edilir;

$$\Gamma_j = \frac{\{\phi_j{}^T\} [m] \{1\}}{M_j} \tag{2.33}$$

Çok serbestlik dereceli sistemlerin modal hareket denklemi ile tek serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemi terimleri itibariyle birbirlerine çok benzedikleri için tek serbestlik dereceli sistemin çözümünden faydalanılabilir. Ancak modal tepkinin hesabı için, tek serbestlik dereceli sistem benzerliği ile bilinen çözümü modal katılım çarpanı ile çarpmak gerekmektedir:

$$Y_j = \Gamma_j D_j \tag{2.34}$$

Genelleştirilmiş modal tepkiler bulunduktan sonra, geometrik koordinatlara dönüştürülerek, modal geometrik tepkiler elde edilir ve bunlar toplanarak yapının tepkisi hesaplanır.

$$v_j = \{\phi_j\} Y_j \tag{2.35}$$

$$v(t) = \sum_{j=1}^{N} v_j = \sum_{j=1}^{N} \phi_j Y_j = \sum_{j=1}^{N} \Gamma_j \phi_j D_j \tag{2.36}$$

2.2.3 Modal Spektral Tepkilerinin Hesabı

Yukarıda açıklandığı gibi çok serbestlik dereceli sistemlerin çözümünü, tek serbestlik dereceli sistem çözümlerinden elde etmek mümkündür. Bu yüzden spektral tepki spektrumlarından yararlanılarak modal spektral değerler bulunur.

- Modal spektral ivmelerin genelleştirilmiş koordinatlardaki değerleri, spektral ivme spektrumlarından okunup modal katılım çarpanı ile çarpılır.

$$\ddot{Y}_j(w_j,\xi_j)_{\max} = \ddot{Y}_j(T_j,\xi_j)_{\max} = SA(w_j,\xi_j) = \Gamma_j SA(T_j,\xi_j) \tag{2.37}$$

Modal spektral ivmelerin geometrik koordinatlardaki değerleri ise;

$$\{\ddot{y}_j\}_{\max} = \{\phi_j\}\ddot{Y}_j\,(w_j,\xi_j)_{\max} = \{\phi_j\}\ddot{Y}_j\,(T_j,\xi_j) \tag{2.38}$$

- Genelleştirilmiş modal spektral deplasman koordinatları, spektral ivme spektrumlarından hareketle yazılabilir;

$$Y_{j,\max} = \frac{\Gamma_j}{w_j^{\,2}} SA(w_j,\xi_j) = \frac{\Gamma_j}{w_j^{\,2}} SA(T_j,\xi_j) \tag{2.39}$$

Modal spektral deplasmanların geometrik koordinatlardaki değerleri ise;

$$\{y_j\}_{\max} = \{\phi_j\}Y_{j,\max} \tag{2.40}$$

2.2.4 Modal Spektral Tepkilerin Toplama Teknikleri

Modal spektral tepkiler, S.R.S.S., C.Q.C. vb. gibi birleştirme yöntemleri ile toplanabilirler.

2.2.5 Etkili Modal Kütle

Sistemin hakim titreşim periyodunun bulunması için modal katılım kütle çarpanının bilinmesi gerekir;

$$L_j = \{\phi_j\}[m]\{1\} \tag{2.41}$$

$$M_j^X = \Gamma_j L_j = \frac{L_j^{\,2}}{M_j} = \frac{\left(\sum_{n=1}^{N} m_n \phi_{nj}\right)^2}{\sum_{n=1}^{N} m_n \phi_{nj}^{\,2}} \tag{2.42}$$

3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM GENEL İLKELERİ

3.1 Genel

Son yıllarda etkili olup büyük can ve mal kaybına yol açan depremler (1994 Northridge – M6.7, 1995 Kobe - M7.2, 1999 Gölcük - M7.4, 1999 Bolu - M7.2), birçok ülkede mevcut deprem yönetmeliklerinin sorgulanması ihtiyacını doğurmuştur. Mevcut deprem yönetmeliklerinin genel amacı, yapıların küçük depremleri hasarsız, orta büyüklükteki depremleri önemli yapısal hasar olmadan ve şiddetli depremleri ise göçme gerçekleşmeden atlatmalarını sağlamaktır. Bu bağlamda Northridge depremi sonrasında, bölgedeki yapıların can güvenliği açısından iyi performans sergiledikleri gözlenirken yapıların kullanım kayıplarının yol açtığı ekonomik kayıplar ve onarım maliyetleri beklenenin üzerinde çıkmıştır (Ghobarah, 2001).

Mevcut yönetmeliklerde yapılar, depremi temsil eden ve çeşitli hesap yöntemleri (eşdeğer statik analiz yöntemi, modal spektral analiz vb.) ile belirlenen etkiye karşı minimum yanal dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanırlar. Tasarımda sınır gerilmeler tanımlanmıştır ve depremde oluşması beklenen eleman iç kuvvetleri, hesap sonucu elde edilen ve depremi temsil eden kat kesme kuvvetlerinden bulunmaktadır. Ancak performans hedefi olarak gerilme sınırlarının yanı sıra yük, deplasman, hedef hasar durumu ya da limit durum alınmalıdır.

Performansa dayalı tasarımda ise, performans; yapıda depremden ya da depremi temsil eden etkiden kaynaklanan hasar ile ölçülür. Ayrıca performansa dayalı tasarımda, belirli deprem etkilerine maruz yapıda, başarılması gereken birçok hedef performans seviyesi yer almaktadır. Deprem güvenlikli tasarımda çoklu performans amaçlarının gerekliliği, bugün için herkes tarafından kabul edilmektedir. Performans ölçütü olarak kullanılan hasar, çeşitli yapısal elemanlar için elastik ötesi deformasyon cinsinden ifade edilir. Mevcut yönetmeliklerde sismik talep ve yapı kapasitesinin karşılaştırılmasında gerilmeler kullanılırken performansa dayalı tasarımda elemanların deformasyonları tercih edilmektedir.

Deprem hesaplarında analizler karmaşıktır. Çünkü;

- Problem dinamik ve doğrusal olmayan karaktere sahiptir.
- Yapısal sistem genelde karmaşıktır.
- Başlangıç bilgileri (yer hareketi, yapısal özellikler) belirsiz ve rastgeledir.

Bugün için en hassas çözüm yöntemi doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz görülse

de günlük kullanım açısından daha pratik analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Aşağıda bu bölümde sıkça kullanılan yapı kapasitesi, deprem talebi ve yapı performansı kavramlarının ne anlama geldikleri kısaca ifade edilmektedir:

Bir yapının kapasitesi, yapıyı oluşturan elemanların her birinin deformasyonu ve kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir. Elastik ötesi kapasitenin hesaplanmasında çeşitli doğrusal olmayan analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Öteleme analizi, bunların içinde en pratik analiz yöntemi olarak görülür.

Belirli bir deprem hareketi için deprem talebi, yapının yer hareketine göstermesi beklenilen en büyük tepkinin ifadesidir.

Bir yapının performansı, yapıya ait kapasite eğrisi ve deprem talep eğrisi tanımlandıktan sonra kolayca belirlenir. Yapısal ve yapısal olmayan elemanlar, önceden seçilen performans amaçlarına ait kabul limit değerlerinin ötesinde hasara sahip olmamalıdır.

Performansa dayalı tasarım için günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Fema 273, Seoc Vision 2000 ve ATC40 dokümanları bu alanda yapılan çalışmalara temel teşkil etmektedir.

3.1.1 SEOC VISION 2000 (SEOC, 1995)

Bu çalışmanın amacı, tahmin edilebilir sismik performansa göre yapının tasarımına yön verecek yöntemleri geliştirmek ve çoklu performans amaçlarını karşılamayı başarmaktır. Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri tanımlanmaktadır. Performans seviyelerinin tanımlanmasında ise kalıcı ve geçici göreli kat ötelemeleri belirleyici olmaktadır. Tasarım yöntemi olarak; geleneksel kuvvet ve dayanım metodu, deplasmana dayalı tasarım ve enerji yaklaşımları önerilmektedir.

3.1.2 ATC 40 (ATC, 1996)

Bu çalışma, sadece betonarme yapıların incelenmesi, değerlendirilmesi ve güçlendirilmesine yönelik olmasına karşın içerdiği analiz yöntemleri diğer tüm binalar için de kullanılabilir. Mevcut binalar için verilen kurallar ve analiz yöntemleri, yeni binaların projelendirilmesinde de temel alınabilir. Kapasite spektrum metoduna dayalıdır. Yapı kapasite eğrisi, öteleme analizi sonucu elde edilen öteleme eğrisinin, spektral ivme - deplasman formatına dönüştürülmesi sonucu elde edilir. Yüksek sönümlü elastik spektra ise deprem talebini temsil eder. Performans noktasında sismik kapasite ve sismik talep birbirlerine eşittir.

3.1.3 FEMA273 (FEMA, 2000)

Yer hareketine bağlı olarak farklı performans amaçları sunar. Yapısal olmayan elemanlar için de performans seviyeleri tanımlamaktadır. Performans seviyeleri için göreli öteleme sınırları getirir. Depremin yapıdan talebini temsil eden hedef deplasman kavramını tanımlar. Hedef deplasmanı ise deplasman katsayıları metodu ile belirler.

3.2 Performans Seviyeleri

Bir yapının performans seviyesi; depremden sonra ortaya çıkması beklenen hasara, bina içinde bulunan insanların can güvenliğine ve depremden sonra binanın hizmet verebilmesine bağlı olarak tanımlanır. Yapı performansı, yapısal ve yapısal olmayan elemanların performanslarının kombinasyonudur. Hedeflenen performans seviyesi ise yapısal ve yapısal olmayan elemanlar için ayrı ayrı ifade edilmektedir.

3.2.1 Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları (Fema356, 2000)

Deprem etkilerini karşılayan taşıyıcı sistem elemanlarında depremden kaynaklanan muhtemel hasara ve bu hasarın binanın kullanımındaki etkisine bağlı olarak 4 adet yapısal performans seviyesi ve 2 adet yapısal performans aralığı tanımlanmaktadır;

Çizelge 3.1 Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları (Celep vd., 2000)

Performans Seviyesi	Performans Aralığı	Tanım
S-1		Hemen Kullanım Performans Seviyesi
	S-2	Hasar Kontrollü Performans Aralığı
S-3		Can Güvenliği Performans Seviyesi
	S-4	Sınırlı Güvenli Yapısal Performans Aralığı
S-5		Göçme Önlenmesi Performans Aralığı

3.2.1.1 S-1; Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi

Deprem sonrası hasar durumu çok sınırlıdır. Yerleşim ve kullanım için herhangi bir engel teşkil etmemektedir. Taşıyıcı sistemin deprem öncesi sahip olduğu dayanım ve rijitlik büyük ölçüde korunmaktadır.

3.2.1.2 S-2; Hasar Kontrollü Yapısal Performans Aralığı

Mevcut deprem yönetmeliklerinde, yeni yapılar için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (dönüş

periyodu 474 yıl) depremler için öngörülen performans aralığıdır. Hemen kullanım ve can güvenliği performans seviyeleri arasındaki bölüme tekabül eder. Bu aralıkta, yapısal elemanlarda kontrollü bir hasarın olmasının yanında can güvenliği de sağlanmaktadır.

3.2.1.3 S-3; Can güvenliği Yapısal Performans Seviyesi

Deprem sonrasında yapıda önemli hasarlar olmasının yanında yerel ya da genel göçmeye karşı sınırlı da olsa bir emniyet söz konusudur. Depremden kaynaklanan yaralanmalar olabilir. Ancak yapısal hasardan kaynaklanan yaşam riski tehlikesi çok düşüktür. Yapının onarımı ise ekonomik değildir.

3.2.1.4 S-4; Sınırlı Güvenli Yapısal Performans Aralığı

Sınırlı güvenli yapısal performans aralığı, can güvenliği ile göçme önlenmesi performans seviyeleri arasındaki bölümdür.

3.2.1.5 S-5; Göçme Önlenmesi Yapısal Performans Seviyesi

Deprem sonrası yapısal elemanlar düşey yükleri taşısa da göçmeye karşı bir emniyet kalmamıştır. Deprem kuvvetlerini karşılayan elemanların dayanım ve rijitliklerinde kalıcı azalmalar ve büyük yanal deformasyonlar oluşmuştur. Yapının onarımı teknik açıdan pratik değildir ve artçı sarsıntılarda göçme gerçekleşebilir. Yeni binaların tasarımında, maksimum deprem seviyesi için bu performans seviyesi baz alınabilir.

3.2.2 Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri (Fema356, 2000)

Yapısal olmayan performans seviyeleri, yapının yapısal olmayan elemanlarında ve sistemlerde, depremden kaynaklanan hasar ve kullanım kaybına bağlı olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.2 Yapısal olmayan performans seviyeleri (Celep vd., 2000)

Performans Seviyesi	Tanım
N-A	İşlevsel Performans Seviyesi
N-B	Hemen Kullanım Performans Seviyesi
N-C	Can Güvenliği Performans Seviyesi
N-D	Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi

3.2.2.1 N-A; Yapısal Olmayan İşlevsel Performans Seviyesi

Yapı içerisindeki bütün makine ve teçhizat çalışmaktadır. Yapısal olmayan elemanların çalışmasına engel teşkil eden bir durum söz konusu değildir.

3.2.2.2 N-B; Yapısal Olmayan Hemen Kullanım Performans Seviyesi

Yapısal olmayan elemanlarda kolayca giderilebilen hasarlar beklenilebilir.

3.2.2.3 N-C; Yapısal Olmayan Can Güvenliği Performans Seviyesi

Yapısal olmayan sistemler, onarım veya yenileme olmadan çalışmazlar.

3.2.2.4 N-D; Yapısal Olmayan Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi

Yaygın bir yapısal olmayan hasar söz konusudur.

3.2.3 Bina Performans Seviyesi (Fema356, 2000)

Bina performans seviyesi; yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans seviyelerinin bir kombinasyonudur.

Çizelge 3.3 Bina performans seviyeleri tanımı (Celep vd., 2000)

Bina Performans Seviyesi	Yapısal Olan ve Olmayan Performans Seviyeleri	Tanım
1-A	S-1 N-A	İşlevsel Çok az hasar. Yedek sistemlerin devreye girmesi ile kullanıma devam ediliyor
1-B	S-1 N-B	Hemen Kullanım Bina kullanıma uygun, küçük onarımlar gerekli
3-C	S-3 N-C	Can Güvenliği Taşıyıcı sistemde önemli kapasite var. Taşıyıcı olmayan sistem için hasar kontrollü
5-E	S-5	Göçme Önlenmesi

3.2.3.1 1-A; İşlevsel Bina Performans Seviyesi

Yapısal elemanlarda hemen kullanım ve yapısal olmayan elemanlarda da işlevsel performans

seviyelerinin görülmesi halidir. Deprem sonrası yapı kullanıma uygundur. Birçok bina için küçük şiddetteki depremlerde istenilen performans seviyesidir. Şiddetli depremlerde ise önemli yapılar hariç binaların bu seviyeye göre boyutlandırılması ekonomik değildir.

3.2.3.2 1-B; Hemen Kullanım Bina Performans Seviyesi

Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hemen kullanım performans seviyelerinin görülmesi halidir. Şiddetli depremler sonrasında yapı kullanıma hazır olsa da yapısal olmayan elemanlarda arızalar görülmesi muhtemeldir.

3.2.3.3 3-C; Can Güvenliği Bina Performans Seviyesi

Yapısal ve yapısal olmayan elemanların can güvenliği performans seviyesine sahip olduğu durumdur.Hem yapısal elemanlarda hem de yapısal olmayan elemanlarda yoğun hasar söz konusudur. Şiddetli depremlerde binalardan istenilen performans seviyesidir.

Çizelge 3.4 Yapısal olan ve olmayan performans seviyelerinin kombinasyonu (Celep vd., 2000)

Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri				
	S-1 Hemen Kullanım	S-2 Hasar Kontrollü	S-3 Can Güvenliği	S-4 Sınırlı Güvenli	S-5 Göçme Önlenmesi
N-A (İşlevsel)	1-A İşlevsel	2-A			
N-B (Hemen Kullanım)	1-B Hemen Kullanım	2-B	3-B		
N-C (Can Güvenliği)	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği	4-C	5-C
N-D (Azaltılmış Hasar)		2-D	3-D	4-E	5-E

3.2.3.4 Göçmenin Önlenmesi Bina Performans Seviyesi

Yapısal elemanların göçme önlenmesi performans seviyesinde olması halidir.

3.2.3.5 3-B Bina Performans Seviyesi

Yapısal elemanlardaki hasar binanın kullanımı için engel teşkil etmez.

3.2.3.6 3-D Bina Performans Seviyesi

Yapısal elemanlarda can güvenliği ve yapısal olmayan elemanlarda da azaltılmış hasar performans seviyesi söz konusudur.

3.3 Deprem Etki Seviyeleri (Celep vd., 2000)

Yapının performans analizi öncesinde deprem etki seviyesi belirlenmelidir. Deprem etki seviyesi, depremin 50 yıl içinde aşılma olasılığı veya benzer büyüklükteki depremler arasındaki ortalama zaman aralığı tanımından hareket ederek ifade edilir. Yaygın olarak kullanılan deprem etki seviyeleri aşağıda izah edilmiştir;

3.3.1 Kullanım Depremi (SE)

50 yıl içinde aşılma olasılığı %50 olan ve dönüş periyodu 72 yıl kabul edilen depremdir

3.3.2 Tasarım Depremi (DE)

50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan ve dönüş periyodu 474 yıl kabul edilen depremdir. Mevcut yönetmeliklere göre yeni yapıların sismik tasarımında bu deprem etki seviyesi temel alınmaktadır.

3.3.3 Maksimum Deprem (ME)

50 yıl içinde aşılma olasılığı %2 olan ve dönüş periyodu 2475 yıl kabul edilen depremdir.

Çizelge 3.5 Deprem etki seviyeleri (Celep vd., 2000)

Tanım	Aşılma Olasılığı	Zaman Aralığı	Ortalama Dönüş Periyodu
Sık	%50	50 yıl	72 yıl
Arasıra	%20	50 yıl	225 yıl
Seyrek (Tasarım Depremi)	%10	50 yıl	474 yıl
Çok Seyrek (Maksimum Deprem)	%2	50 yıl	975 yıl

3.4 Performans Amaçları

Performans amaçları; yapıların, kullanım amaçları için sağlaması gereken en düşük performans seviyelerinin ifadesidir. İsteğe bağlı olarak yapı sahipleri burada ifade edilen tasarım performans amaçlarının dışında özel performans amacı da belirleyebilirler. Performansa dayalı tasarımda performans amacının belirlenmesi analizin ilk adımını oluşturur. Aşağıda üç çeşit performans amacı tanımlanmaktadır;

3.4.1 Güvenlik Açısından Kritik Tesisler

Etrafa yayıldığı takdirde, insanlar için ciddi tehlike arz eden maddelerin büyük miktarda tutulduğu tesisleridir. Bu maddelere örnek olarak radyoaktif maddeler, patlayıcı ve zehirli maddeler verilebilir.

Çizelge 3.6 Güvenlik açısından kritik tesisler performans amacı

Deprem Tasarım Seviyesi	Minimum Performans Seviyesi
Sık	İşlevsel
Arasıra	İşlevsel
Seyrek	İşlevsel
Çok Seyrek	Hemen Kullanım

3.4.2 Kritik Tesisler

Deprem sonrası çalışmalar için kritik öneme sahip olan tesislerdir. Bu tesislere örnek olarak ise hastane, itfaiye, polis merkezleri ve barınma yerleri verilebilir.

Çizelge 3.7 Kritik tesisler performans amacı

Deprem Tasarım Seviyesi	Minimum Performans Seviyesi
Sık	İşlevsel
Arasıra	Hemen Kullanım
Seyrek	Hemen Kullanım
Çok Seyrek	Can Güvenliği

3.4.3 Bina Türü Yapılar

Yukarıda ifade edilen iki gruba dahil olmayan tüm tesisler bu gruba girerler.

Çizelge 3.8 Bina türü tesisler performans amacı

Deprem Tasarım Seviyesi	Minimum Performans Seviyesi
Sık	İşlevsel
Arasıra	Hemen Kullanım
Seyrek	Can Güvenliği
Çok Seyrek	Göçme Önlenmesi

3.5 Performans Değerlendirmesi

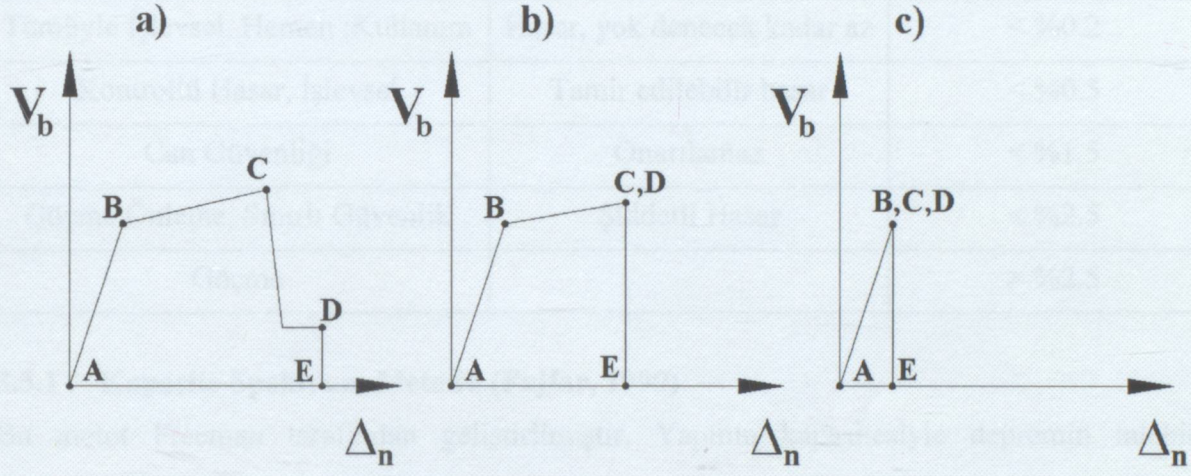
Elastik analiz, yapıların elastik kapasitelerinin belirlenmesinde başarılı bir hesap yöntemidir. Ancak göçme mekanizmasını tahmin edemez ve akma sonrasında iç kuvvetlerin yeniden dağılımını dikkate alamaz. Elastik ötesi analiz yöntemleri, elastik yöntemlere göre yapının gerçek davranışını daha iyi yansıtırlar. Şiddetli depremler için yapının elastik kapasitesinin aşılması halinde, tasarım ve performans değerlendirmesi için elastik ötesi analiz yöntemleri tercih edilmelidir.

Mevcut yapıların performans değerlendirmelerinde, basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Yapıların gerçekçi tepkisini belirlemek için en hassas çözüm yöntemi ise doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizdir. Ancak bu analiz yöntemi, karmaşık olmasının yanı sıra genel kullanım için pratik değildir. Bu yüzden performans değerlendirmesinde, daha pratik ve genel kullanıma elverişli analiz yöntemi geliştirme ihtiyacı doğmuştur. Basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemi geliştirme çalışmalarında, günümüzde iki yöntem öne çıkmaktadır;

- Kapasite Spektrum Yöntemi (ATC40)
- Deplasman Katsayıları Yöntemi (FEMA273-FEMA356)

Öteleme eğrisi; yapının, depremi temsil eden yatay bir yükleme altında hedef (talep) deplasmana kadar itilmesiyle elde edilir. Eğrinin düşey eksenini taban kesme kuvveti (V_b), yatay eksenini ise kontrol düğüm noktası deplasmanı oluşturmaktadır. Sistemin davranışlarına bağlı olarak bu eğri Şekil 3.1'de gösterildiği gibi basitleştirilebilir. Şekil 3.1'de (a) eğrisi sünek, (c) eğrisi ise gevrek davranışı temsil etmektedir. İtme eğrisinin elastik bölgesinde davranış doğrusaldır. Ancak elemanlarda plastik mafsalların oluşmasıyla birlikte eğrinin eğimi azalır ve eğri yatık hale gelir. Analiz için uygulanan yatay yük dağılımı olarak ta yapının hakim titreşim mod şekli alınabilir. Yapının dinamik davranışında tek bir titreşim modunun etkili olması halinde bu yaklaşım tutarlı olsa da yüksek titreşim modlarının da dinamik davranışta belirleyici olduğu durumlarda ve planda düzensiz yapılarda bu yöntem

hassasiyetini kaybetmektedir. Yapının analizi sırasında yatay yükler adım adım arttırılmaktadır. Her adımda kesitlerdeki plastik şekil değiştirmeler sonucu oluşan rijitlik değişimi göz önüne alınmaktadır. Analiz sırasında yatay yükler arttırılırken kolon ve kesitlerin uç kısımlarındaki kritik kesitler kontrol edilerek, kesitin moment taşıma kapasitesine erişildikten sonraki yüklemelerde moment artmadan kesitin döndüğü kabul edilebilir. Böylece bulunan taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı eğrisi, dönüşüm formülleri yardımıyla kapasite eğrisine dönüştürülür.



Şekil 3.1 Tipik öteleme eğrileri (Celep vd., 2000)

Yapısal elemanların performans değerlendirmesi yapılırken plastik mafsal dönmeleri temel alınabilir. Bu değerler, yönetmeliklerde yer alan sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanın performansı hakkında bilgi edinilebilir. Yapısal sistem için ise göreli kat ötelemeleri, basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde eleman dönme değerlerine göre daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. (3.1) denkleminde göreli kat ötelemesi değerinin nasıl hesaplanacağı verilmiştir. Buna göre;

$$d_i = \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{\Delta h_i} \tag{3.1}$$

δ_i : (i)'inci katın yanal deplasmanı

δ_{i-1} : (i-1)'inci katın yanal deplasmanı

Δh_i : (i)'inci katın kat yüksekliği

d_i : (i)'inci katın göreli kat ötelemesi

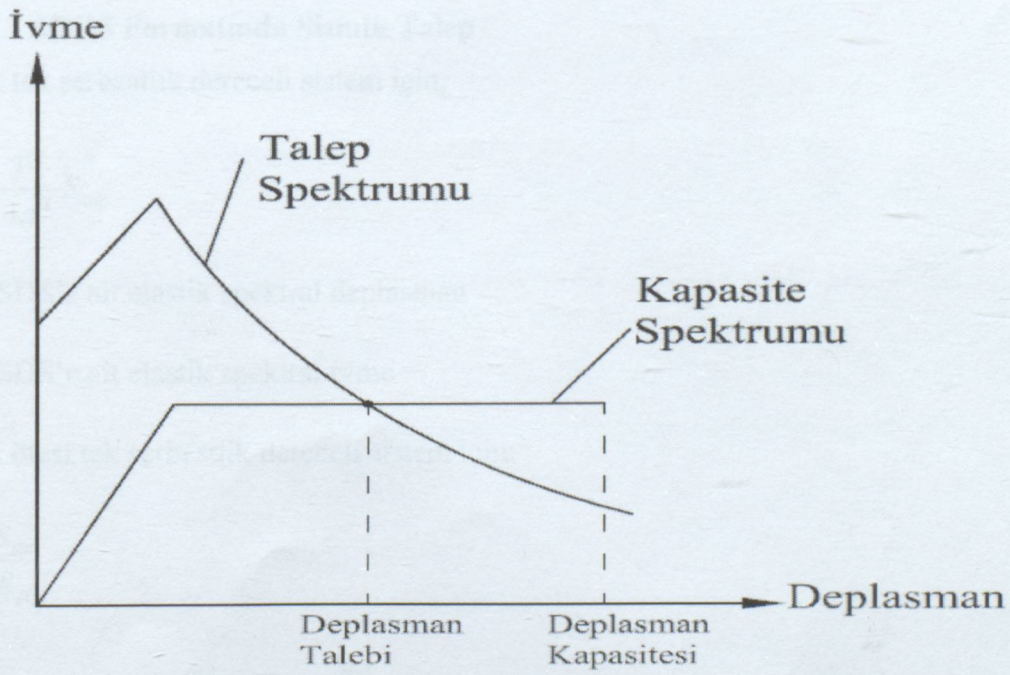
Fema356'da göreli kat ötelemeleri için performans sınır değerleri belirlenmiştir. Katlara ait göreli öteleme değerleri, bu sınır değerler ile karşılaştırılarak sistem performansı hakkında sonuca varılabilir. Çizelge 3.9'da performans seviyelerine göre Fema356'da tanımlanmış göreli kat ötelemesi sınır değerleri verilmiştir;

Çizelge 3.9 Göreli Öteleme Sınır Değerleri (Fema356, 2000)

PERFORMANS SEVİYESİ	HASAR DURUMU	GÖRELİ ÖTELEME
Tümüyle İşlevsel, Hemen :Kullanım	Hasar, yok denecek kadar az	< %0.2
Kontrollü Hasar, İşlevsel	Tamir edilebilir hasar	< %0.5
Can Güvenliği	Onarılamaz	< %1.5
Göçme Önleme, Sınırlı Güvenlik	Şiddetli Hasar	< %2.5
Göçme		> %2.5

3.5.1 Kapasite Spektrum Metodu (Fajfar, 1999)

Bu metot Freeman tarafından geliştirilmiştir. Yapının kapasitesiyle depremin talebini grafiksel yöntemle karşılaştırır.



Şekil 3.2 Talep ve kapasite spektrumları (Fajfar, 1999)

Yapının kapasite eğrisi, öteleme analizinden elde edilen kuvvet – deplasman eğrisinden sağlanır. Taban kesme kuvvetleri ve kontrol düğüm noktası deplasmanları eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral ivme ve deplasmanlarına dönüştürülür. Bu spektral değerler de kapasite eğrisini oluşturur. Bu yöntemde deprem talebi, yüksek sönümlü elastik spektra ile tanımlanmaktadır. Her iki eğri ADRS (ivme – deplasman tepki spektrumu) formatındadır. Kapasite ve tepki spektrumlarının kesiştiği noktadan hareketle depremin elastik ötesi ivme ve deplasman talebine geçilmektedir.

Bu yöntemin tartışmalı kısımlarından bir tanesi, deprem talebinin temsilinde yüksek sönümlü elastik spektranın kullanımıdır. Bu yüzden Vision 2000'de bu yöntemin teorik açıdan temellerinin sorunlu olduğu ifade edilmektedir.

Deprem talebinin tanımlanması konusunda iki farklı yaklaşım ortaya çıkmıştır. Biri, Fema273 dokümanlarında yer alan deplasman katsayıları metodudur. Bu yönteme bir sonraki bölümde değinilecektir. Diğeri ise ATC40'ın baz aldığı kapasite spektrum metodudur.

Orijinal kapasite spektrum metodunun kusurlarını gidermek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Reinhern, eşdeğer sönümlü elastik spektra yerine ADRS formatında elastik ötesi spektra kullanılmasını önermiştir. Fajfar ise bu öneriyi formüle ederek N2 metodunu geliştirmiştir (Fajfar, 1999).

3.5.1.1 ADRS Formatında Sismik Talep

Elastik tek serbestlik dereceli sistem için;

$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae} \tag{3.2}$$

S_{de} : TSDS'e ait elastik spektral deplasman

S_{ae} : TSDS'e ait elastik spektral ivme

Elastik ötesi tek serbestlik dereceli sistem için;

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R_\mu} \tag{3.3}$$

$$S_d = S_{de} \frac{\mu}{R_\mu} = \frac{\mu}{R_\mu} \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae} = \frac{\mu T^2}{4\pi^2} S_a \tag{3.4}$$

$$\mu = \frac{u_{\max}}{u_y} \tag{3.5}$$

S_a : TSDS'e ait elastik ötesi spektral ivme

S_d : TSDS'e ait elastik ötesi spektral deplasman

R_μ : Azaltma faktörü

μ : Düktilite

u_{max} : En büyük deplasman

u_y : Akma deplasmanı

Deprem yönetmeliklerinde yer alan davranış azaltma katsayısı *(R)* ile azaltma faktörü *(R_μ)* aynı değerler değildir. Aralarındaki ilişki ise (3.6) denkleminde verilmektedir;

$$R = R_\mu R_s \tag{3.6}$$

R_μ değeri için;

$$T \le T_0 \Rightarrow R_\mu = (\mu - 1)\frac{T}{T_0} + 1 \tag{3.7}$$

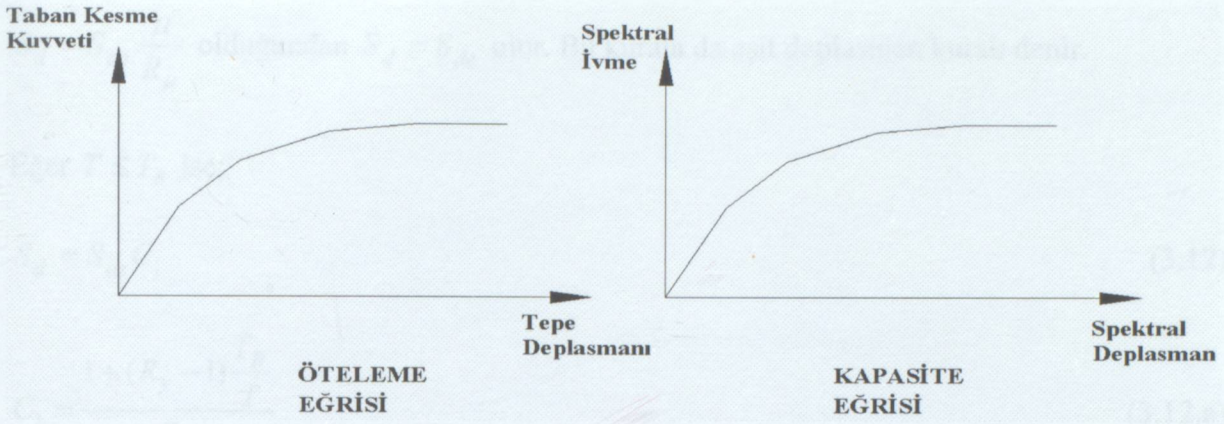
$$T \ge T_0 \Rightarrow R_\mu = \mu \tag{3.8}$$

$$T_0 = 0.65\mu^{0.3} T \le T_B \tag{3.9}$$

(3.9) denklemi için T_0=T_B basitleştirilmesinin yapılması da mümkündür.

3.5.1.2 Öteleme Eğrisinden Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi

Öteleme eğrisinin taban kesme kuvveti – çatı deplasmanı değerlerinden oluşan koordinatları, aşağıdaki formüller yardımıyla kapasite spektrumuna ait koordinatlara dönüştürülür.



Şekil 3.3 Öteleme eğrisi ve kapasite eğrisi

$$S_a = \frac{V_T}{M_{eff}} \tag{3.10}$$

$$M_{eff} = \alpha_1 M \tag{3.10.a}$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{N} m_i \phi_{i,1}\right]^2}{\left[\sum_{i=1}^{N} m_i\right]\left[\sum_{i=1}^{N} m_i \phi_i^{\,2}\right]} \tag{3.10.b}$$

$$S_d = \frac{u}{\Gamma \phi_1} \tag{3.11}$$

$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^{N} m_i \phi_{i,1}}{\sum_{i=1}^{N} m_i \phi_{i,1}^{\,2}} \tag{3.11.a}$$

M : Toplam kütle

M_{eff} : Etkili modal kütle

α : Modal kütle katılım çarpanı

Γ : Modal katılım çarpanı

Eğer $T \geq T_B$ ise $R_\mu = \mu$ olur. Dolayısıyla;

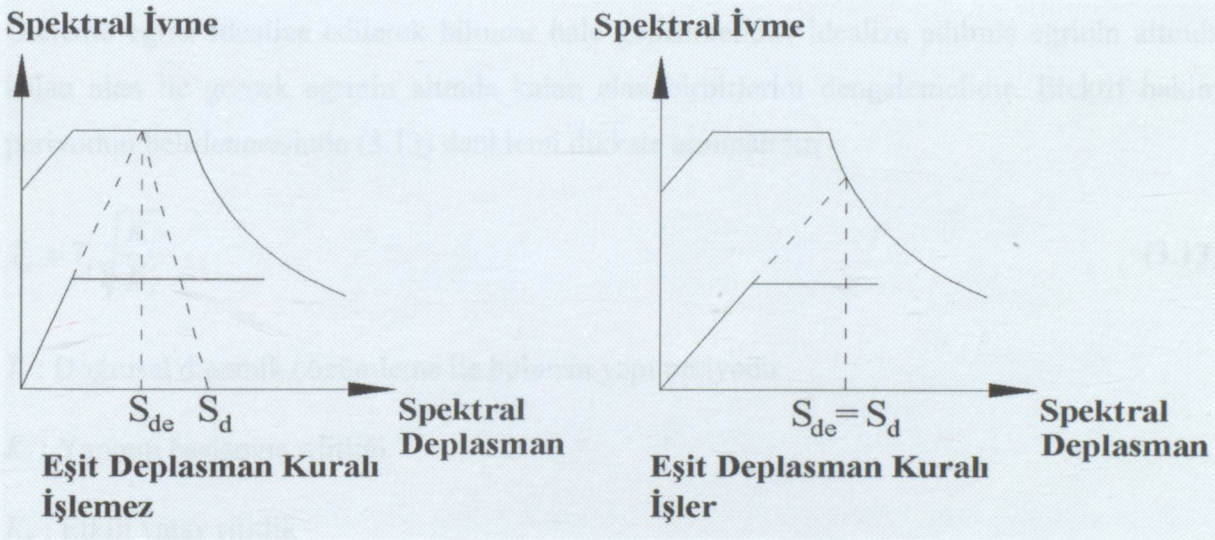
$S_d = S_{de}\frac{\mu}{R_\mu}$ olduğundan $S_d = S_{de}$ olur. Bu kurala da eşit deplasman kuralı denir.

Eğer $T \leq T_B$ ise;

$$S_d = S_{de} C_1 \tag{3.12}$$

$$C_1 = \frac{1+(R_y-1)\frac{T_B}{T}}{R_y} \tag{3.12.a}$$

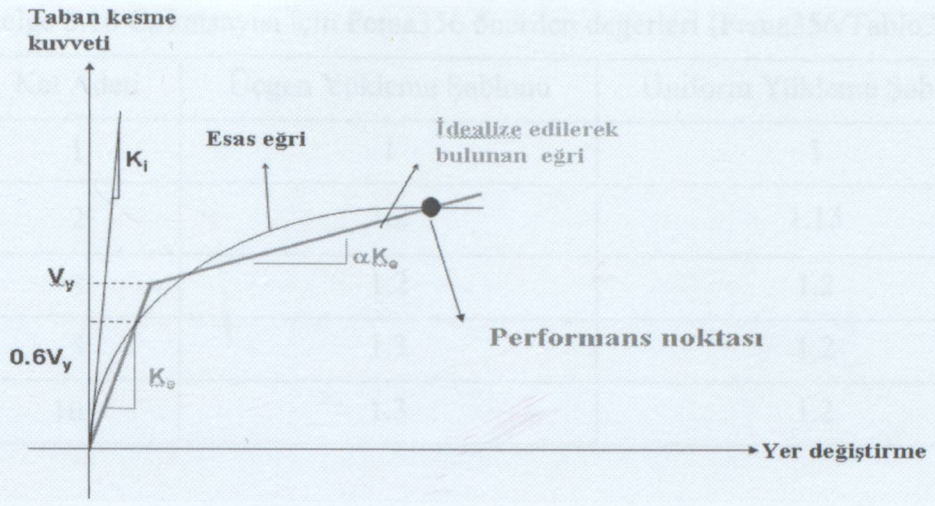
$$R_y = \frac{S_{ae,1}}{a_{y,1}} \tag{3.12.b}$$



Şekil 3.4 Eşit deplasman kuralı

3.5.2 Deplasman Katsayıları Metodu (Fema356, 2000)

Bu yöntem, Fema273,356 dokümanlarında detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Bu metodun temeli; yapıda, depremde oluşması beklenen en büyük deplasmanı temsil eden hedef deplasmana dayanır. Hedef deplasmanın uygulanacağı kontrol düğüm noktası, en üst kat ağırlık merkezinde olmalıdır. Birden fazla yanal yük şablonunun uygulanması, analiz sonuçlarını daha hassas hale getirmektedir. Birinci yükleme şablonu olarak hakim mod şekli, ikinci yükleme şablonu olarak ise her bir katın kütlesiyle orantılı olacak şekilde yanal yükün üniform dağılımı alınabilir.



Şekil 3.5 İdealize edilmiş bilinear öteleme eğrisi (Polat vd., 2003)

Öteleme eğrisi idealize edilerek bilinear hale getirilmelidir. İdealize edilmiş eğrinin altında kalan alan ile gerçek eğrinin altında kalan alan birbirlerini dengelemelidir. Efektif hakim periyodun belirlenmesinde (3.13) denklemi dikkate alınmalıdır;

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \tag{3.13}$$

T_i : Doğrusal dinamik çözümleme ile bulunan yapı periyodu

K_i : Yapının başlangıç rijitliği

K_e : Etkili yatay rijitlik

Hedef deplasmana ise;

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e}{4\pi^2} g \tag{3.14}$$

C_0 : Tek serbestlik dereceli sistemin spektral deplasmanı ile çok serbestlik dereceli sistemin spektral deplasmanını ilişkilendiren katsayı;

- Kontrol düğüm noktasına ait hakim titreşim modunun katılım çarpanı
- Fema356 Tablo 3.2'den alınacak değer
- Hedef deplasmana kadar yer değiştirmiş sistemin şekil vektörü ile çarpılan modal katılım çarpanı olarak alınabilir.

Çizelge 3.10 C_o katsayısı için Fema356 önerilen değerleri (Fema356/Tablo3.2, 2000)

Kat Adeti	Üçgen Yükleme Şablonu	Üniform Yükleme Şablonu
1	1	1
2	1.2	1.15
3	1.2	1.2
5	1.3	1.2
10+	1.3	1.2

C_1 : Doğrusal elastik tepki için hesaplanan deplasmanlarla beklenilen en büyük elastik ötesi deplasmanları ilişkilendiren katsayı

$$T_e \geq T_B \Rightarrow C_1 = 1 \tag{3.15}$$

$$T_e < T_B \Rightarrow C_1 = 1 + \frac{(R-1)T_B}{T_E} \tag{3.16}$$

$$R = \frac{S_a}{V_y / W_g} C_m \tag{3.16.a}$$

W_g etkili sismik ağırlığı, C_m katsayısı ise etkili kütle katsayısını ifade eder. C_m katsayısı Fema356'da tanımlanan hallerde modal katılım kütle çarpanı değerine eşit alınabilir.

C_2 : En büyük deplasman seviyesindeki dayanım ve rijitlik azalmalarını yansıtan katsayı. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri için 1 alınabilir. Diğer hallerde ise Fema356/Tablo3.3'ten okunabilir.

C_3 : Dinamik P-Δ etkisini yansıtan katsayıdır. Akma sonrası pozitif rijitliğe sahip yapılarda 1 alınabilir. Akma sonrası negatif rijitliğe sahip yapılarda ise;

$$C_3 = 1 + \frac{|\alpha|(R-1)^2}{T_e} \tag{3.17}$$

α katsayısı; efektif elastik rijitliğin akma sonrası rijitliğe oranıdır.

Çizelge 3.11 C_2 katsayısı için Fema356 önerilen değerleri (Fema356/Tablo3.3, 2000)

	T≤0.1sn.		T≥0.1sn.	
Yapısal Performans Seviyesi	Çerçeve Tipi 1	Çerçeve Tipi 2	Çerçeve Tipi 1	Çerçeve Tipi 2
Hemen Yerleşim	1	1	1	1
Can Güvenliği	1.3	1	1.1	1
Göçme Önleme	1.5	1	1.2	1

Kat kesme kuvvetinin %30'undan fazlasını karşılayan elemanların rijitlik ve dayanımlarında deprem etkisinde azalma meydana geliyorsa, bu sistemler *Çerçeve Tipi 1*, bunun dışındakiler ise *Çerçeve Tipi 2* olarak tanımlanırlar (Fema356, 2000).

3.5.3 Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemlerinin Kusurları ve Bunları Gidermeye Yönelik Yapılan Çalışmalar

Basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemleri öteleme analizine dayanır. Bu yöntemin temel aracı, verilen bir deprem etkisine maruz yapıda, oluşan en büyük deplasman ve plastik şekil değiştirmeleri belirlemek, daha sonra bu talep değerlerinin önceden seçilmiş olan performans düzeyleri için tanımlanmış şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması ve buna bağlı olarak performans değerlendirmesinin yapılmasıdır. Ancak basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin problemli yanları ve kullanımıyla ilgili kısıtlamalar da bulunmaktadır. Yöntemin teorik temelleri henüz tam anlamıyla ortaya konulamamıştır. Ayrıca yöntemin gelişimi hala büyük ölçüde sezgisel olarak devam etmektedir.

Bugün için gelinen noktada doğrusal olmayan statik yöntemin en önemli sakıncası; göz önüne alınan dinamik davranışın tek bir serbest titreşim modu ile sınırlı olmasıdır. Bu sebeple yöntem sadece iki boyutlu davranış gösteren az katlı ve planda düzenli binalar için güvenle uygulanabilir. Mevcut haliyle, üç boyutlu davranış gösteren planda düzeniz binalar için kullanılması yanlış olur.

Yöntemle ilgili sakıncaları gidermek için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada bu araştırmalar içinde en çok dikkat çeken iki öneri ele alınmaktadır.

3.5.3.1 Modal İtme Analizi

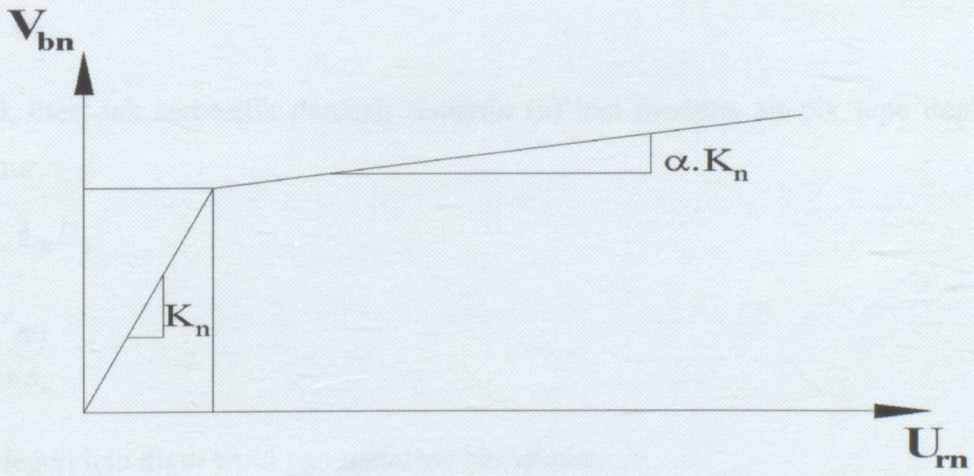
Chopra ve Goel (Chopra vd., 2002) tarafından geliştirilen modal öteleme analizi yönteminde, göz önüne alınan her bir mod için ilgili mod şekli ile orantılı yanal yük dağılımı esas alınarak

öteleme analizi yapılır. Ele alınan her bir mod için modal öteleme eğrileri elde edilir. Elde edilen öteleme eğrilerinin koordinatları, ilgili modlar için tanımlanan tek serbestlik dereceli sistemin koordinatlarına dönüştürülmekte ve her bir mod için deprem talepleri hesaplanmaktadır. Son aşamada ise modal istemler uygun bir mod birleştirme kuralı ile (C.Q.C, S.R.S.S vb.) birleştirilerek deprem tepkileri hesaplanmaktadır.

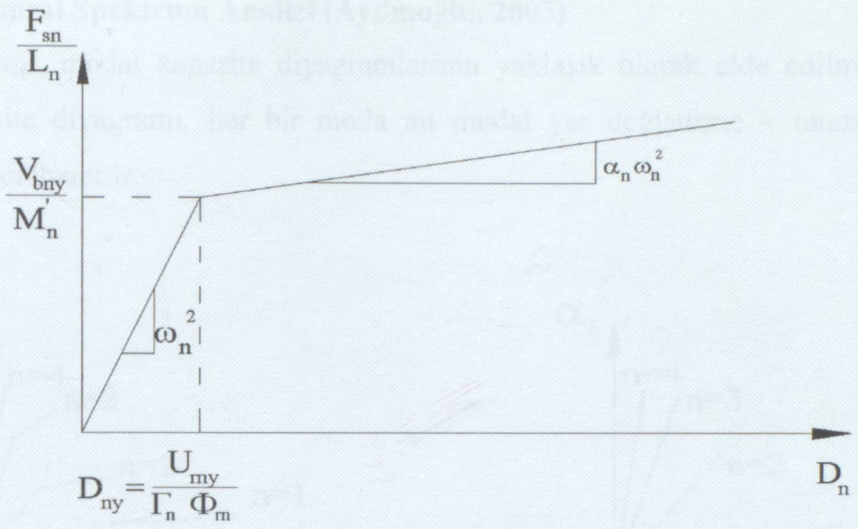
Modal öteleme analizi, tek modlu öteleme analizinde yapılan işlemlerin her bir mod için ayrı ayrı yapılmasına dayanmaktadır. Bu yöntemin en tartışmalı tarafı ise doğrusal sistemler için geçerli olan birbirinden bağımsız modal davranışın, doğrusal olmayan sistemlere uygulanmasıdır.

Modal öteleme analiz yöntemi aşağıdaki adımlarla özetlenebilir:

- Yapının doğrusal elastik titreşimi için ϕ_n, ω_n bulunur.
- n. moda ait taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı eğrisi geliştirilir.
- Geliştirilen öteleme eğrisi bilinear hale idealize edilir.
- İdealize edilmiş öteleme eğrisi, elastik ötesi tek serbestlik dereceli sistemin n. modunun kuvvet - deformasyon eğrisine dönüştürülür. Daha sonra elastik titreşim periyodu ve akma deformasyonu hesaplanır.



Şekil 3.6 Bilinear öteleme eğrisi (Chopra vd., 2002)



Şekil 3.7 Elastik ötesi TSDS'in (n)'inci moduna ait idealize edilmiş kuvvet – deformasyon eğrisi (Chopra vd., 2002)

- Elastik ötesi tek serbestlik dereceli sistemin (n)'inci moduna ait pik deformasyonlar hesaplanır.

$$\ddot{D}_n + 2\,\xi\, w_n \dot{D}_n + \frac{F_{sn}(D_n, \dot{D}_n)}{L_n} = -\ddot{v}_g(t) \tag{3.18}$$

$$L_n = \phi_n^T m 1 \tag{3.18.a}$$

- Elastik ötesi tek serbestlik dereceli sistemin (n)'inci moduna ait pik tepe deplasmanları bulunur.

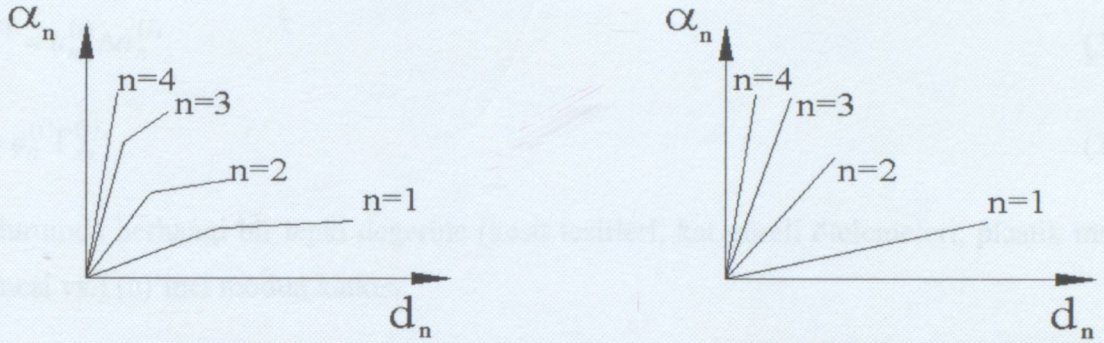
$$u_{rno} = \Gamma_n \phi_{rn} D_n \tag{3.19}$$

$$\Gamma_n = \frac{\phi_n^T m 1}{\phi_n^T m \phi_n} \tag{3.20}$$

- u_{rno} değeri için diğer tepki parametreleri hesaplanır.
- Yeterli ölçüde hassaslık elde edilinceye kadar 3 – 7 arası işlemler, alınması gerekli diğer modlar için de tekrarlanır.
- Toplam tepki ise (r_{mpa}), pik modal tepkilerin uygun mod birleştirme yöntemleri ile kombine edilmesi sonucu elde edilir.
- $$r_{mpa} = \left(\sum_{n=1}^{N} r_{no}^2 \right)^{1/2} \tag{3.21}$$

3.5.3.2 Artımsal Spektrum Analizi (Aydınoğlu, 2003)

ARSA yöntemi, modal kapasite diyagramlarının yaklaşık olarak elde edilmesine dayanır. Modal kapasite diyagramı, her bir moda ait modal yer değiştirme – modal sözde ivme diyagramından ibarettir.



Doğrusal olmayan modal kapasite diyagramı

Doğrusal modal kapasite diyagramı

Şekil 3.8 Doğrusal ve doğrusal olmayan modal kapasite diyagramları (Aydınoğlu, 2003)

Bu yöntemde, birbirini izleyen plastik mafsal oluşumları arasındaki her bir öteleme adımında, doğrusal davranış gösteren taşıyıcı sistemde, modal analiz bünyesinde mod birleştirme yöntemlerinin kullanılmasını ve spektrum analizinin artımsal olarak uygulanmasını öngörür. Bundan dolayı her bir öteleme adımı için, bu adım öncesi oluşan her bir plastik mafsalın göz önüne alındığı serbest titreşim analizi yapılmalıdır.

Çok serbestlik dereceli sistemde (i-1)'inci ve (i)'inci plastik mafsal oluşumları arasında öteleme adımında yer değiştirme vektörü artımına (n)'inci modun katkısı;

$$\Delta u_n^{(i)} = \phi_n^{(i)} \Gamma_{xn}^{(i)} \Delta d_n^{(i)} \tag{3.22}$$

$$\Delta d_n^{(i)} = d_n^{(i)} - d_n^{(i-1)} \tag{3.23}$$

Eşdeğer deprem yükü artımı ise;

$$\Delta f_{sn}^{(i)} = M \phi_n^{(i)} \Gamma_{xn}^{(i)} \Delta a_n^{(i)} \tag{3.24}$$

$$\Delta a_n^{(i)} = \left(w_n^{(i)}\right)^2 \Delta d_n^{(i)} \tag{3.25}$$

Modal kapasite diyagramının modal yer değiştirme – modal sözde ivme değerlerinden

oluştuğu dikkate alınırsa, (n)'inci moda ait kapasite diyagramının (i)'inci öteleme adımındaki eğimi $\left(w_n^{(i)}\right)^2$ değerine eşittir.

$u_n^{(i)}$, modal yer değiştirme artımının birim değerine karşı gelen yer değiştirme vektörünü gösterdiğine göre;

$$\Delta u_n^{(i)} = u_n^{(i)} \Delta d_n^{(i)} \tag{3.26}$$

$$\overline{u_n^i} = \phi_n^{(i)} \Gamma_{xn}^{(i)} \tag{3.27}$$

Bu durumda herhangi bir tepki değerine (kesit tesirleri, kat göreli ötelemeleri, plastik mafsal dönmesi vs.) (n)'inci modun katkısı;

$$\Delta r_{rn}^{(i)} = \overline{r_n^{(i)}} \Delta d_n^{(i)} \tag{3.28}$$

ARSA yönteminde ölçeklendirme, yer değiştirmeler üzerinde yapılmakta ve bu amaçla her bir öteleme adımına karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirmelerden yaralanılmaktadır. (n)'inci moda ait (i)'inci öteleme adımında (3.29) denkleminin her bir mod için geçerli olduğu varsayılmaktadır.

$$\Delta d_n^{(i)} = F_n^i \left(S_{dn}^{(i)} - d_n^{(i-1)} \right) \tag{3.29}$$

(3.29) denkleminde tanımlanan ölçeklendirme bağıntısı yerine, her bir öteleme adımında (n)'inci modda meydana gelen modal yer değiştirme artımı, herhangi bir başka modda meydana gelen modal yer değiştirme artımı cinsinden ifade edilebilir. Örneğin birinci mod cinsinden ifade edilirse;

$$\Delta d_n^{(i)} = \lambda_n^{(i)} \Delta d_1^{(i)} \tag{3.30}$$

$$\lambda_n^{(i)} = \frac{S_{dn}^{(i)} - d_n^{(i-1)}}{S_{d1}^{(i)} - d_1^{(i-1)}} \tag{3.31}$$

Birinci mod için $\lambda_1^{(i)} = 1$ olur. (i)'inci öteleme adımında oluşan herhangi bir davranış büyüklüğü ise;

$$\Delta r_n^{(i)} = \overline{r^i} \lambda_n^{(i)} \Delta d_1^{(i)} \tag{3.32}$$

Birinci moda ait modal yer değiştirme artımının hesaplanması için ise, (i)'inci öteleme adımı

sonunda oluşacak olan plastik mafsalın yerinin belirlenmesi gerekir. Sadece eğilmeye çalışan bir j kesitinde (kiriş elemanı) eğilme momenti, modal yer değiştirme bağıntıları yardımıyla aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\Delta M_J^{(i)} = \sqrt{\sum_{n=1}^{N} \left(\Delta M_{Jn}^{(i)}\right)^2} = \overline{M_j^i} \Delta d_1 \tag{3.33}$$

$$\overline{M_j^i} = \sqrt{\sum_{n=1}^{N} \left(\Delta \overline{M_{j\,n}^i}\, \lambda_n^i\right)^2} \tag{3.34}$$

(i)'inci öteleme adımı sonunda j kesitinde meydana gelecek eğilme momenti;

$$M_J^{(i)} = M_J^{(i-1)} + \Delta M_J^{(i)} = M_J^{(i-1)} + \overline{M_j^i} \Delta d_1^{(i)} \tag{3.35}$$

Bu momentin aynı kesitteki plastik momente eşitlenmesi durumunda birinci moda ait modal yer değiştirme artımı için;

$$\Delta d_1^{(i)} = \frac{M_J^y - M_J^{i-1}}{\overline{M_i^j}} \tag{3.36}$$

(3.36) denklemi plastikleşmesi muhtemel bütün kesitler için yazılır ve elde edilen en küçük $\Delta d_1^{(i)}$, (i)'inci öteleme adımındaki birinci modal yer değiştirme artımı olarak belirlenir. Birinci moda ait modal yer değiştirme artımının belirlenmesinden sonra, herhangi bir davranış büyüklüğünün (i)'inci öteleme adımında (3.37) denklemi ile hesaplanan artımı, bir önceki adımın sonunda hesaplanan değere eklenir.

$$\Delta r^{(i)} = \sqrt{\sum_{n=1}^{Ns} \left(\Delta r_n^{(i)}\right)^2} = \overline{r^j} \Delta d_1^{(i)} \tag{3.37}$$

$$r^{(i)} = r^{(i-1)} + \overline{r^j} \Delta d_1^{(i)} \tag{3.39}$$

Sonuç olarak modal yer değiştirme ve modal sözde ivme büyüklüklerinin (*i*)'inci adım sonundaki değerleri aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanır.

$$d_n^{(i)} = d_n^{(i-1)} + \Delta d_n^{(i)} = d_n^{(i-1)} + \lambda_n^{(i)} \Delta d_1^{(i)} \tag{3.40}$$

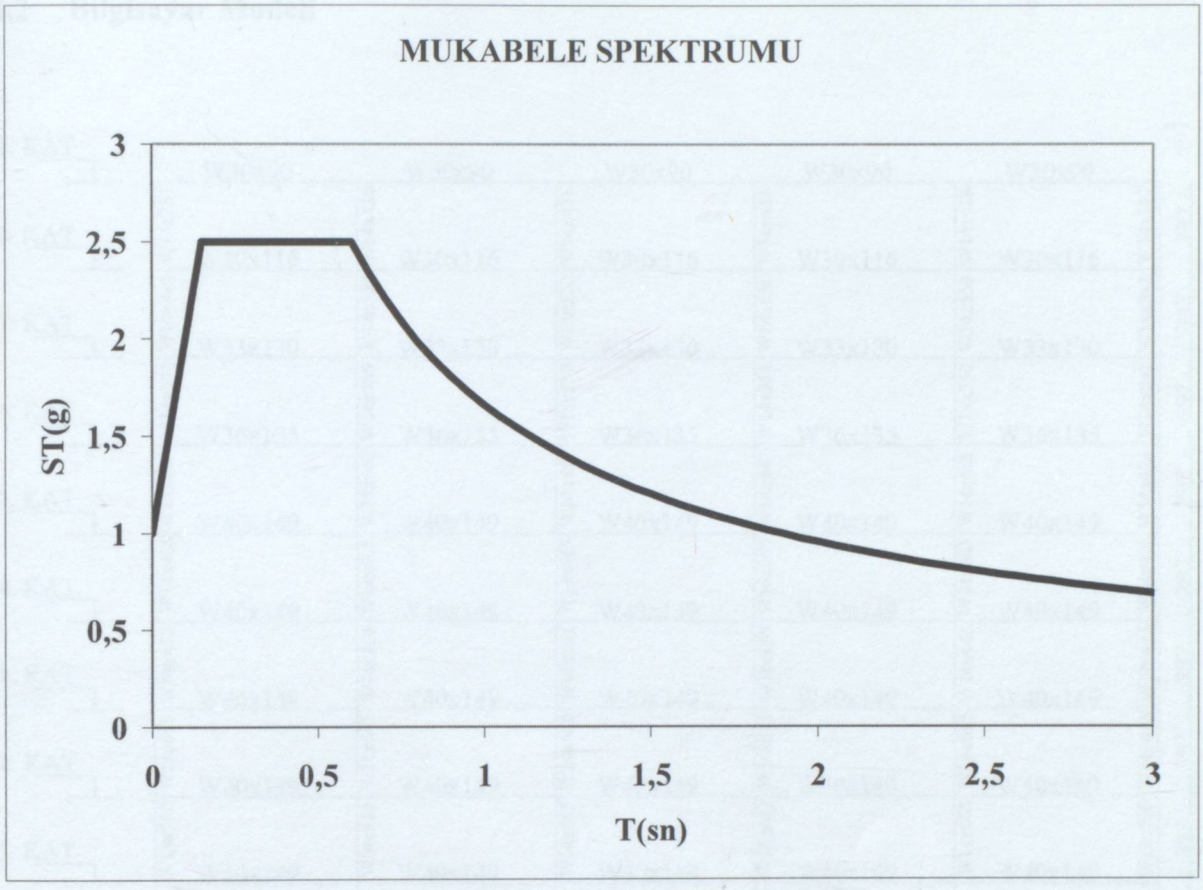
$$a_n^{(i)} = a_n^{(i-1)} + \Delta a_n^{(i)} = a_n^{(i-1)} + \lambda_n^{(i)} \left(w_n^{(i)}\right)^2 \Delta d_1^{(i)} \tag{3.41}$$

4. ÖRNEK PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ ÇALIŞMASI

Bu bölümde buraya kadar açıklanan analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Metodu kullanılarak 9 katlı bir çerçevenin performansı belirlenmiştir. Performans değerlendirmesi yapılmış çerçeveye ait görünüşler ve çerçeve elemanlarının kesitleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Son bölümde ise 1999 İzmit depremine ait IZM_EW ivme kaydı kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Kapasite spektrum metodundan elde edilen plastik mafsal yerleri ile zaman tanım alanında çözümden elde edilen plastik mafsal yerleri karşılaştırılmıştır. Bu şekilde kapasite spektrum metodunun plastik mafsal yerlerini belirlemedeki başarısı belirlenmiştir. Aşağıda çerçeve ile ilgili genel bilgiler ve yapılacak işlemler özetlenmiştir:

- Analizi yapılacak olan sistem, 9 katlı çaprazsız rijit çelik çerçevedir.
- Çelik çerçeve elemanları A36 çeliğinden imal edilmişlerdir.
- Sistemin performansı değerlendirmek için "+X" yönünde, deprem yönetmeliğinde sunulan 1. Deprem Bölgesi ve Z3 sınıfına ait mukabele spektrumu kullanılmıştır.
- Çok serbestlik dereceli sisteme ait doğrusal olmayan taban kesme kuvveti - tepe deplasmanı ilişkisi (öteleme eğrisi) Sap2000 programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.
- Çok serbestlik dereceli sisteme ait öteleme eğrisi, eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisine dönüştürmüştür.
- Yukarıda tanımlanan mukabele spektrumu, ilgili bağıntılar kullanılarak talep eğrisine dönüştürülmüştür.
- Kapasite eğrisinin ilk eğiminden çıkarılan radyal çizginin talep eğrisini kesmesi ile depremin sistemden talebi yani sistemin performansı belirlenmiştir.
- Sistem hedef deplasmana kadar yeniden itilip genel (kat ve sistem) ve yerel (eleman) performans hakkında değerlendirmelerde bulunmuştur.
- Zaman tanım alanında çözümde 1999 İzmit depremine ait IZM_EW ivme kaydı kullanılmıştır. Bu ivme kaydı, hedef deplasmana göre ölçeklendirilmiştir.

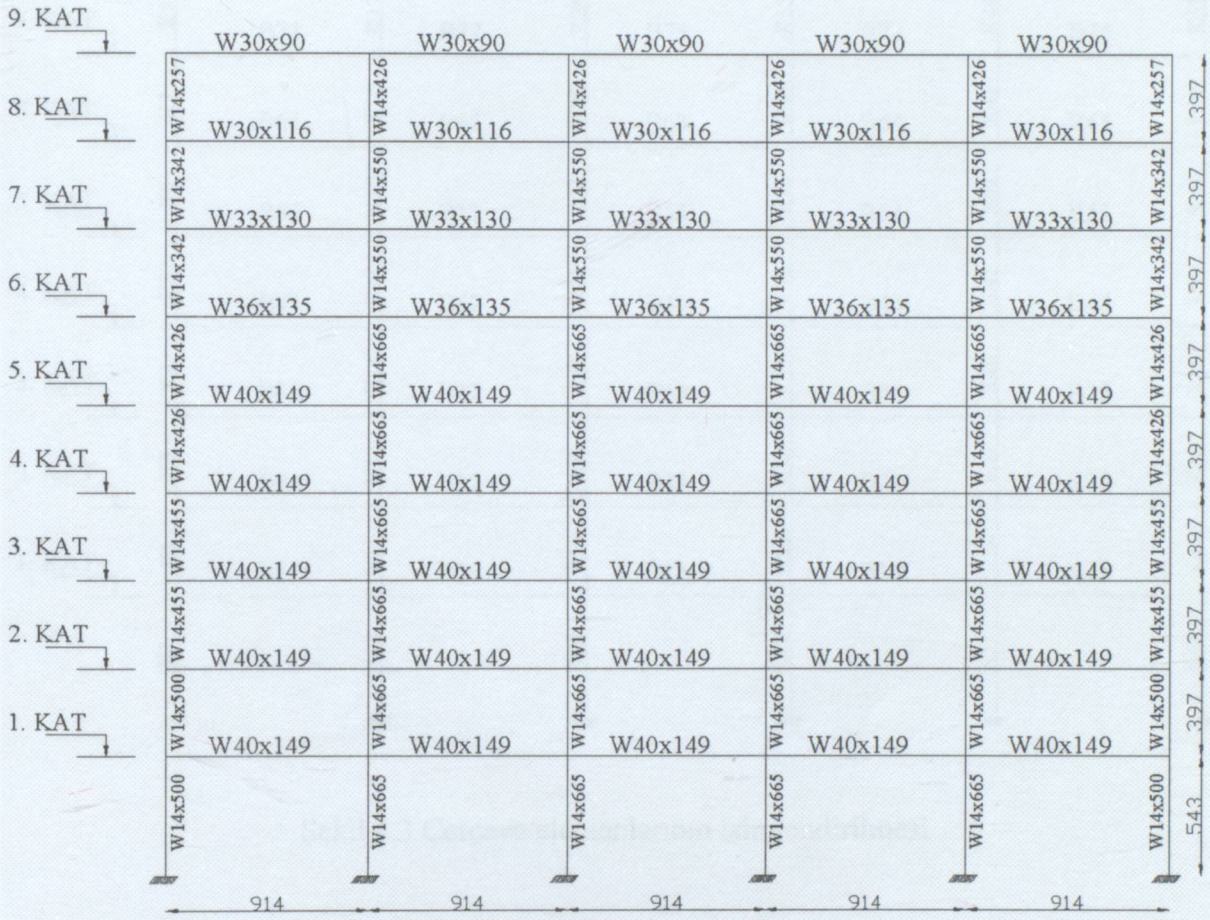
4.1 Mukabele Spektrum Eğrisi



Şekil 4.1 Mukabele spektrumu

- Zemin Sınıfı : Z3
- $T_A = 0.15$ sn
- $T_B = 0.6$ sn
- $A_0 = 0.4$
- $I = 1$

4.2 Bilgisayar Modeli

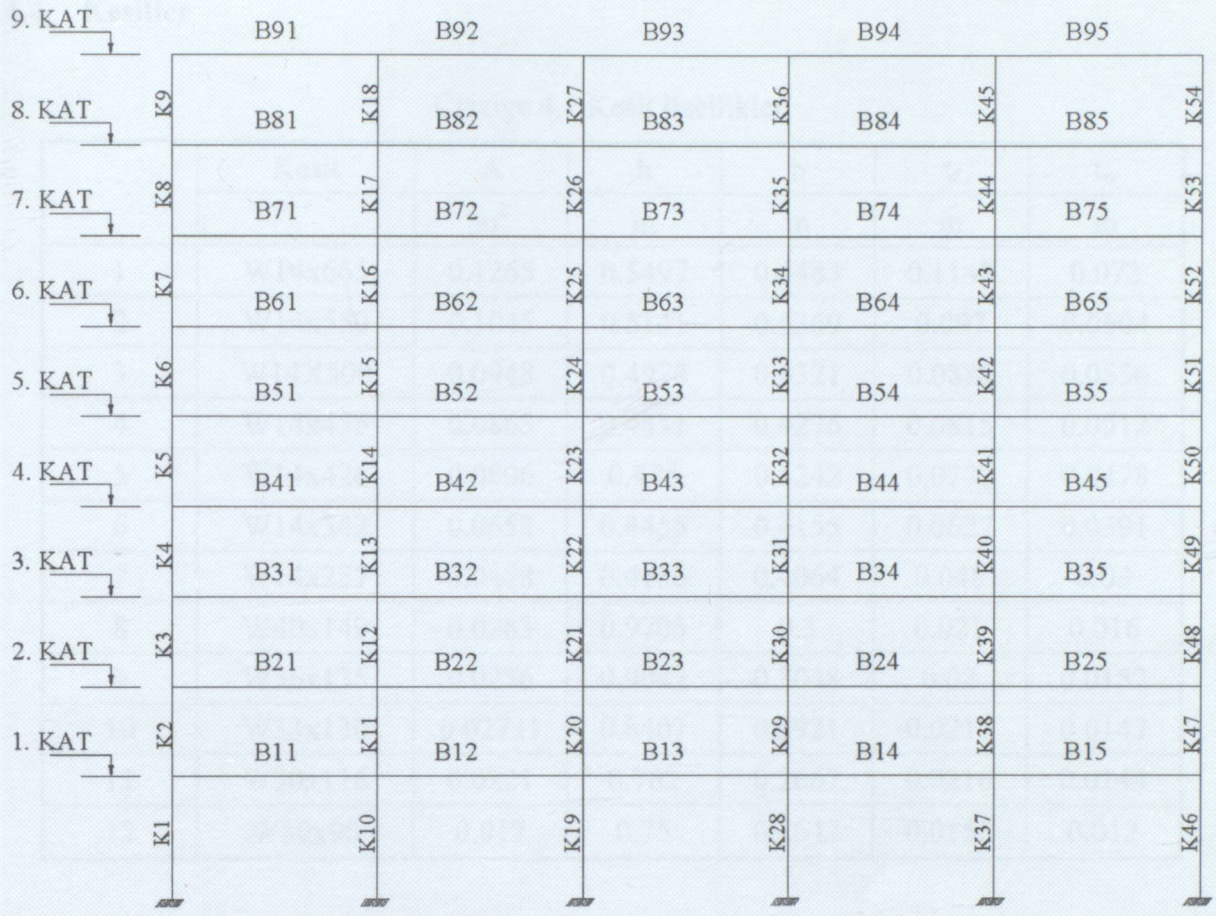


Şekil 4.2 Örnek çerçeveye ait kolon ve kiriş elemanlarının kesitleri

Çerçeve genel bilgileri;

- Birinci katın kat yüksekliği 5.43 m iken diğer katların kat yükseklikleri 3.97 m alınmıştır. Sistem, 9 katlı rijit bağlantılı (moment aktaran, tam tutulmuş bileşimler) çaprazsız çelik çerçeve olarak modellenmiştir.
- Aks araları her bir kolon aralığında eşittir ve 9.14 m alınmıştır.

Çerçevenin kesitleri Şekil 4.2'de sunulmuştur. Ayrıca çerçeve elemanları, analiz sonuçlarının alınmasında kolaylık sağlanması için Şekil 4.3'te verildiği gibi isimlendirilmişlerdir.



Şekil 4.3 Çerçeve elemanlarının isimlendirilmesi

4.3 Malzeme Özellikleri

4.3.1 Çelik Malzemesi Özellikleri

Akma Dayanımı : 248 Mpa

Beklenen Akma Dayanımı : 310 Mpa

Kopma Dayanımı : 400 Mpa

Elastisite Modülü : $2x10^5$ Mpa

Birim Hacim Kütle : 7.849 kN-s^2/m^4

Birim Hacim Ağırlık : 76.973 kN/m^3

Poisson Oranı : 0.3

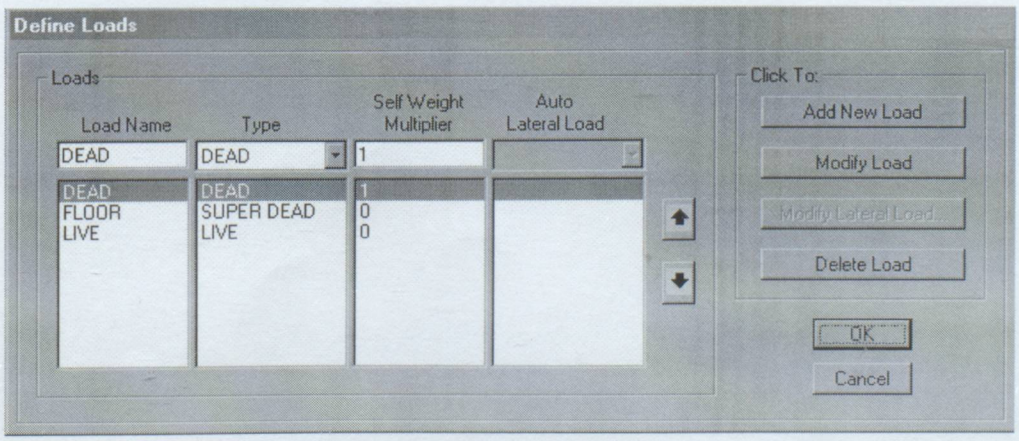
4.4 Kesitler

Çizelge 4.1 Kesit özellikleri

	Kesit	A	h	b	t_f	t_w
		m^2	m	m	m	m
1	W14x665	0.1265	0.5497	0.4483	0.1148	0.072
2	W14x550	0.1045	0.5141	0.4369	0.097	0.0604
3	W14X500	0.0948	0.4978	0.4321	0.0889	0.0556
4	W14x455	0.0865	0.4831	0.4276	0.0815	0.0512
5	W14x426	0.0806	0.475	0.4242	0.0772	0.0478
6	W14x342	0.0652	0.4455	0.4155	0.0627	0.0391
7	W14x257	0.0488	0.4166	0.4064	0.048	0.03
8	W40x149	0.0283	0.9703	0.3	0.021	0.016
9	W36x135	0.0256	0.9042	0.3048	0.02	0.0152
10	W33x130	0.02741	0.8407	0.2921	0.0217	0.0147
11	W30x116	0.0221	0.762	0.2667	0.0216	0.0144
12	W30x90	0.017	0.75	0.2642	0.0155	0.012

4.5 Yüklemeler

- Zati yük, çerçeveyi oluşturan elemanların kendi ağırlıklarını içerir. Sap2000 programında "DEAD" isimli yükleme hali ile tanımlanmıştır. Yükleme katsayısının 1 alınması ile program bu yüklemeyi kendisi yapacaktır.
- Döşeme yükü olarak 36.56 kN/m alınmıştır. Sap2000 programında ise döşeme yükü "FLOOR" isimli yükleme haliyle tanımlanmıştır.
- Hareketli yük olarak 22.85 kN/m alınmıştır. Sap2000 programında da hareketli yük "LIVE" isimli yükleme haliyle tanımlanmıştır.



Şekil 4.4 Tanımlanan Yüklemeler

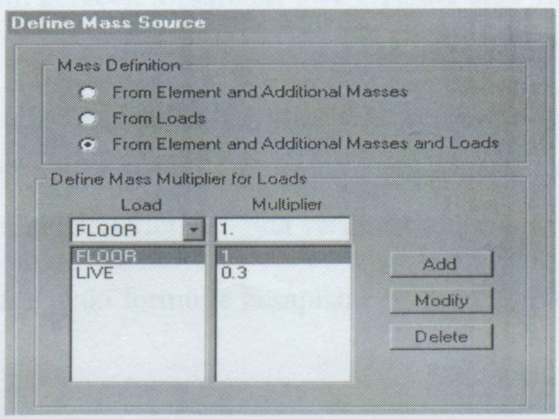


Şekil 4.5 Çerçeve elemanlarının döşeme yükü ile yüklenmesi



Şekil 4.6 Çerçeve elemanlarının hareketli yük ile yüklenmesi

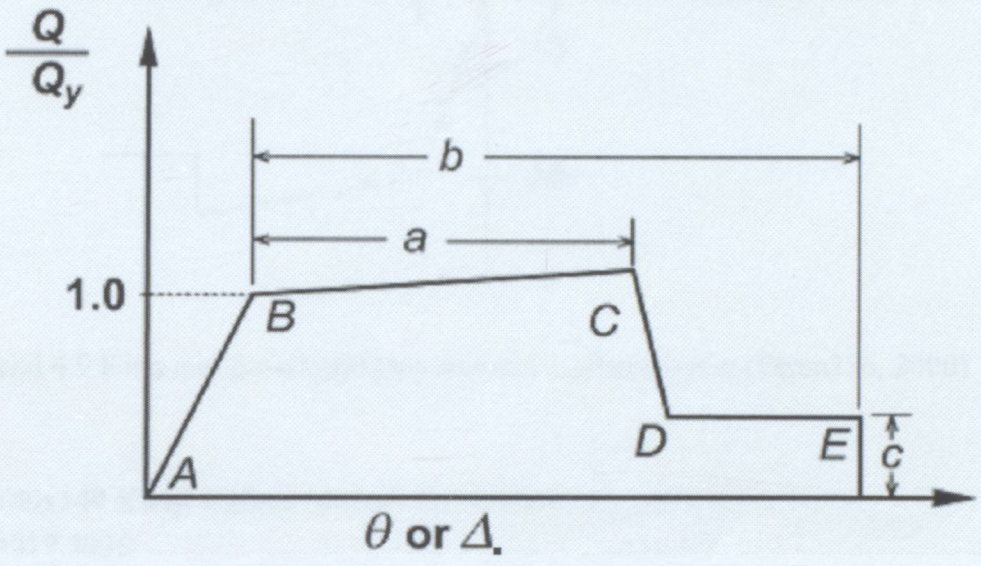
4.6 Kütle Hesabı



Şekil 4.7 Kütle data formu

Çerçevenin etkili sismik ağırlığı ve kütlesi Sap2000 tarafından otomatik olarak hesaplanacaktır. Program, çelik profillerin ağırlığını kütle hesabında dikkate aldığı için DEAD isimli yükleme hali tekrar ilave edilmemiştir. Hareketli yükün ise kütle hesabında %30'u dikkate alınacaktır.

4.7 Plastik Mafsal Özellikleri



Şekil 4.8 Genelleştirilmiş kuvvet – deformasyon eğrisi (Fema356, 2000)

Bu bölümde kiriş ve kolon kesit karakteristiklerine bağlı olarak plastik mafsallar tanımlanacaktır. Plastik mafsal özellikleri, FEMA356 yönetmeliğine dayalıdır. Plastik mafsallaşmanın kirişler ve kolonlar için eleman uç noktalarında meydana geldiği varsayılmıştır. Elemanlarda oluşan plastik mafsalların görülebilmesi için Sap2000 programında bu mafsalların göreceli mesafeleri 0 ve 1 yerine 0.05 ve 0.95 alınmıştır.

4.7.1 Kiriş Elemanlarında Plastik Mafsal Özellikleri

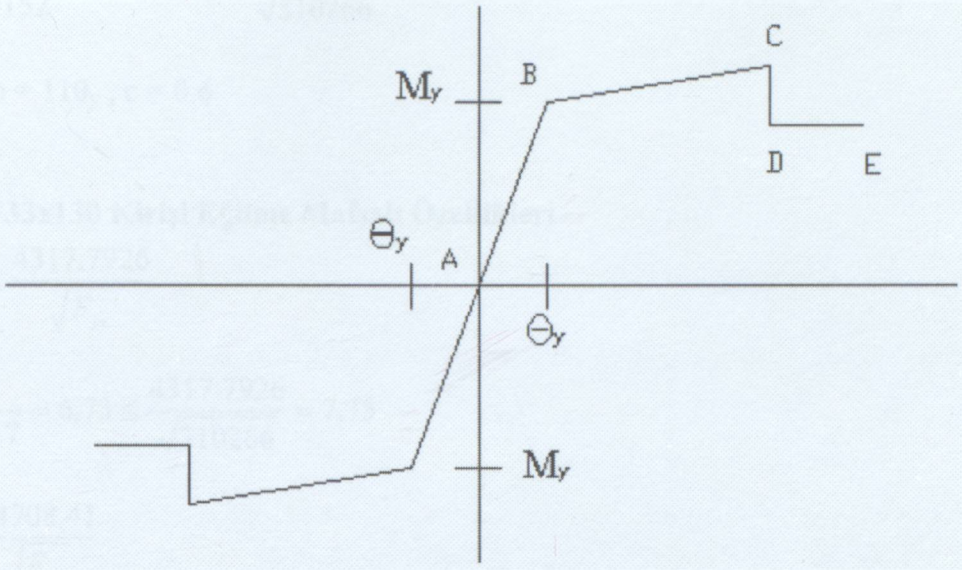
Kirişlerde en sık rastlanan mafsallaşma; eğilmeden kaynaklanan mafsallaşmadır. Eğilmeden kaynaklanan plastik mafsalın özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Akma dönmesi "θ_y" aşağıdaki formülle hesaplanır (Fema356, 2000) ;

$$\theta_y = \frac{ZF_{ye}L_b}{6EI_b} \tag{4.1}$$

- B-C arasındaki eğim %3 pekleşme olarak alınabilir.
- C, D ve E noktaları değerleri kesitin özelliklerine bağlı olarak FEMA 356/Tablo5.6'dan

alınacaktır.



Şekil 4.9 Kiriş için genelleştirilmiş moment – dönme eğrisi (Fema356, 2000)

4.7.1.1 W40x149 Kirişi Eğilme Mafsalı Özellikleri

- $\frac{b}{2t_f} \le \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$ (4.2)

$$\frac{0.3}{2*0.0211} = 7.11 \le \frac{4317.7926}{\sqrt{310266}} = 7.75$$

- $\frac{h_w}{t_w} \le \frac{34708.41}{\sqrt{F_{ye}}}$ (4.3)

$$\frac{0.9703 - 2*0.0211}{0.016} = 58 \le \frac{34708.41}{\sqrt{310266}} = 62.3 \quad \text{ise ;}$$

- $a = 9\theta_y$, $b = 11\theta_y$, $c = 0.6$

4.7.1.2 W36x135 Kirişi Eğilme Mafsalı Özellikleri

- $\frac{b}{2*t_f} \le \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$

$$\frac{0.3048}{2*0.0201} = 7.6 \le \frac{4317.7926}{\sqrt{310266}} = 7.75$$

- $\frac{h_w}{t_w} \le \frac{34708.41}{\sqrt{F_{ye}}}$

$$\frac{0.9042 - 2*0.0201}{0.0152} = 56.8 \leq \frac{34708.41}{\sqrt{310266}} = 62.3 \quad \text{ise ;}$$

$a = 9\theta_y$, $b = 11\theta_y$, $c = 0.6$

4.7.1.3 W33x130 Kirişi Eğilme Mafsalı Özellikleri

- $$\frac{b}{2*t_f} \leq \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$$

$$\frac{0.2921}{2*0.0217} = 6.73 \leq \frac{4317.7926}{\sqrt{310266}} = 7.75$$

- $$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{34708.41}{\sqrt{F_{ye}}}$$

$$\frac{0.9042 - 2*0.0201}{0.0152} = 56.8 \leq \frac{34708.41}{\sqrt{310266}} = 62.3 \quad \text{ise ;}$$

$a = 9\theta_y$, $b = 11\theta_y$, $c = 0.6$

4.7.1.4 W30x116 Kirişi Eğilme Mafsalı Özellikleri

- $$\frac{b}{2*t_f} \leq \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$$

$$\frac{0.2667}{2*0.0216} = 6.18 \leq \frac{4317.7926}{\sqrt{310266}} = 7.75$$

- $$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{34708.41}{\sqrt{F_{ye}}}$$

$$\frac{0.9042 - 2*0.0201}{0.0152} = 56.8 \leq \frac{34708.41}{\sqrt{310266}} = 62.3 \quad \text{ise ;}$$

$a = 9\theta_y$, $b = 11\theta_y$, $c = 0.6$

4.7.1.5 W30x90 Kirişi Eğilme Mafsalı Özellikleri

- $$\frac{b}{2*t_f} \leq \frac{5397.2408}{\sqrt{F_{ye}}} \qquad (4.4)$$

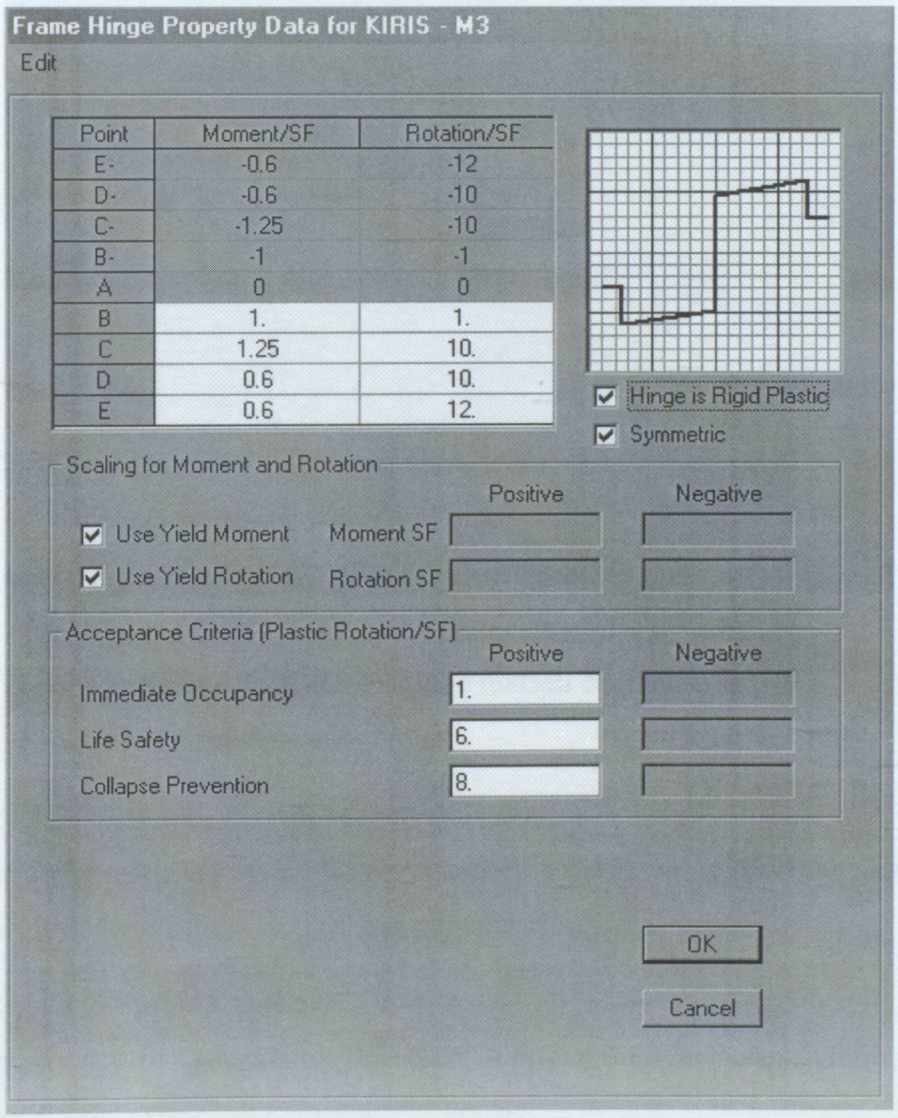
$$\frac{0.2642}{2*0.0155} = 8.52 \leq \frac{5397.2408}{\sqrt{310266}} = 9.69$$

- $\frac{h_w}{t_w} \le \frac{53142.063}{\sqrt{F_{ye}}}$ (4.5)

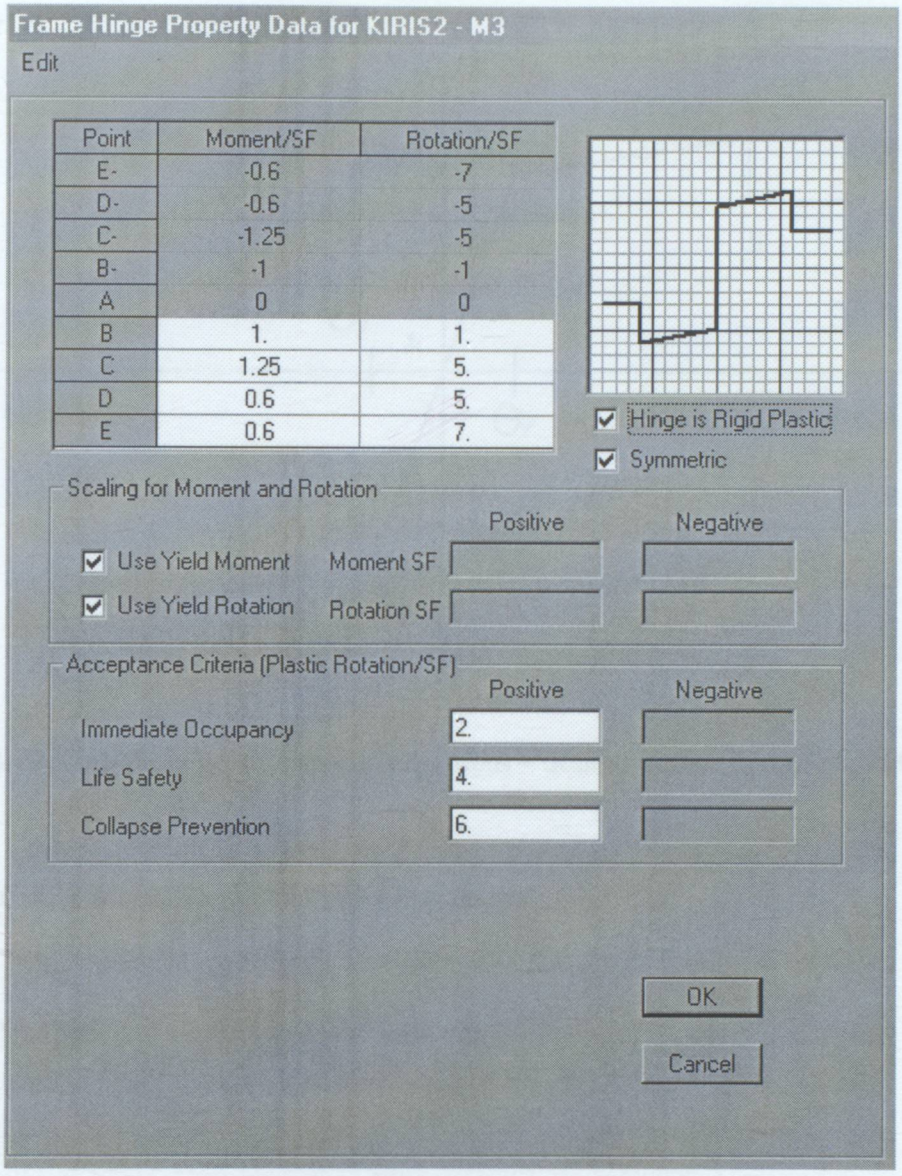
$$\frac{0.7501 - 2*0.0155}{0.0119} = 60.43 \le \frac{53142.063}{\sqrt{310266}} = 95.41 \quad \text{ise ;}$$

$a = 4\theta_y$, $b = 6\theta_y$, $c = 0.2$

- Yukarıdaki sonuçlar ışığında; W40x149, W36x135, W33x130 ve W30x116 kirişleri için KİRİŞ isimli eğilme mafsalı, W30x90 kirişi için ise KİRİŞ2 isimli eğilme mafsalı tanımlanacaktır.



Şekil 4.10 KİRİŞ eğilme mafsalı özellikleri



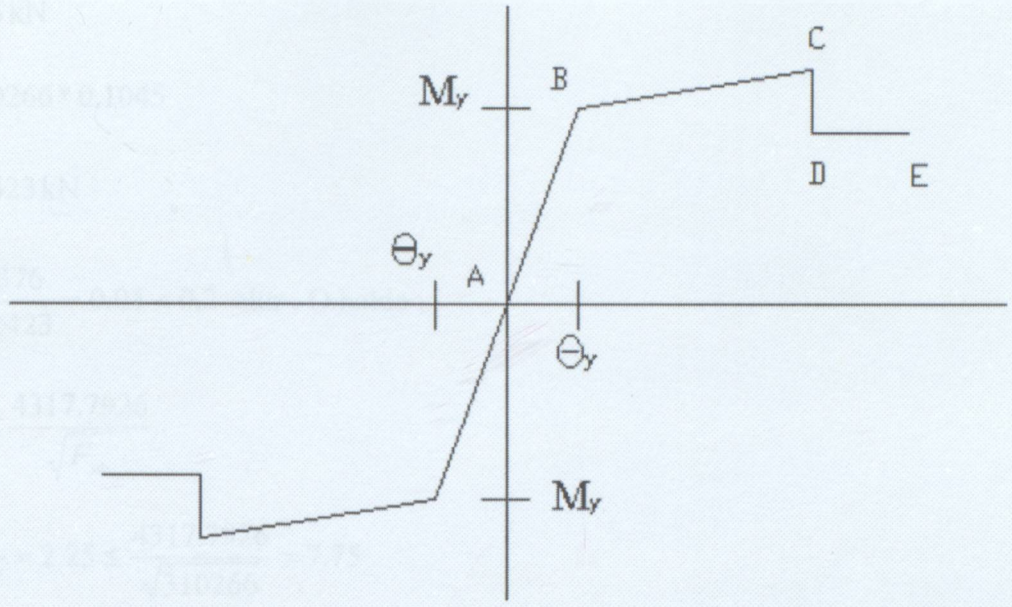
Şekil 4.11 KİRİŞ2 eğilme mafsalı özellikleri

4.7.2 Kolon Elemanlarında Plastik Mafsal Özellikleri

Kolonlarda en sık rastlanan mafsallaşma eksenel kuvvet ve eğilmeden kaynaklanan mafsallaşmadır. PMM mafsalının özellikleri aşağıda verilmiştir;

- B – C arası eğim %3 pekleşme olarak alınabilir.
- Akma dönmesi *"θ_y"* (4.6) denklemi (Fema356, 2000) yardımıyla hesaplanabilir;
- $$\theta_y = \frac{ZF_{ye}L_C}{6EI_C}\left(1-\frac{P}{P_{ye}}\right) \quad (4.6)$$
- $$P_{ye} = AF_{ye} \quad (4.7)$$
- C, D ve E noktalarının değerleri, kesit özelliklerine bağlı olarak FEMA356/Tablo5.6'dan

alınacaktır.



Şekil 4.12 Kolon için genelleştirilmiş moment – dönme eğrisi (Fema356, 2000)

4.7.2.1 W14x665 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri

$P = 4131\,\text{kN}$

$P_{cl} = 310266 * 0.1265$

$P_{cl} = 39248.41\,\text{kN}$

$\frac{P}{P_{CL}} = \frac{4131}{39248.41} = 0.11 < 0.2$ olur . O halde ;

- $\frac{b}{2t_f} \le \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$

$\frac{0.44831}{2 * 0.1148} = 2 \le \frac{4317.7926}{\sqrt{310266}} = 7.75$

- $\frac{h}{t_w} \le \frac{24910.34}{\sqrt{F_{ye}}}$ (4.8)

$\frac{0.5497 - 2 * 0.1148}{0.072} = 4.5 \le \frac{24910.34}{\sqrt{310266}} = 44.72$ ise

$a = 9\theta_y$, $b = 11\theta_y$, $c = 0.6$

4.7.2.2 W14x550 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri

$P = 1376\,\text{kN}$

$P_{cl} = 310266 * 0.1045$

$P_{cl} = 32423\,\text{kN}$

$\frac{P}{P_{CL}} = \frac{1376}{32423} = 0.05 < 0.2$ olur . O halde ;

- $\frac{b}{2t_f} \le \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$

$\frac{0.4369}{2 * 0.097} = 2.25 \le \frac{4317.7926}{\sqrt{310266}} = 7.75$

- $\frac{h}{t_w} \le \frac{24910.34}{\sqrt{F_{ye}}}$

$\frac{0.5141 - 2 * 0.097}{0.0605} = 5.29 \le \frac{24910.34}{\sqrt{310266}} = 44.72$ ise

- $a = 9\theta_y$, $b = 11\theta_y$, $c = 0.6$

4.7.2.3 W14x500 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri

$P = 5954.42\,\text{kN}$

$P_{cl} = 310266 * 0.0948$

$P_{cl} = 29426\,\text{kN}$

$\frac{P}{P_{CL}} = \frac{5954.42}{29426} = 0.2 \le 0.2$ olur . O halde ;

- $\frac{b}{2t_f} \le \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$

$\frac{0.4321}{2 * 0.0889} = 2.43 \le \frac{4317.7926}{\sqrt{310266}} = 7.75$

- $\frac{h}{t_w} \le \frac{24910.34}{\sqrt{F_{ye}}}$

$$\frac{0.4978-2*0.0889}{0.0556}=5.76\le\frac{24910.34}{\sqrt{310266}}=44.72 \text{ ise}$$

$a=9\theta_y$, $b=11\theta_y$, $c=0.6$

4.7.2.4 W14x455 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri

$P=4235\,\text{kN}$

$P_{cl}=310266*0.0865$

$P_{cl}=26838\,\text{kN}$

$\frac{P}{P_{CL}}=\frac{4235}{26838}=0.16<0.2$ olur . O halde ;

- $\frac{b}{2t_f}\le\frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$

$$\frac{0.4276}{2*0.0815}=2.62\le\frac{4317.7926}{\sqrt{310266}}=7.75$$

- $\frac{h}{t_w}\le\frac{24910.34}{\sqrt{F_{ye}}}$

$$\frac{0.4831-2*0.0815}{0.0512}=6.25\le\frac{24910.34}{\sqrt{310266}}=44.72 \text{ ise}$$

$a=9\theta_y$, $b=11\theta_y$, $c=0.6$

4.7.2.5 W14x426 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri

$P=2564\,\text{kN}$

$P_{cl}=310266*0.0806$

$P_{cl}=25007.44\,\text{kN}$

$\frac{P}{P_{CL}}=\frac{2564}{25007.44}=0.11<0.2$ olur . O halde ;

- $\frac{b}{2t_f}\le\frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$

$$\frac{0.4242}{2*0.0772} = 2.75 \le \frac{4317.7926}{\sqrt{310266}} = 7.75$$

- $\frac{h}{t_w} \le \frac{24910.34}{\sqrt{F_{ye}}}$

$$\frac{0.475 - 2*0.0772}{0.0478} = 6.7 \le \frac{24910.34}{\sqrt{310266}} = 44.72 \text{ ise}$$

$a = 9\theta_y$, $b = 11\theta_y$, $c = 0.6$

4.7.2.6 W14X342 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri

$P = 1181\,\text{kN}$

$P_{cl} = 310266 * 0.0652$

$P_{cl} = 20229.34\,\text{kN}$

$\frac{P}{P_{CL}} = \frac{1181}{20229.34} = 0.06 < 0.2$ olur . O halde ;

- $\frac{b}{2t_f} \le \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$

$$\frac{0.4155}{2*0.0627} = 3.31 \le \frac{4317.7926}{\sqrt{310266}} = 7.75$$

- $\frac{h}{t_w} \le \frac{24910.34}{\sqrt{F_{ye}}}$

$$\frac{0.4455 - 2*0.0627}{0.0391} = 8.19 \le \frac{24910.34}{\sqrt{310266}} = 44.72 \text{ ise}$$

$a = 9\theta_y$, $b = 11\theta_y$, $c = 0.6$

4.7.2.7 W14x257 Kolonu PMM Mafsalı Özellikleri

$P = 282.86\,\text{kN}$

$P_{cl} = 310266 * 0.0488$

$P_{cl} = 15141\,\text{kN}$

$$\frac{P}{P_{CL}} = \frac{282.86}{15141} = 0.02 < 0.2 \text{ olur . O halde ;}$$

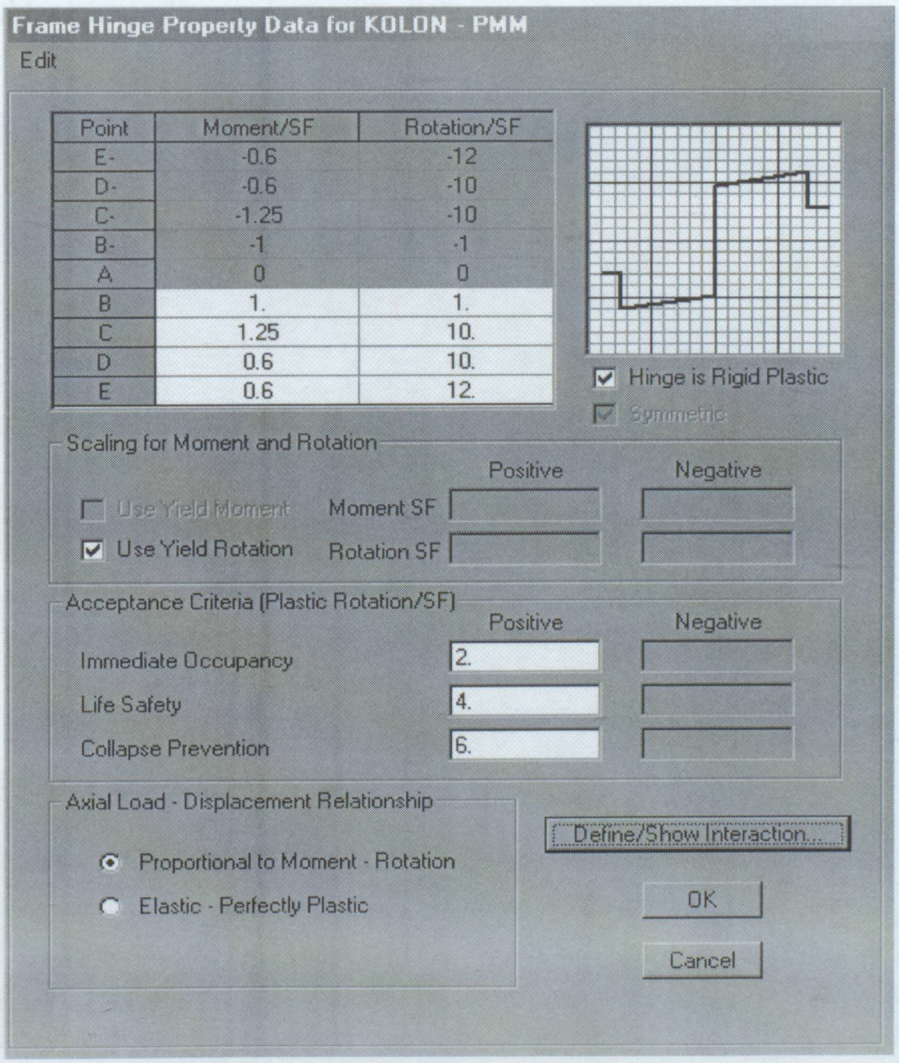
- $$\frac{b}{2t_f} \leq \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$$

$$\frac{0.4064}{2*0.048} = 4.23 \leq \frac{4317.7926}{\sqrt{310266}} = 7.75$$

- $$\frac{h}{t_w} \leq \frac{24910.34}{\sqrt{F_{ye}}}$$

$$\frac{0.4166 - 2*0.048}{0.03} = 10.7 \leq \frac{24910.34}{\sqrt{310266}} = 44.72 \text{ ise}$$

$a = 9\theta_y$, $b = 11\theta_y$, $c = 0.6$

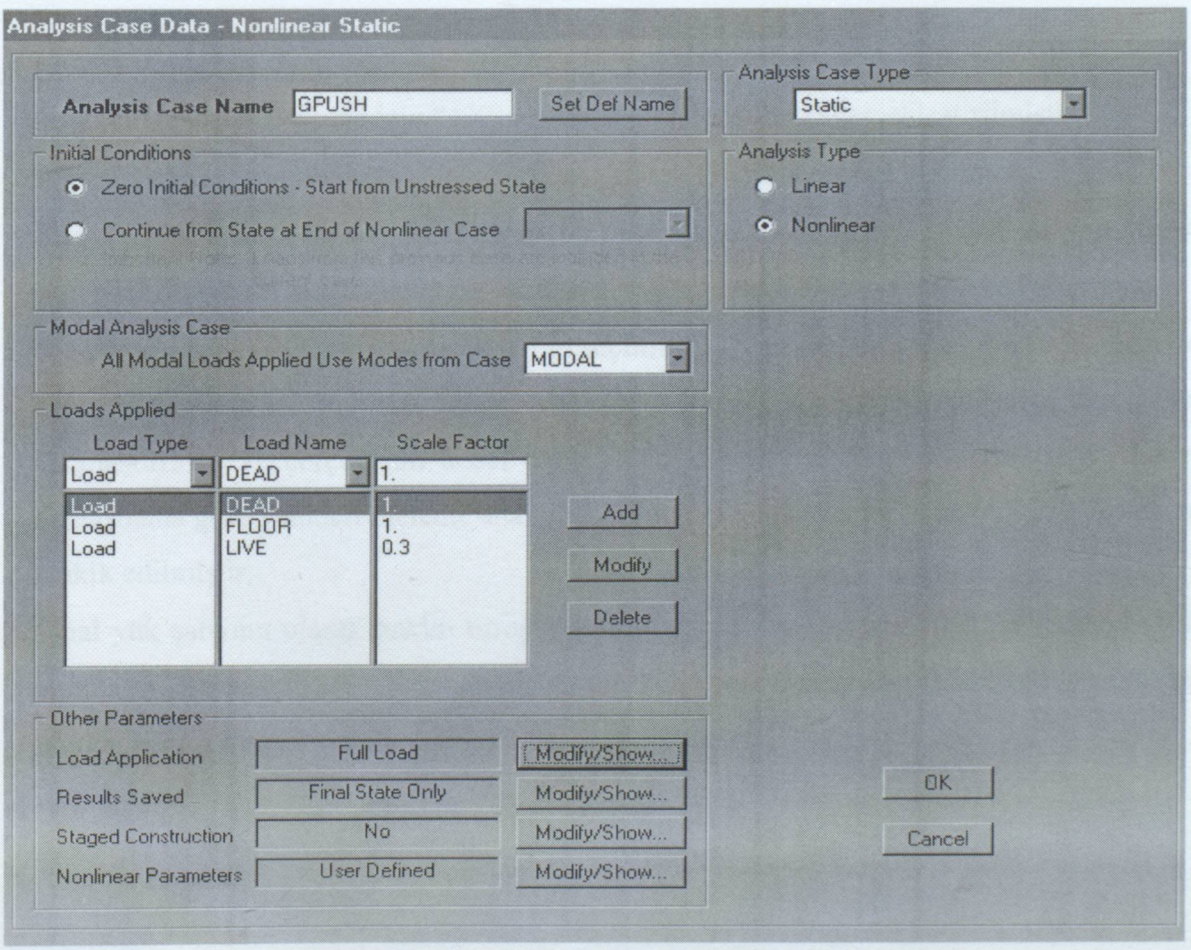


Şekil 4.13 KOLON PMM mafsalı özellikleri

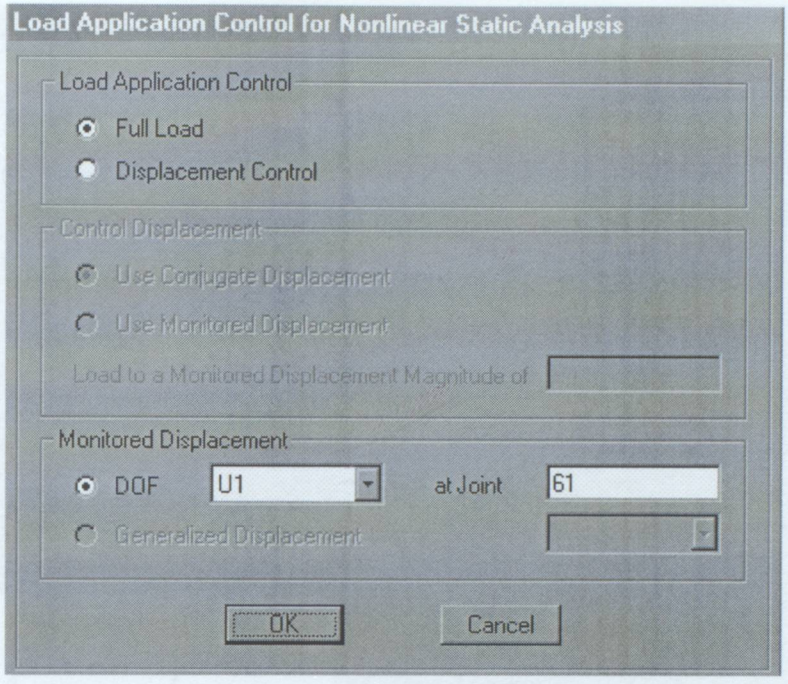
4.8 Analiz Durumlarının Tanımlanması

4.8.1 Düşey Yüklere Ait İtme Analizi

- "+X" doğrultusunda öteleme analizine geçilmeden önce, örnek çerçevenin düşey yüklere göre çözümü gerçekleştirilmiştir. Bu çözüm sırasında zati yük ile döşeme yükünün tamamı, hareketli yükün ise %30'u dikkate alınmıştır. Bu analiz tamamlandıktan sonra, analizin kaldığı yerden yatay yüklere ait öteleme analizi yapılmıştır.
- Analiz tipi olarak doğrusal olmayan statik analiz yöntemi seçilmiştir. Analize GPUSH ismi verilmiştir.
- Örnek çerçevede, öteleme eğrisindeki taban kesme kuvvetine karşılık gelecek olan deplasman değerleri için 61 no'lu kontrol düğüm noktasının U1 doğrultusundaki deplasman değerleri alınmıştır.
- P-Δ etkileri dikkate alınmıştır.
- Düşey yükler için deplasman kontrollü çözüm yapılmamıştır.



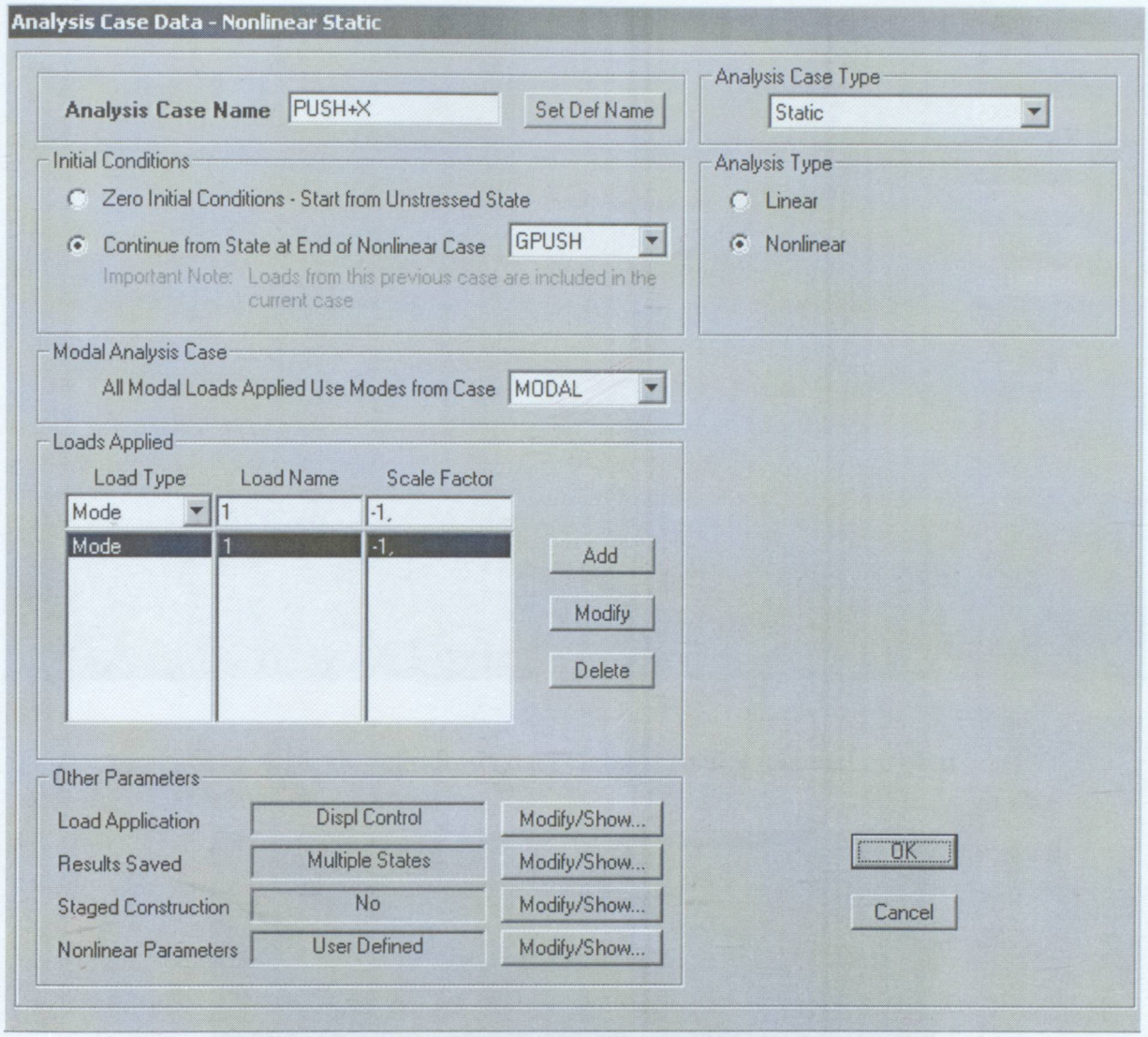
Şekil 4.14 Düşey yüklere göre öteleme analizi için veri girişi

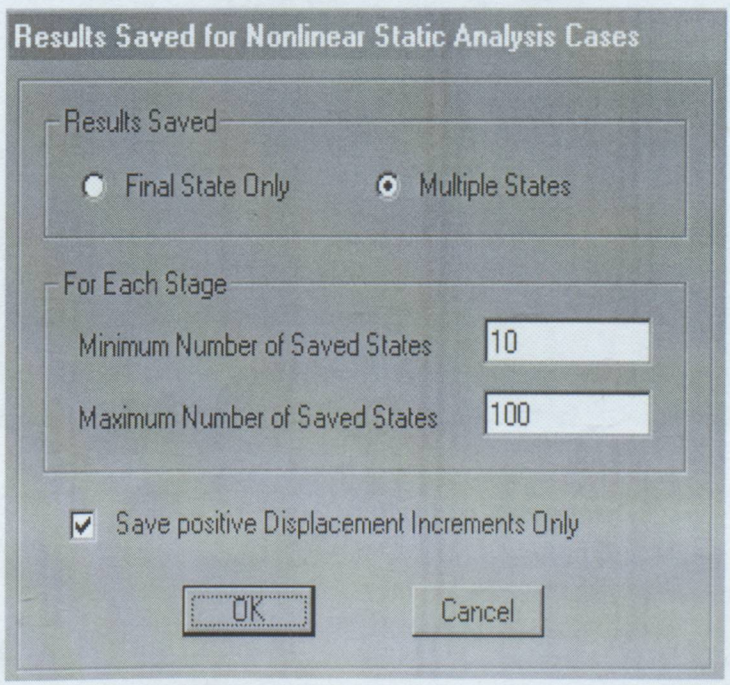


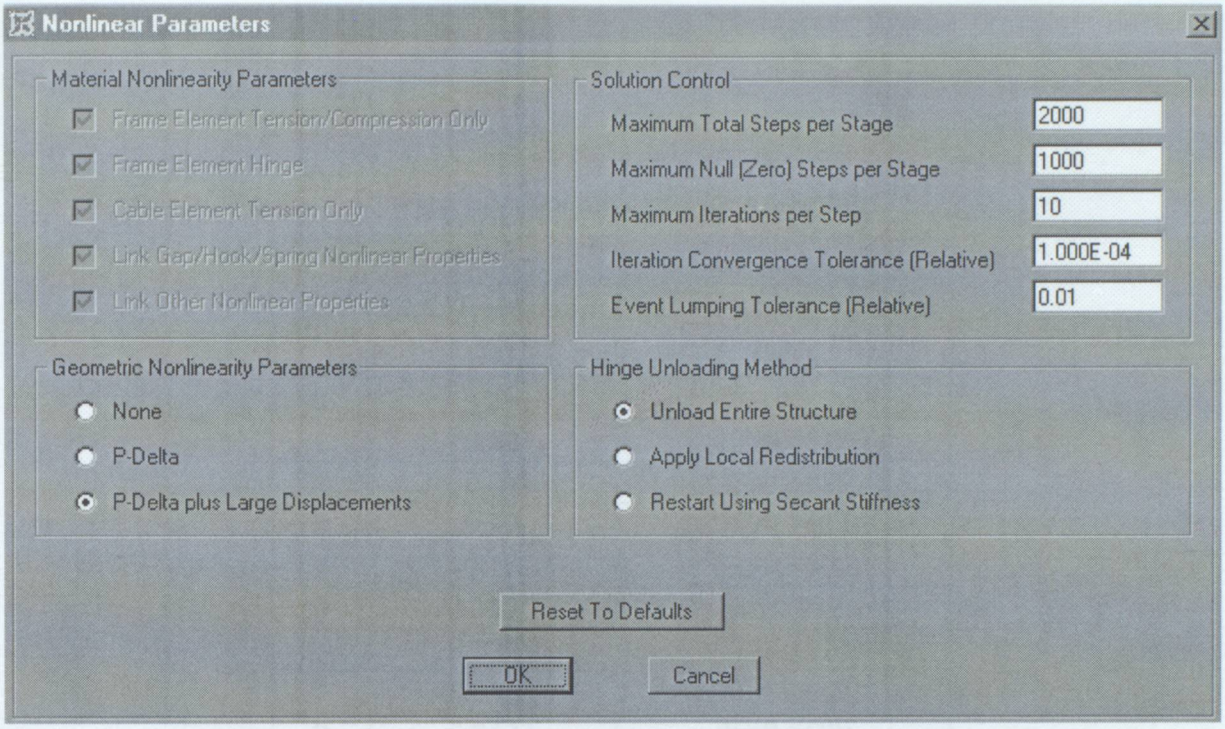
Şekil 4.15 Kontrol düğüm noktası tanımlanması

4.8.2 +X Yönü İçin İtme Analizi

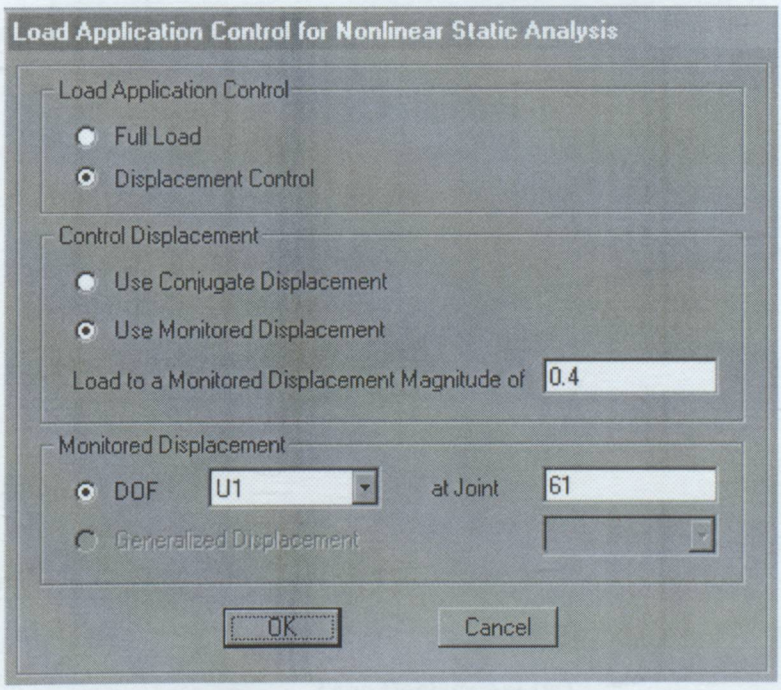
- Bu bölümde örnek çerçeve için "+X" yönünde öteleme analizi gerçekleştirilmiştir.
- Doğrusal olmayan analizin başlangıç noktası olarak GPUSH analizi alınmıştır.
- Düşey yükler için çözümde olduğu gibi bu analiz için de öteleme eğrisine ait deplasman değerleri olarak U1 yönünde 61 no'lu düğüm noktasının deplasman değerleri alınmıştır.
- İlk aşamada hedef deplasman olarak 0.4 m seçilmiştir. Sistemin bu değere kadar itilmesiyle elde edilecek olan öteleme eğrisi, kapasite eğrisine dönüştürülerek talep eğrisi ile karşılaştırılmış ve çerçevenin hedef (talep) deplasmanı belirlenmiştir. Belirlenen hedef deplasmana göre yeniden öteleme analizi yapılarak elemanların ve çerçevenin performansı tahkik edilmiştir.
- Yanal yük şablonu olarak hakim titreşim modu olan 1. modun serbest titreşim mod şekli alınmıştır. Bu sistem için 1. moda ait modal kütle katılım çarpanı 0.847 olduğu için bu modun hakim titreşim modu olduğu kabul edilmiştir.


Analysis Case Data - Nonlinear Static
Analysis Case Name
PUSH+X
Set Def Name
Analysis Case Type
Static
Initial Conditions
Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
Continue from State at End of Nonlinear Case
GPUSH
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case
Analysis Type
Linear
Nonlinear
Modal Analysis Case
All Modal Loads Applied Use Modes from Case
MODAL
Loads Applied
Load Type
Load Name
Scale Factor
Mode
1
-1,
Add
Modify
Delete
Other Parameters
Load Application
Displ Control
Modify/Show...
Results Saved
Multiple States
Modify/Show...
Staged Construction
No
Modify/Show...
Nonlinear Parameters
User Defined
Modify/Show...
OK
Cancel


Results Saved for Nonlinear Static Analysis Cases
Results Saved
Final State Only
Multiple States
For Each Stage
Minimum Number of Saved States
10
Maximum Number of Saved States
100
Save positive Displacement Increments Only
OK
Cancel



Şekil 4.16 +X doğrultusundaki öteleme analizi için veri girişleri



Şekil 4.17 Hedef deplasman varsayımı

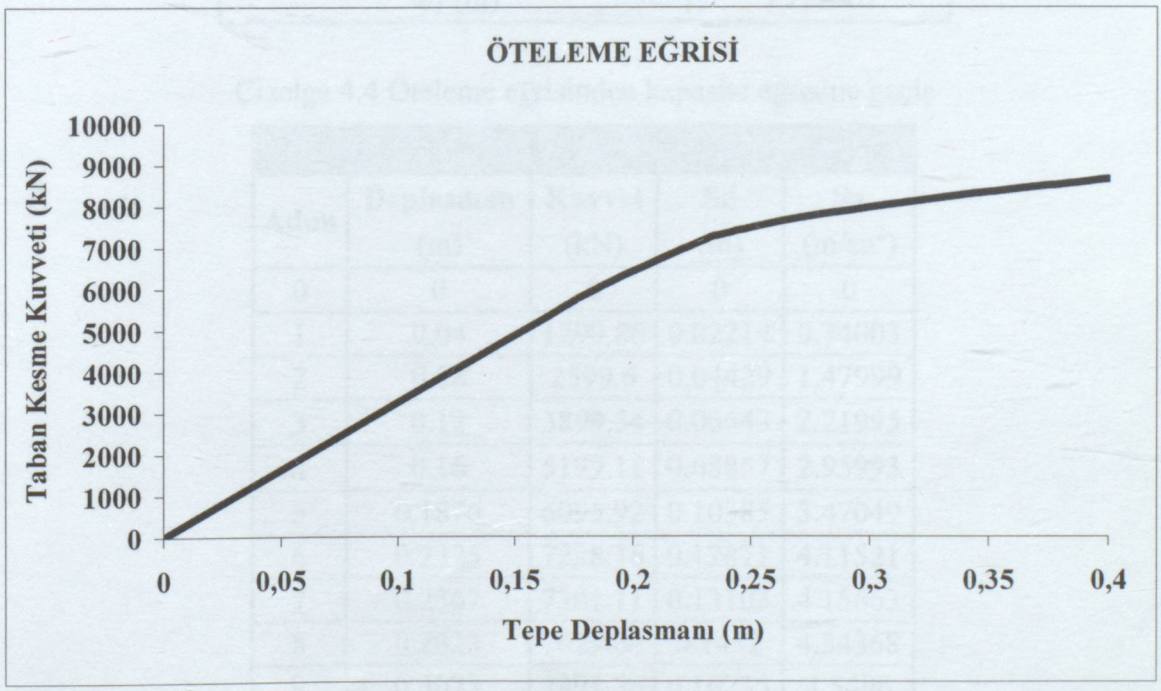
4.9 Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi

Sap2000 programında yapılan öteleme analiz sonucunda 9 katlı düzlem çerçeveye ait öteleme eğrisi Şekil 4.18'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Bu eğrinin yatay eksenini, kontrol düğüm

noktası deplasman değerleri ve düşey eksenini de taban kesme kuvveti değerleri oluşturmaktadır.

Çizelge 4.2 Öteleme eğrisi koordinatları

ÖTELEME EĞRİSİ KOORDİNATLARI		
Adım	**Çatı Deplasmanı (m)**	**Taban Kesme Kuvveti (kN)**
0	0	0
1	0.04	1299.8628
2	0.08	2599.5955
3	0.12	3899.3413
4	0.16	5199.1074
5	0.1876	6095.917
6	0.2325	7228.3574
7	0.2367	7301.1147
8	0.2623	7629.6699
9	0.3023	7991.3628
10	0.3431	8291.8477
11	0.3831	8545.5566
12	0.4	8652.8936



Şekil 4.18 Öteleme eğrisi

Elde edilen öteleme eğrisinin, çerçevenin deprem performansını belirleyebilmek için öncelikle eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin kapasite eğrisine dönüştürülmesi

gerekmektedir. Bu aşamada, kontrol düğüm noktası olarak seçilen 61 no'lu düğüm noktasına ait hakim titreşim modunun deplasman değeri ve modal katılım çarpanı kullanılarak çok serbestlik dereceli sisteme ait deplasman değerleri tek serbestlik dereceli sisteme ait spektral deplasman değerlerine dönüştürülecektir. Spektral ivme değerlerini elde etmek için ise taban kesme kuvveti değerleri etkili kütleye bölüneceklerdir.

$$S_{deş} = \frac{u}{\Gamma \phi_1} \tag{4.9}$$

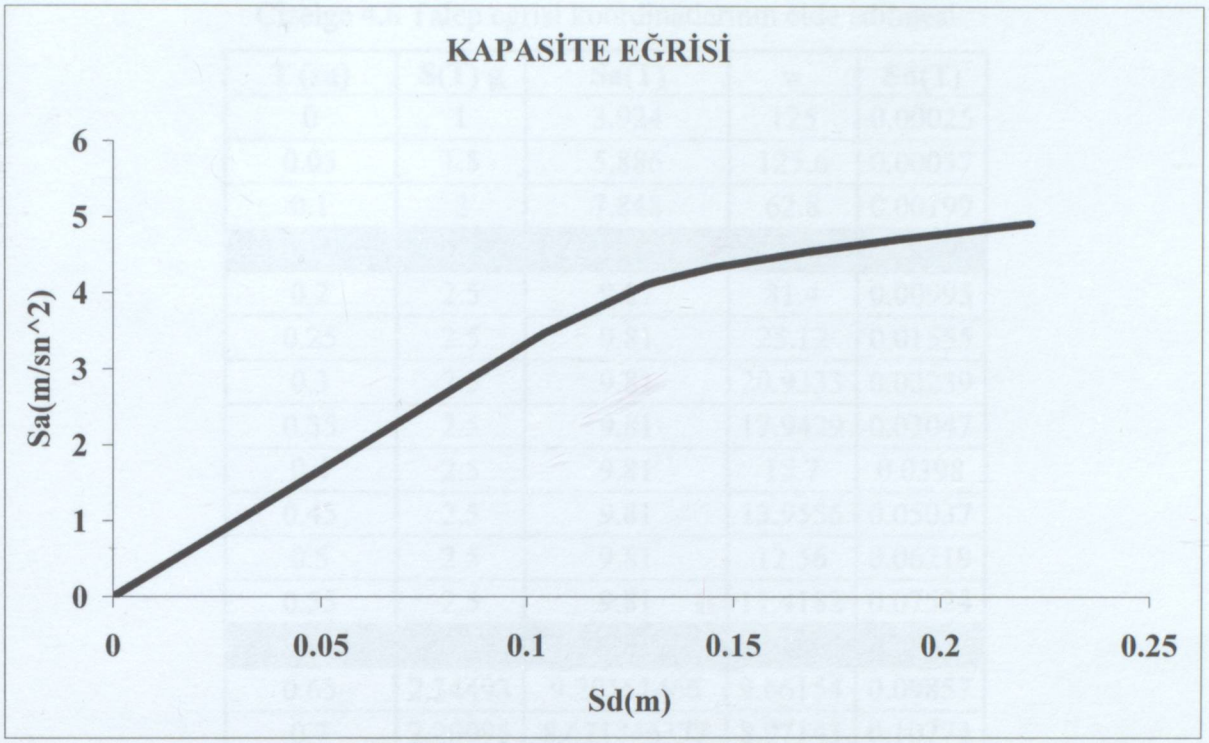
$$S_{aeş} = \frac{V_T}{M_{eff}} \tag{4.10}$$

Çizelge 4.3 Sistem genel bilgileri

Modal Kütle Katılım Çarpanı	0.84167
T (sn)	1.25181
M (kN-s^2/m)	2086.92
M_{eff} (kN-s^2/m)	1756.5
Γ (kN-s^2)	48.625
Φ_1 (m)	3.72E-02

Çizelge 4.4 Öteleme eğrisinden kapasite eğrisine geçiş

Öteleme Eğrisi			**Kapasite Eğrisi**	
Adım	**Deplasman** (m)	**Kuvvet** (kN)	**Sd** (m)	**Sa** (m/sn^2)
0	0	0	0	0
1	0.04	1299.86	0.02214	0.74003
2	0.08	2599.6	0.04429	1.47999
3	0.12	3899.34	0.06643	2.21995
4	0.16	5199.11	0.08857	2.95993
5	0.1876	6095.92	0.10385	3.47049
6	0.2325	7228.36	0.12871	4.11521
7	0.2367	7301.11	0.13103	4.15663
8	0.2623	7629.67	0.1452	4.34368
9	0.3023	7991.36	0.16735	4.5496
10	0.3431	8291.85	0.18993	4.72067
11	0.3831	8545.56	0.21208	4.86511
12	0.4	8652.89	0.22143	4.92622



Şekil 4.19 Kapasite eğrisi

4.10 Talep Eğrisinin Elde Edilmesi

Düzlem çerçevenin ve çerçeve elemanlarının performansını değerlendirmek için 1. derece deprem bölgesi Z3 sınıfı zemine ait özel tasarım ivme spektrumu kullanılmıştır. Mukabele spektrumunun talep eğrisine dönüştürülmesi gerekmektedir. Talep eğrisinin apsis ve ordinatını oluşturan $S_a(T)$ ve $S_d(T)$ ise aşağıdaki dönüşümler formülleri yardımıyla elde edilir;

$$S_a(T) = A_0 \, I \, S(T) \, g \tag{4.11}$$

$$S_d(T) = \frac{S_a(T)}{w^2} \tag{4.12}$$

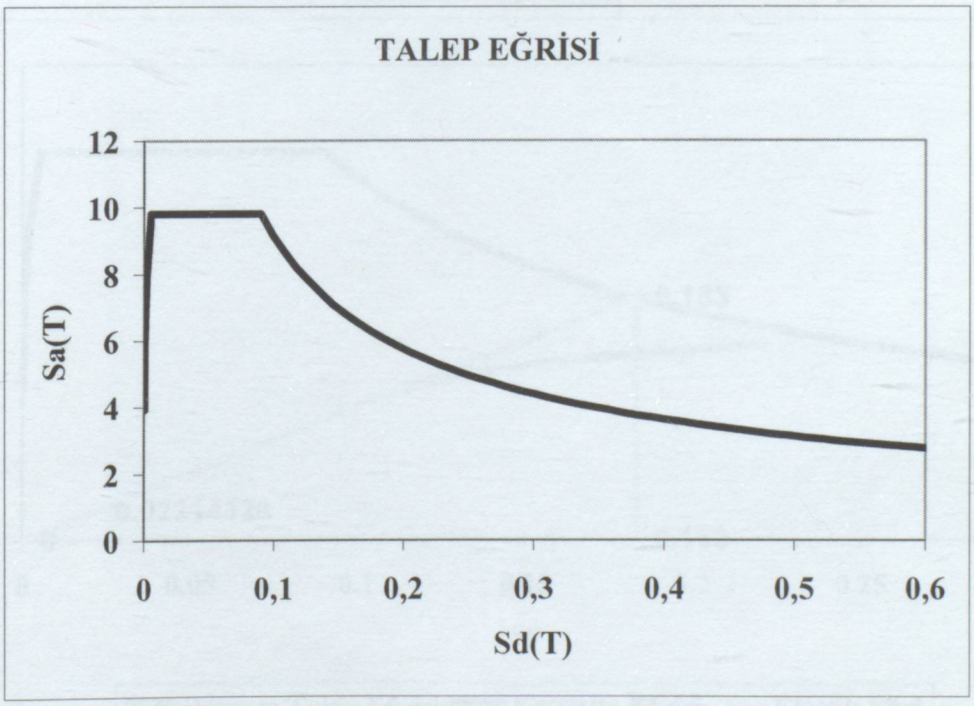
Çizelge 4.5 Response spektrumu verileri

Sismik Bölge		Z3		
T_A	0.15		T_B	0.6
Ao	0.4		I	1

Çizelge 4.6 Talep eğrisi koordinatlarının elde edilmesi

T (sn)	S(T) g	Sa(T)	w	Sd(T)
0	1	3.924	125	0.00025
0.05	1.5	5.886	125.6	0.00037
0.1	2	7.848	62.8	0.00199
0.15	**2.5**	**9.81**	**41.8667**	**0.0056**
0.2	2.5	9.81	31.4	0.00995
0.25	2.5	9.81	25.12	0.01555
0.3	2.5	9.81	20.9333	0.02239
0.35	2.5	9.81	17.9429	0.03047
0.4	2.5	9.81	15.7	0.0398
0.45	2.5	9.81	13.9556	0.05037
0.5	2.5	9.81	12.56	0.06219
0.55	2.5	9.81	11.4182	0.07524
0.6	**2.5**	**9.81**	**10.4667**	**0.08955**
0.65	2.34493	9.20151466	9.66154	0.09857
0.7	2.20995	8.671846377	8.97143	0.10774
0.75	2.09128	8.206179209	8.37333	0.11704
0.8	1.98604	7.793239411	7.85	0.12647
0.85	1.89202	7.424288968	7.38824	0.13601
0.9	1.80745	7.092445384	6.97778	0.14567
0.95	1.73094	6.792210291	6.61053	0.15543
1	1.66135	6.519135496	6.28	0.1653
1.05	1.59775	6.269581733	5.98095	0.17527
1.1	1.53938	6.040541322	5.70909	0.18533
1.15	1.4856	5.829505755	5.46087	0.19548
1.2	1.43587	5.634365431	5.23333	0.20573
1.25	1.38974	5.453332739	5.024	0.21605
1.3	1.34681	5.284882377	4.83077	0.22647
1.35	1.30675	5.127704538	4.65185	0.23696
1.4	1.26928	4.980667834	4.48571	0.24753
1.45	1.23415	4.842789654	4.33103	0.25817
1.5	1.20112	4.713212279	4.18667	0.26889
1.55	1.17003	4.591183481	4.05161	0.27968
1.6	1.14068	4.476040645	3.925	0.29055
1.65	1.11295	4.367197697	3.80606	0.30148
1.7	1.08668	4.264134262	3.69412	0.31247
1.75	1.06177	4.166386628	3.58857	0.32353
1.8	1.03811	4.073540173	3.48889	0.33466
1.85	1.0156	3.985222971	3.39459	0.34584
1.9	0.99416	3.901100394	3.30526	0.35709
1.95	0.97372	3.820870501	3.22051	0.36839
2	0.95419	3.74426011	3.14	0.37976

2.05	0.93553	3.671021422	3.06341	0.39118
2.1	0.91767	3.600929112	2.99048	0.40266
2.15	0.90055	3.533777814	2.92093	0.41419
2.2	0.88414	3.46937994	2.85455	0.42577
2.25	0.86839	3.407563779	2.79111	0.43741
2.3	0.85325	3.348171836	2.73043	0.4491
2.35	0.8387	3.291059377	2.67234	0.46084
2.4	0.82469	3.236093151	2.61667	0.47263
2.45	0.8112	3.183150262	2.56327	0.48447
2.5	0.79819	3.132117173	2.512	0.49636
2.55	0.78565	3.082888824	2.46275	0.5083
2.6	0.77354	3.035367846	2.41538	0.52028
2.65	0.76184	2.989463867	2.36981	0.53231
2.7	0.75053	2.945092884	2.32593	0.54439
2.75	0.7396	2.90217671	2.28364	0.55651
2.8	0.72901	2.860642474	2.24286	0.56867
2.85	0.71876	2.820422169	2.20351	0.58088
2.9	0.70883	2.781452254	2.16552	0.59313
2.95	0.6992	2.743673287	2.12881	0.60542
3	0.68986	2.707029596	2.09333	0.61775



Şekil 4.20 Talep eğrisi

4.11 Deprem Talebinin Belirlenmesi

Bu bölümde, deprem talep eğrisi ve tek serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisi aynı

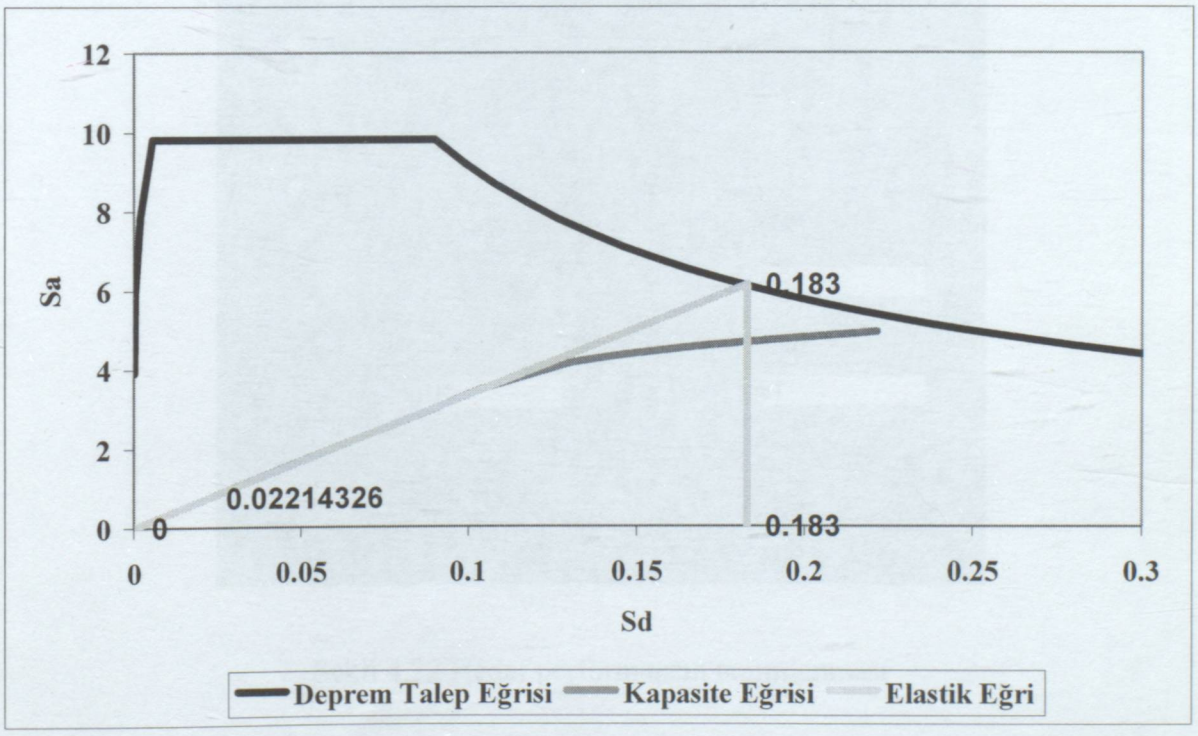
grafik üzerinde gösterilerek, depremin sistemden talebi yani sistemin hedef deplasmanı belirlenmiştir. Kapasite eğrisinden T_1 periyodunu temsilen çıkarılan radyal çizginin deprem talep eğrisini kestiği yer depremin elastik talebini yansıtmaktadır.

Yapılan modal analiz sonucu periyot değeri, T = 1.25181sn > T_B = 0.6 sn olduğundan deprem talebinin hesabında eşit deplasman kuralı geçerlidir. Yani elastik tek serbestlik dereceli sistemin deplasman talebi ile elastik ötesi aynı sistemin deplasman talebi birbirlerine eşittir.

$$S_{DE} = S_D \tag{4.13}$$

Çizelge 4.7 Elastik eğri koordinatları

Elastik Sistem	
d (m)	a(m/sn^2)
0	0
0.02214	0.74003
0.183	6.11589
0.183	0



Şekil 4.21 Hedef deplasman tayini

Şekil 4.23'te gösterildiği gibi, T=1.25 sn için elastik radyal çizgi, deprem talep eğrisini S_d=0.183m değerinde kesmektedir. Eşit deplasman kuralının geçerli olduğu göz önünde

tutulursa;

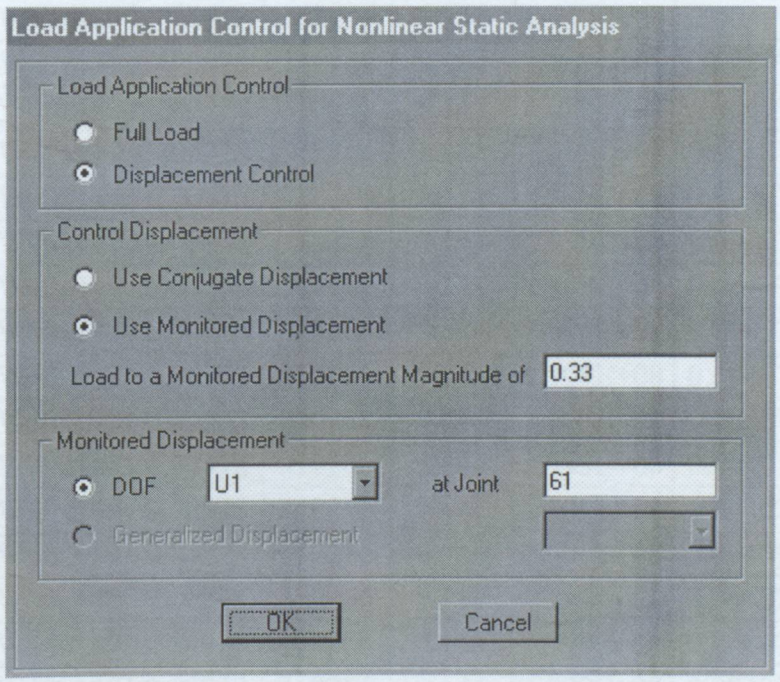
$S_{de} = S_{din} = 0.183m$ olur.

Yukarıda hesaplanan deprem talebi, tek serbestlik dereceli sisteme aittir. Elemanların ve çerçevenin performansını belirleyebilmek için ise bu değerin, çok serbestlik dereceli sisteme ait değere dönüştürülüp öteleme analizinde hedef deplasman olarak atanması gerekmektedir. İtme analizi sonucunda, hedef deplasmanda oluşan eleman uç dönmelerinden yola çıkarak kesitlerin performansı, kat ve sistem göreli ötelemelerinden yola çıkarak ise sistem genel performansı hakkında yargıya varılabilir.

$$S_{d-ÇSDS} = S_d \Gamma \phi \tag{4.14}$$

$S_{d-ÇSDS} = 0.183 * 48.625 * 0.03715$

$S_{d-ÇSDS} \cong 0.33m$ bulunur.



Şekil 4.22 Hedef performansın tanımlanması

4.12 Kiriş Elemanlarının Performanslarının Belirlenmesi

Kiriş elemanlarımızın performanslarını değerlendirmek için kiriş uç noktalarında, hedef deplasmandan kaynaklanan dönme değerleri kullanılacaktır. Elemanların akma dönmeleri ise (4.1) denklemi yardımıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8 Kiriş elemanlarının akma dönmesi değerleri

KİRİŞ ELEMANLARI AKMA DÖNMELERİ HESABI							
No	Kesit	Z (m^3)	F_{ye} (kN/m^2)	L_b (m)	E (kN/m^2)	Ib (m^4)	Θ_y radyan
B11-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B11-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B12-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B12-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B13-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B13-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B14-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B14-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B15-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B15-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B21-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B21-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B22-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B22-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B23-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B23-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B24-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B24-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B25-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B25-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B31-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B31-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B32-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B32-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B33-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B33-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B34-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B34-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B35-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B35-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B41-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B41-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B42-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B42-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B43-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B43-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B44-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B44-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03

B45-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B45-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B51-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B51-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B52-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B52-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B53-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B53-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B54-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B54-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B55-i	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B55-j	W40x149	0.00978	310266	9.144	1.999E+08	0.00407	5.68E-03
B61-i	W36x135	0.00834	310266	9.144	1.999E+08	0.00325	6.08E-03
B61-j	W36x135	0.00834	310266	9.144	1.999E+08	0.00325	6.08E-03
B62-i	W36x135	0.00834	310266	9.144	1.999E+08	0.00325	6.08E-03
B62-j	W36x135	0.00834	310266	9.144	1.999E+08	0.00325	6.08E-03
B63-i	W36x135	0.00834	310266	9.144	1.999E+08	0.00325	6.08E-03
B63-j	W36x135	0.00834	310266	9.144	1.999E+08	0.00325	6.08E-03
B64-i	W36x135	0.00834	310266	9.144	1.999E+08	0.00325	6.08E-03
B64-j	W36x135	0.00834	310266	9.144	1.999E+08	0.00325	6.08E-03
B65-i	W36x135	0.00834	310266	9.144	1.999E+08	0.00325	6.08E-03
B65-j	W36x135	0.00834	310266	9.144	1.999E+08	0.00325	6.08E-03
B71-i	W33x130	0.00765	310266	9.144	1.999E+08	0.00279	6.48E-03
B71-j	W33x130	0.00765	310266	9.144	1.999E+08	0.00279	6.48E-03
B72-i	W33x130	0.00765	310266	9.144	1.999E+08	0.00279	6.48E-03
B72-j	W33x130	0.00765	310266	9.144	1.999E+08	0.00279	6.48E-03
B73-i	W33x130	0.00765	310266	9.144	1.999E+08	0.00279	6.48E-03
B73-j	W33x130	0.00765	310266	9.144	1.999E+08	0.00279	6.48E-03
B74-i	W33x130	0.00765	310266	9.144	1.999E+08	0.00279	6.48E-03
B74-j	W33x130	0.00765	310266	9.144	1.999E+08	0.00279	6.48E-03
B75-i	W33x130	0.00765	310266	9.144	1.999E+08	0.00279	6.48E-03
B75-j	W33x130	0.00765	310266	9.144	1.999E+08	0.00279	6.48E-03
B81-i	W30x116	0.00619	310266	9.144	1.999E+08	0.00205	7.14E-03
B81-j	W30x116	0.00619	310266	9.144	1.999E+08	0.00205	7.14E-03
B82-i	W30x116	0.00619	310266	9.144	1.999E+08	0.00205	7.14E-03
B82-j	W30x116	0.00619	310266	9.144	1.999E+08	0.00205	7.14E-03
B83-i	W30x116	0.00619	310266	9.144	1.999E+08	0.00205	7.14E-03
B83-j	W30x116	0.00619	310266	9.144	1.999E+08	0.00205	7.14E-03
B84-i	W30x116	0.00619	310266	9.144	1.999E+08	0.00205	7.14E-03
B84-j	W30x116	0.00619	310266	9.144	1.999E+08	0.00205	7.14E-03
B85-i	W30x116	0.00619	310266	9.144	1.999E+08	0.00205	7.14E-03
B85-j	W30x116	0.00619	310266	9.144	1.999E+08	0.00205	7.14E-03

B91-i	W30x90	0.00464	310266	9.144	1.999E+08	0.00151	7.28E-03
B91-j	W30x90	0.00464	310266	9.144	1.999E+08	0.00151	7.28E-03
B92-i	W30x90	0.00464	310266	9.144	1.999E+08	0.00151	7.28E-03
B92-j	W30x90	0.00464	310266	9.144	1.999E+08	0.00151	7.28E-03
B93-i	W30x90	0.00464	310266	9.144	1.999E+08	0.00151	7.28E-03
B93-j	W30x90	0.00464	310266	9.144	1.999E+08	0.00151	7.28E-03
B94-i	W30x90	0.00464	310266	9.144	1.999E+08	0.00151	7.28E-03
B94-j	W30x90	0.00464	310266	9.144	1.999E+08	0.00151	7.28E-03
B95-i	W30x90	0.00464	310266	9.144	1.999E+08	0.00151	7.28E-03
B95-j	W30x90	0.00464	310266	9.144	1.999E+08	0.00151	7.28E-03

Çizelge 4.9 Kiriş elemanları performans değerlendirmesi

No	Kesit	Θ_y radyan	Θ_p radyan	Oran	Performans
B11-i	W40x149	0.0056833	0.006199	1.09074	IO-LS Arası
B11-j	W40x149	0.0056833	-0.007739	1.36171	IO-LS Arası
B12-i	W40x149	0.0056833	0.005516	0.97056	IO
B12-j	W40x149	0.0056833	-0.007872	1.38511	IO-LS Arası
B13-i	W40x149	0.0056833	0.005515	0.97039	IO
B13-j	W40x149	0.0056833	-0.007869	1.38458	IO-LS Arası
B14-i	W40x149	0.0056833	0.005516	0.97056	IO
B14-j	W40x149	0.0056833	-0.007866	1.38405	IO-LS Arası
B15-i	W40x149	0.0056833	0.005502	0.9681	IO
B15-j	W40x149	0.0056833	-0.00852	1.49913	IO-LS Arası
B21-i	W40x149	0.0056833	0.006429	1.13121	IO-LS Arası
B21-j	W40x149	0.0056833	-0.008231	1.44828	IO-LS Arası
B22-i	W40x149	0.0056833	0.006172	1.08599	IO-LS Arası
B22-j	W40x149	0.0056833	-0.008525	1.50001	IO-LS Arası
B23-i	W40x149	0.0056833	0.006173	1.08616	IO-LS Arası
B23-j	W40x149	0.0056833	-0.00853	1.50089	IO-LS Arası
B24-i	W40x149	0.0056833	0.006174	1.08634	IO-LS Arası
B24-j	W40x149	0.0056833	-0.008534	1.50159	IO-LS Arası
B25-i	W40x149	0.0056833	0.006156	1.08317	IO-LS Arası
B25-j	W40x149	0.0056833	-0.008794	1.54734	IO-LS Arası
B31-i	W40x149	0.0056833	0.004076	0.71719	IO
B31-j	W40x149	0.0056833	-0.006071	1.06822	IO-LS Arası
B32-i	W40x149	0.0056833	0.004056	0.71367	IO
B32-j	W40x149	0.0056833	-0.006403	1.12663	IO-LS Arası
B33-i	W40x149	0.0056833	0.004057	0.71384	IO
B33-j	W40x149	0.0056833	-0.006412	1.12822	IO-LS Arası
B34-i	W40x149	0.0056833	0.004057	0.71384	IO

B34-j	W40x149	0.0056833	-0.006401	1.12628	IO-LS Arası
B35-i	W40x149	0.0056833	0.003913	0.68851	IO
B35-j	W40x149	0.0056833	-0.00659	1.15954	IO-LS Arası
B41-i	W40x149	0.0056833	0.000653	0.1149	IO
B41-j	W40x149	0.0056833	-0.002727	0.47983	IO
B42-i	W40x149	0.0056833	0.000795	0.13988	IO
B42-j	W40x149	0.0056833	-0.003135	0.55162	IO
B43-i	W40x149	0.0056833	0.000786	0.1383	IO
B43-j	W40x149	0.0056833	-0.003154	0.55496	IO
B44-i	W40x149	0.0056833	0.000786	0.1383	IO
B44-j	W40x149	0.0056833	-0.003132	0.55109	IO
B45-i	W40x149	0.0056833	0.00064	0.11261	IO
B45-j	W40x149	0.0056833	-0.003231	0.56851	IO
B51-i	W40x149	0.0056833	0	0	IO
B51-j	W40x149	0.0056833	0	0	IO
B52-i	W40x149	0.0056833	0	0	IO
B52-j	W40x149	0.0056833	-0.000341	0.06	IO
B53-i	W40x149	0.0056833	0	0	IO
B53-j	W40x149	0.0056833	-0.000358	0.06299	IO
B54-i	W40x149	0.0056833	0	0	IO
B54-j	W40x149	0.0056833	-0.000341	0.06	IO
B55-i	W40x149	0.0056833	0	0	IO
B55-j	W40x149	0.0056833	0	0	IO
B61-i	W36x135	0.0060756	0	0	IO
B61-j	W36x135	0.0060756	0	0	IO
B62-i	W36x135	0.0060756	0	0	IO
B62-j	W36x135	0.0060756	0	0	IO
B63-i	W36x135	0.0060756	0	0	IO
B63-j	W36x135	0.0060756	0	0	IO
B64-i	W36x135	0.0060756	0	0	IO
B64-j	W36x135	0.0060756	0	0	IO
B65-i	W36x135	0.0060756	0	0	IO
B65-j	W36x135	0.0060756	0	0	IO
B71-i	W33x130	0.0064798	0	0	IO
B71-j	W33x130	0.0064798	0	0	IO
B72-i	W33x130	0.0064798	0	0	IO
B72-j	W33x130	0.0064798	0	0	IO
B73-i	W33x130	0.0064798	0	0	IO
B73-j	W33x130	0.0064798	0	0	IO
B74-i	W33x130	0.0064798	0	0	IO
B74-j	W33x130	0.0064798	0	0	IO

B75-i	W33x130	0.0064798	0	0	IO
B75-j	W33x130	0.0064798	0	0	IO
B81-i	W30x116	0.0071386	0	0	IO
B81-j	W30x116	0.0071386	0	0	IO
B82-i	W30x116	0.0071386	0	0	IO
B82-j	W30x116	0.0071386	0	0	IO
B83-i	W30x116	0.0071386	0	0	IO
B83-j	W30x116	0.0071386	0	0	IO
B84-i	W30x116	0.0071386	0	0	IO
B84-j	W30x116	0.0071386	0	0	IO
B85-i	W30x116	0.0071386	0	0	IO
B85-j	W30x116	0.0071386	0	0	IO
B91-i	W30x90	0.0072785	0	0	IO
B91-j	W30x90	0.0072785	0	0	IO
B92-i	W30x90	0.0072785	0	0	IO
B92-j	W30x90	0.0072785	0	0	IO
B93-i	W30x90	0.0072785	0	0	IO
B93-j	W30x90	0.0072785	0	0	IO
B94-i	W30x90	0.0072785	0	0	IO
B94-j	W30x90	0.0072785	0	0	IO
B95-i	W30x90	0.0072785	0	0	IO
B95-j	W30x90	0.0072785	0	0	IO

4.13 Kolon Elemanlarının Performanslarının Belirlenmesi

Kolon elemanlarının performanslarını değerlendirmek için kirişlerdeki yöntem kullanılmıştır. Kolon uç noktalarında hedef deplasmandan kaynaklanan dönme değerleri yardımıyla, performans değerlendirmesi yapılmıştır. Kolon kesitlerinin akma dönmesi değerleri ise (4.6) yardımıyla hesaplanmaktadır.

Çizelge 4.10 Kolon elemanları akma dönmesi hesabı için gerekli değerler

No	Kesit	Z (m^3)	F_{ye} (kN/m^2)	L_c (m)	E (kN/m^2)	I_c (m^4)	A (m^2)
K1-i	W14X500	0.01721	310266	5.4864	1.999E+08	0.00342	0.09484
K1-j	W14X500	0.01721	310266	5.4864	1.999E+08	0.00342	0.09484
K2-i	W14X500	0.01721	310266	3.9624	1.999E+08	0.00342	0.09484
K2-j	W14X500	0.01721	310266	3.9624	1.999E+08	0.00342	0.09484
K3-i	W14X455	0.01534	310266	3.9624	1.999E+08	0.00299	0.08645
K3-j	W14X455	0.01534	310266	3.9624	1.999E+08	0.00299	0.08645
K4-i	W14X455	0.01534	310266	3.9624	1.999E+08	0.00299	0.08645
K4-j	W14X455	0.01534	310266	3.9624	1.999E+08	0.00299	0.08645

K5-i	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K5-j	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K6-i	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K6-j	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K7-i	W14X342	0.01101	310266	3.9624	1.999E+08	0.00204	0.06516
K7-j	W14X342	0.01101	310266	3.9624	1.999E+08	0.00204	0.06516
K8-i	W14X342	0.01101	310266	3.9624	1.999E+08	0.00204	0.06516
K8-j	W14X342	0.01101	310266	3.9624	1.999E+08	0.00204	0.06516
K9-i	W14X257	0.00798	310266	3.9624	1.999E+08	0.00142	0.04877
K9-j	W14X257	0.00798	310266	3.9624	1.999E+08	0.00142	0.04877
K10-i	W14X665	0.02425	310266	5.4864	1.999E+08	0.00516	0.12645
K10-j	W14X665	0.02425	310266	5.4864	1.999E+08	0.00516	0.12645
K11-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K11-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K12-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K12-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K13-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K13-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K14-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K14-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K15-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K15-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K16-i	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K16-j	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K17-i	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K17-j	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K18-i	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K18-j	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K19-i	W14X665	0.02425	310266	5.4864	1.999E+08	0.00516	0.12645
K19-j	W14X665	0.02425	310266	5.4864	1.999E+08	0.00516	0.12645
K20-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K20-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K21-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K21-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K22-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K22-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K23-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K23-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K24-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K24-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K25-i	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452

K25-j	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K26-i	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K26-j	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K27-i	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K27-j	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K28-i	W14X665	0.02425	310266	5.4864	1.999E+08	0.00516	0.12645
K28-j	W14X665	0.02425	310266	5.4864	1.999E+08	0.00516	0.12645
K29-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K29-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K30-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K30-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K31-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K31-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K32-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K32-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K33-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K33-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K34-i	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K34-j	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K35-i	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K35-j	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K36-i	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K36-j	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K37-i	W14X665	0.02425	310266	5.4864	1.999E+08	0.00516	0.12645
K37-j	W14X665	0.02425	310266	5.4864	1.999E+08	0.00516	0.12645
K38-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K38-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K39-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K39-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K40-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K40-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K41-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K41-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K42-i	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K42-j	W14X665	0.02425	310266	3.9624	1.999E+08	0.00516	0.12645
K43-i	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K43-j	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K44-i	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K44-j	W14X550	0.01934	310266	3.9624	1.999E+08	0.00393	0.10452
K45-i	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K45-j	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065

K46-i	W14X500	0.01721	310266	5.4864	1.999E+08	0.00342	0.09484
K46-j	W14X500	0.01721	310266	5.4864	1.999E+08	0.00342	0.09484
K47-i	W14X500	0.01721	310266	3.9624	1.999E+08	0.00342	0.09484
K47-j	W14X500	0.01721	310266	3.9624	1.999E+08	0.00342	0.09484
K48-i	W14X455	0.01534	310266	3.9624	1.999E+08	0.00299	0.08645
K48-j	W14X455	0.01534	310266	3.9624	1.999E+08	0.00299	0.08645
K49-i	W14X455	0.01534	310266	3.9624	1.999E+08	0.00299	0.08645
K49-j	W14X455	0.01534	310266	3.9624	1.999E+08	0.00299	0.08645
K50-i	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K50-j	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K51-i	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K51-j	W14X426	0.01424	310266	3.9624	1.999E+08	0.00275	0.08065
K52-i	W14X342	0.01101	310266	3.9624	1.999E+08	0.00204	0.06516
K52-j	W14X342	0.01101	310266	3.9624	1.999E+08	0.00204	0.06516
K53-i	W14X342	0.01101	310266	3.9624	1.999E+08	0.00204	0.06516
K53-j	W14X342	0.01101	310266	3.9624	1.999E+08	0.00204	0.06516
K54-i	W14X257	0.00798	310266	3.9624	1.999E+08	0.00142	0.04877
K54-j	W14X257	0.00798	310266	3.9624	1.999E+08	0.00142	0.04877

Çizelge 4.11 Kolon elemanları performans değerlendirmesi

No	Kesit	P (kN)	P_{ye} (kN)	Θ_y radyan	Θ_p radyan	Oran	Performans Değerlendirmesi
K1-i	W14X500	1773.8	29425.2	0.00672	0	0	IO
K1-j	W14X500	1813.86	29425.2	0.00671	0	0	IO
K2-i	W14X500	1408.18	29425.2	0.00491	0	0	IO
K2-j	W14X500	1437.1	29425.2	0.00491	0	0	IO
K3-i	W14X455	1028.17	26822.9	0.00505	0	0	IO
K3-j	W14X455	1054.54	26822.9	0.00505	0	0	IO
K4-i	W14X455	653.556	26822.9	0.00513	0	0	IO
K4-j	W14X455	679.925	26822.9	0.00512	0	0	IO
K5-i	W14X426	290.249	25021.4	0.00525	0	0	IO
K5-j	W14X426	314.844	25021.4	0.00525	0	0	IO
K6-i	W14X426	0	25021.4	0.00531	0	0	IO
K6-j	W14X426	-20.074	25021.4	0.00531	0	0	IO
K7-i	W14X342	-151.61	20217.3	0.00549	0	0	IO
K7-j	W14X342	-131.73	20217.3	0.0055	0	0	IO
K8-i	W14X342	-200.66	20217.3	0.00548	0	0	IO
K8-j	W14X342	-180.7	20217.3	0.00548	0	0	IO
K9-i	W14X257	-137.78	15132.9	0.00573	0	0	IO
K9-j	W14X257	-122.91	15132.9	0.00573	0	0	IO
K10-i	W14X665	-3954.8	39233.6	0.006	0	0	IO
K10-j	W14X665	-3901.4	39233.6	0.00601		0	IO

K11-i	W14X665	-3475.9	39233.6	0.00439	0	0	IO
K11-j	W14X665	-3437.3	39233.6	0.00439	0	0	IO
K12-i	W14X665	-3024.9	39233.6	0.00445	0	0	IO
K12-j	W14X665	-2986.4	39233.6	0.00445	0	0	IO
K13-i	W14X665	-2579.1	39233.6	0.0045	0	0	IO
K13-j	W14X665	-2540.5	39233.6	0.0045	0	0	IO
K14-i	W14X665	-2132.8	39233.6	0.00455	0	0	IO
K14-j	W14X665	-2094.2	39233.6	0.00456	0	0	IO
K15-i	W14X665	-1696.6	39233.6	0.00461	0	0	IO
K15-j	W14X665	-1658.1	39233.6	0.00461	0	0	IO
K16-i	W14X550	-1271.8	32427.7	0.00485	0	0	IO
K16-j	W14X550	-1239.9	32427.7	0.00486	0	0	IO
K17-i	W14X550	-852.03	32427.7	0.00492	0	0	IO
K17-j	W14X550	-820.15	32427.7	0.00492	0	0	IO
K18-i	W14X426	-430.03	25021.4	0.00522	0	0	IO
K18-j	W14X426	-405.31	25021.4	0.00523	0	0	IO
K19-i	W14X665	-4060	39233.6	0.00598	0	0	IO
K19-j	W14X665	-4006.6	39233.6	0.00599	0	0	IO
K20-i	W14X665	-3582.8	39233.6	0.00438	0	0	IO
K20-j	W14X665	-3544.3	39233.6	0.00438	0	0	IO
K21-i	W14X665	-3129.9	39233.6	0.00443	0	0	IO
K21-j	W14X665	-3091.4	39233.6	0.00444	0	0	IO
K22-i	W14X665	-2679.9	39233.6	0.00449	0	0	IO
K22-j	W14X665	-2641.3	39233.6	0.00449	0	0	IO
K23-i	W14X665	-2229.6	39233.6	0.00454	0	0	IO
K23-j	W14X665	-2191	39233.6	0.00455	0	0	IO
K24-i	W14X665	-1776.4	39233.6	0.0046	0	0	IO
K24-j	W14X665	-1737.8	39233.6	0.0046	0	0	IO
K25-i	W14X550	-1322.7	32427.7	0.00484	0	0	IO
K25-j	W14X550	-1290.8	32427.7	0.00485	0	0	IO
K26-i	W14X550	-877.12	32427.7	0.00491	0	0	IO
K26-j	W14X550	-845.25	32427.7	0.00492	0	0	IO
K27-i	W14X426	-433.34	25021.4	0.00522	0	0	IO
K27-j	W14X426	-408.75	25021.4	0.00523	0	0	IO
K28-i	W14X665	-4051.4	39233.6	0.00598	0	0	IO
K28-j	W14X665	-3996.2	39233.6	0.00599	0	0	IO
K29-i	W14X665	-3573.5	39233.6	0.00438	0	0	IO
K29-j	W14X665	-3535	39233.6	0.00438	0	0	IO
K30-i	W14X665	-3120.3	39233.6	0.00443	0	0	IO
K30-j	W14X665	-3081.7	39233.6	0.00444	0	0	IO
K31-i	W14X665	-2670.5	39233.6	0.00449	0	0	IO
K31-j	W14X665	-2631.9	39233.6	0.00449	0	0	IO

K32-i	W14X665	-2220.2	39233.6	0.00454	0	0	IO
K32-j	W14X665	-2181.6	39233.6	0.00455	0	0	IO
K33-i	W14X665	-1768.9	39233.6	0.0046	0	0	IO
K33-j	W14X665	-1730.3	39233.6	0.0046	0	0	IO
K34-i	W14X550	-1317.6	32427.7	0.00484	0	0	IO
K34-j	W14X550	-1285.8	32427.7	0.00485	0	0	IO
K35-i	W14X550	-874.03	32427.7	0.00491	0	0	IO
K35-j	W14X550	-842.16	32427.7	0.00492	0	0	IO
K36-i	W14X426	-431.14	25021.4	0.00522	0	0	IO
K36-j	W14X426	-406.54	25021.4	0.00523	0	0	IO
K37-i	W14X665	-4132.9	39233.6	0.00597	0	0	IO
K37-j	W14X665	-4079.5	39233.6	0.00598	0	0	IO
K38-i	W14X665	-3656.9	39233.6	0.00437	0	0	IO
K38-j	W14X665	-3618.3	39233.6	0.00437	0	0	IO
K39-i	W14X665	-3203.3	39233.6	0.00442	0	0	IO
K39-j	W14X665	-3164.7	39233.6	0.00443	0	0	IO
K40-i	W14X665	-2752.3	39233.6	0.00448	0	0	IO
K40-j	W14X665	-2847.2	39233.6	0.00447	0	0	IO
K41-i	W14X665	-2302.3	39233.6	0.00453	0	0	IO
K41-j	W14X665	-2263.7	39233.6	0.00454	0	0	IO
K42-i	W14X665	-1842.7	39233.6	0.00459	0	0	IO
K42-j	W14X665	-1804.1	39233.6	0.0046	0	0	IO
K43-i	W14X550	-1373.4	32427.7	0.00484	0	0	IO
K43-j	W14X550	-1341.5	32427.7	0.00484	0	0	IO
K44-i	W14X550	-910.47	32427.7	0.00491	0	0	IO
K44-j	W14X550	-878.6	32427.7	0.00491	0	0	IO
K45-i	W14X426	-453.26	25021.4	0.00522	0	0	IO
K45-j	W14X426	-428.67	25021.4	0.00522	0	0	IO
K46-i	W14X500	-5954.4	29425.2	0.0057	0	0	IO
K46-j	W14X500	-5914.3	29425.2	0.00571	0	0	IO
K47-i	W14X500	-5087.5	29425.2	0.00427	0	0	IO
K47-j	W14X500	-5058.6	29425.2	0.00427	0	0	IO
K48-i	W14X455	-4235	26822.9	0.00442	0	0	IO
K48-j	W14X455	-4208.6	26822.9	0.00443	0	0	IO
K49-i	W14X455	-3394.3	26822.9	0.00459	0	0	IO
K49-j	W14X455	-3367.9	26822.9	0.00459	0	0	IO
K50-i	W14X426	-2563.4	25021.4	0.00477	0	0	IO
K50-j	W14X426	-2538.8	25021.4	0.00477	0	0	IO
K51-i	W14X426	-1797.8	25021.4	0.00493	0	0	IO
K51-j	W14X426	-1773.2	25021.4	0.00494	0	0	IO
K52-i	W14X342	-1181	20217.3	0.00521	0	0	IO
K52-j	W14X342	-1161.1	20217.3	0.00522	0	0	IO

K53-i	W14X342	-675.59	20217.3	0.00535	0	0	IO
K53-j	W14X342	-655.72	20217.3	0.00535	0	0	IO
K54-i	W14X257	-282.86	15132.9	0.00567	0	0	IO
K54-j	W14X257	-267.98	15132.9	0.00568	0	0	IO

4.14 Kat Göreli Ötelemelerinin Belirlenmesi

Sistem genel performansı değerlendirilirken, kat göreli öteleme değerleri kullanılmıştır. Ayrıca yapı hedef deplasmanının, toplam boya bölünmesi ile hesaplanan genel öteleme değeri yardımıyla da çerçevenin performansı hakkında bilgi edinilebilir.

$$\Delta d_i = \frac{d_i - d_{i-1}}{\Delta h_i} \tag{4.15}$$

$$\Delta d_ç = \frac{\delta_{max}}{H} \tag{4.16}$$

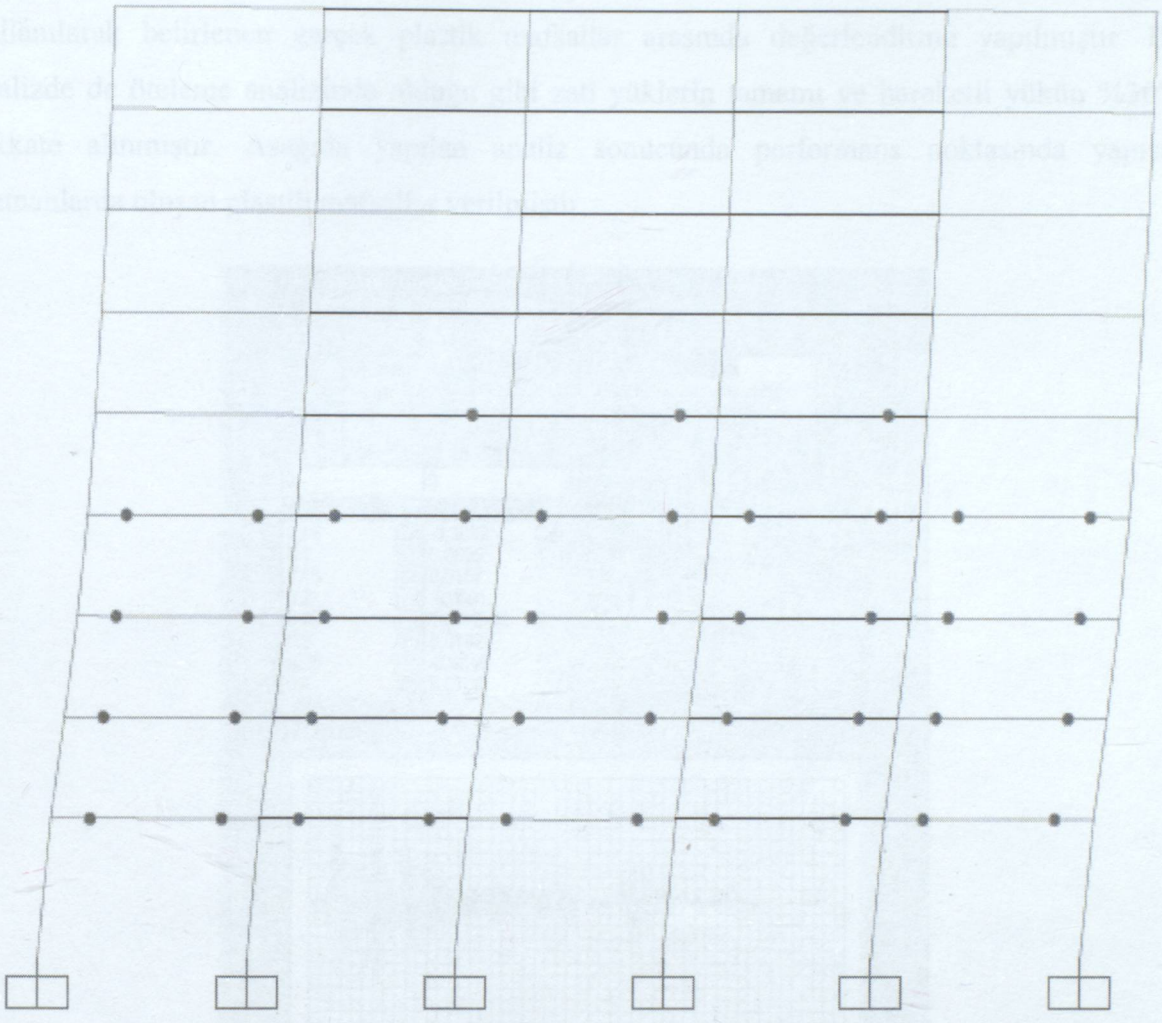
Çizelge 4.12 Kat göreli ötelemeleri

i. KAT	d_i (m)	d_{i-1} (m)	$d_i - d_{i-1}$ (m)	Δh_i (m)	Δd_i	Performans Değerlendirmesi
1	0.05679	0	0.05679	5.4864	0.01035	Hemen Kullanım - Can Güvenliği Arası
2	0.1151	0.05679	0.05831	3.9624	0.01472	Hemen Kullanım - Can Güvenliği Arası
3	0.17014	0.1151	0.05504	3.9624	0.01389	Hemen Kullanım - Can Güvenliği Arası
4	0.21429	0.17014	0.04415	3.9624	0.01114	Hemen Kullanım - Can Güvenliği Arası
5	0.24709	0.21429	0.0328	3.9624	0.00828	Hemen Kullanım - Can Güvenliği Arası
6	0.27328	0.24709	0.02619	3.9624	0.00661	Hemen Kullanım - Can Güvenliği Arası
7	0.29719	0.27328	0.02391	3.9624	0.00603	Hemen Kullanım - Can Güvenliği Arası
8	0.31619	0.29719	0.019	3.9624	0.0048	Hemen Kullanım
9	0.33	0.31619	0.01381	3.9624	0.00349	Hemen Kullanım

$\Delta d_ç = \frac{\delta_{max}}{H} \Rightarrow \quad \Delta d_ç = \frac{0.33}{37.1856} = 0.0081 \Rightarrow$ Çerçevenin genel performansının "Hemen Kullanım – Can Güvenliği" arası olduğu söylenilebilir.

4.15 Hedef Deplasmandaki Plastik Mafsal Yerleri

Hedef deplasmanda, düzlem çerçevede oluşan plastik mafsal yerleri Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

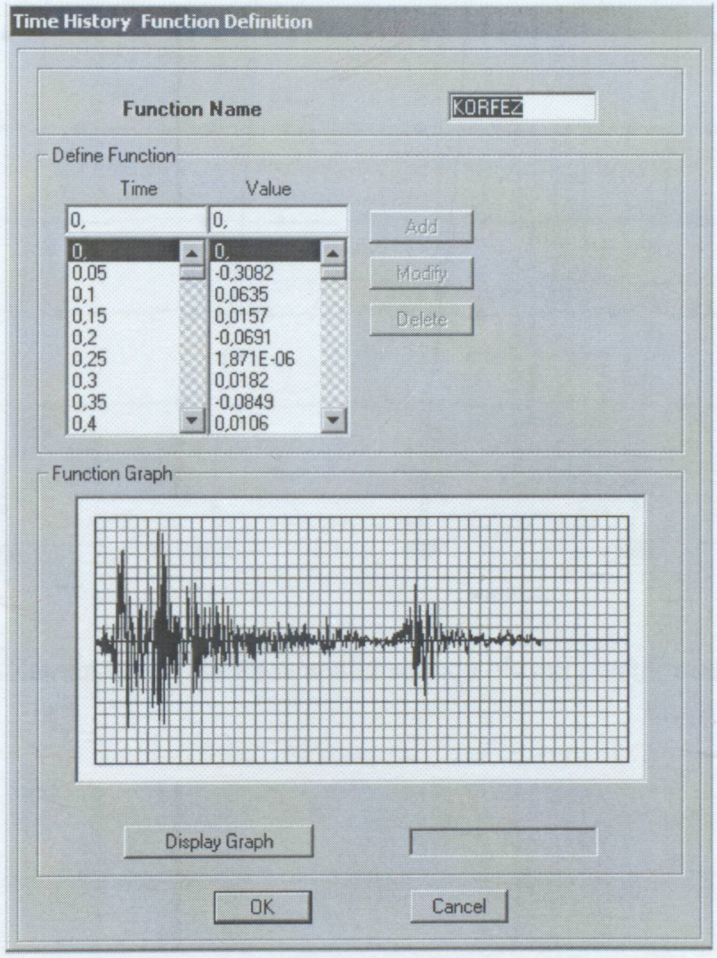


Şekil 4.23 Plastik mafsal yerleri

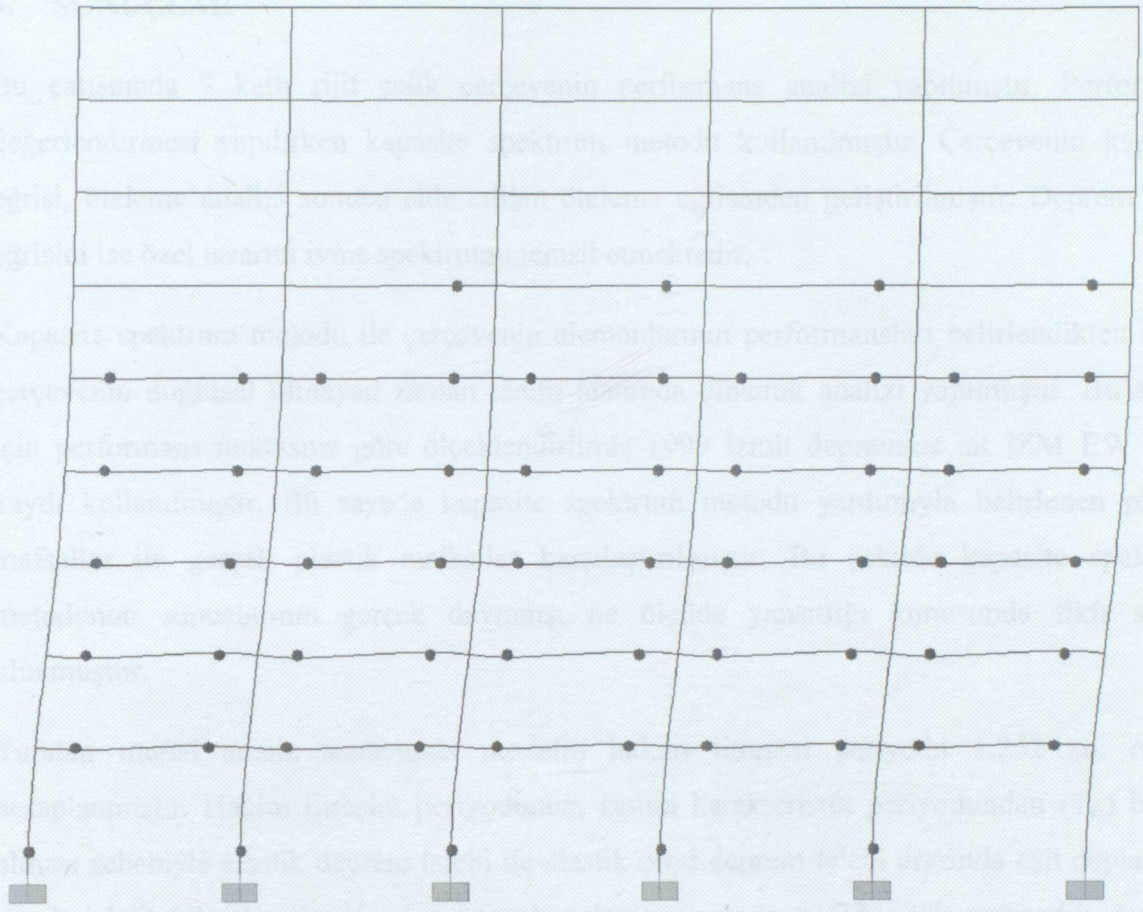
4.16 Zaman tanım alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Çözümleme ve Kapasite Spektrum Metodu ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümde kapasite spektrum metodu kullanılarak performans değerlendirmesi yaptığımız örnek çerçevenin, zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır. Bu analizde, Kocaeli depremine ait IZM_EW yer hareketi ivme kaydı kullanılmıştır. Ele alınan ivme kaydı, kapasite spektrum metodu ile hesaplanan performans noktasına (elastik ötesi deplasman talebi) göre ölçeklendirilmiştir. Analiz sonunda çerçevenin elemanlarında, performans noktasında bu deprem için oluşacak plastik mafsallar tespit edilmiştir. Böylece

kapasite spektrum metodu kullanılarak hesaplanan hedef deplasmanda oluşması beklenen plastik mafsallar ile performans noktasına uygun büyüklükte ölçeklendirilmiş deprem kaydı kullanılarak belirlenen gerçek plastik mafsallar arasında değerlendirme yapılmıştır. Bu analizde de öteleme analizinde olduğu gibi zati yüklerin tamamı ve hareketli yükün %30'u dikkate alınmıştır. Aşağıda yapılan analiz sonucunda performans noktasında yapısal elemanlarda oluşan plastik mafsallar verilmiştir.



Şekil 4.24 1999 İzmit depremi IZM_EW ivme kaydı



Şekil 4.25 Zaman tanım alanında analiz sonucu oluşan plastik mafsal yerleri

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada 9 katlı rijit çelik çerçevenin performans analizi yapılmıştır. Performans değerlendirmesi yapılırken kapasite spektrum metodu kullanılmıştır. Çerçevenin kapasite eğrisi, öteleme analizi sonucu elde edilen öteleme eğrisinden geliştirilmiştir. Deprem talep eğrisini ise özel tasarım ivme spektrumu temsil etmektedir.

Kapasite spektrum metodu ile çerçevenin elemanlarının performansları belirlendikten sonra çerçevenin doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizi yapılmıştır. Bu analiz için performans noktasına göre ölçeklendirilmiş 1999 İzmit depremine ait IZM_EW ivme kaydı kullanılmıştır. Bu sayede kapasite spektrum metodu yardımıyla belirlenen plastik mafsallar ile gerçek plastik mafsallar karşılaştırılmıştır. Bu şekilde kapasite spektrum metodunun sonuçlarının gerçek davranışı ne ölçüde yansıttığı konusunda fikir sahibi olunmuştur.

Yapılan modal analiz sonucunda modelin hakim titreşim periyodu 1.252 sn. olarak hesaplanmıştır. Hakim titreşim periyodunun, zemin karakteristik periyodundan (T_B) büyük olması sebebiyle elastik deprem talebi ile elastik ötesi deprem talebi arasında eşit deplasman kuralı işletilebilmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin deprem talep performansı 0.183 m olarak hesaplanmıştır. Gerçek sistemin performansı (hedef deplasmanı, deprem talep deplasmanı) ise 0.33 m olarak tespit edilmiştir. Çerçevenin hedef deplasmana kadar itilmesi sonucunda da ilk plastik mafsallaşmaların kirişlerde oluştuğu gözlenmiştir.

İtme analizinin hedef deplasmana kadar yapılması sonucunda her bir elemanın uç noktalarındaki plastik dönme değerleri, akma dönmesi değerlerine oranlanarak, elemanların, Fema356 kabul kriterleri temel alınarak yerel performansı belirlenmiştir. Buna göre plastik mafsallaşmaların, daha çok alt kat kirişlerinde yoğunlaştığı görülmüştür.

Kat deplasmanlarının kat yüksekliklerine oranlanması sonucunda da göreli kat ötelemesi değerleri bulunmuştur. Ayrıca hedef deplasman değerinin toplam çerçeve yüksekliğine oranlanması ile de genel öteleme değeri bulunmuştur. Gerek kat öteleme değerlerinin gerekse çerçeve genel ötelemesinin, sınır öteleme değerleri ile karşılaştırılması sonucunda da sistemin genel performansının hemen yerleşim – can güvenliği performans seviyesi arasında olacağı tahmin edilmektedir.

Yapılan dinamik analiz sonucunda ise kapasite spektrum metodunun kirişlerde oluşan plastik

mafsalları tahmin etmede büyük ölçüde başarılı olduğu görülmüştür. Kapasite spektrum metodu, 4. kata kadar olan kirişlerde oluşan plastik mafsalların tamamını belirleyebilmede oldukça başarılıdır. Ancak 5. kata ait B55 ve B51 kirişlerinin her iki ucunda, B52, B53 ve B54 kirişlerinin de (i) ucunda oluşan plastik mafsalları belirlemede başarısız olmuştur. Ayrıca 6. kat kirişlerinde ve K1, K10, K19, K28 ve K37 kolonları alt uçlarında oluşan plastik mafsalların hiçbirini belirleyememiştir.

Sonuç olarak performansa dayalı tasarım ve performans değerlendirme yöntemlerinin, çerçevenin dinamik davranışını ve depremin yapıya olan etkilerini yansıtmaktaki eksikliklerinin giderilmesi halinde, deprem mühendisliğinde önemli bir yere sahip olacaktır.

KAYNAKLAR

ABYYHY, (1998), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik,, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Türkiye.

ATC, (1996), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC40, Applied Technology Council, Redwood City.

Aydınoğlu, M. N., (2003), "Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi için Artımasl Spektrum Analizi (ARA) Yöntemi", Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 20-26 Mayıs 2003, İstanbul.

Beedle, L. S., (1958), Plastic Design of Steel Frames, John Wiley&Sons, New York.

Bertero, R. D. ve Bertero, V. V., (2003), "Performance Based Seismic Engineering: The Need for a Reliable Conceptual Comprehensive Approach", Earthquke Engineering and Structural Dynamics, 31:627-652.

Celep, C. Ve Kumbasar, N., (2000), Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Yayınevi, İstanbul.

Chandler, A. M. ve Lam, N. T. K., (2001), "Performance-Based Design in Earthquake Engineering: A Multidisciplinary Review", Engineering Structures, 23:1525-1543.

Chopra, K. A., (2001), Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.

Chopra, K.A. ve Goel, K. R., (2002), "A Modal Öteleme Analysis Procedure for Estimating Seismic Demands for Buildings", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31:561-582

Chopra, K. A. ve Chintanapakdee C., (2003), "Evaluation of Modal Puhover Analysis Using Generic Frames", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32:417-442.

CSI, (2004), "CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS and SAFE", Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA

Deren, H., Uzgider, E. ve Piroğlu, Filiz., (2003), Çelik Yapılar, Çağlayan Yayınevi, İstanbul

Fajfar, P., (1999), "Capacity Spektrum Method Based on Inelastıc Demand Spektra", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 28:979-993.

FEMA, (2000), Prestandart and Commentory for the Seismic Engineering Rehabilitation of Buildings, FEMA 356, Federal Emergency Management Agency, Virginia

Ghoborah, A., (2001), "Performance-.Based Design in Earthquake Engineering: State of Developement", Engineering Structures, 23:878-884.

İrtem, E., Türker, K. ve Hasgül, U., (2004), "Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Yapıların Performansının Değerlendirilmesi", Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi.

Krawinkler, H., (1999), "Challenges and Progress in Performance-Based Earthquake Engineering", International Seminar on Seismic Engineering for Tomorrow, 26 Kasım 1999, Tokyo.

Krawinkler, H. ve Gupta, A., (2000), "Estimating of Seismic Drift Demands for Frame

Structures", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 29:1287-1305.

Lee, S. S. ve Goel, C. S., (2001), "Performance-Based Design of Steel Moment Frames Using Target Drift and Yield Mechanism" Research Report, UMCEE 01-17.

SEOC, (1995), Performance-Based Seismic Engineering of Buildings, VISION 2000, Structural Engineers of Association of California, C.A., USA.

Polat, Z., (2003), "Deprem Yükleri Altında Çözümleme Modal Spektral Hesap", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Melek İçi Eğitim Seminerleri, İstanbul

Polat, Z., Kırçıl, M. ve Hancıoğlu, B. (2003), "Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliklerinin İncelenmesi ve Performans Yaklaşımı" Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Ek 1 Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde yapısal çelik elemanları için modelleme parametreleri ve kabul kriterleri (Fema356, 2000)

KİRİŞ	Model Parametreleri		
	Plastik Dönme (Radyan)		Kalan Dayanım Oranı
	A	b	C
$\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \le \frac{34708.41}{\sqrt{F_{ye}}}$	$9\theta_y$	$11\ \theta_y$	0.6
$\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{5397.241}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \ge \frac{53142.063}{\sqrt{F_{ye}}}$	$4\theta_y$	$6\ \theta_y$	0.2

KİRİŞ	Kabul Kriterleri				
	Plastik Dönme (Radyan)				
		Birincil Eleman		İkincil Eleman	
	IO	LS	CP	LS	CP
$\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \le \frac{34708.41}{\sqrt{F_{ye}}}$	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$8\theta_y$	$9\theta_y$	$11\theta_y$
$\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{5397.241}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \ge \frac{53142.063}{\sqrt{F_{ye}}}$	$0.25\theta_y$	$2\theta_y$	$3\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$

KOLON $P/P_{cl} < 0.2$	Model Parametreleri		
	Plastik Dönme (Radyan)		Kalan Dayanım Oranı
	A	b	C
$\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \le \frac{33213.7892}{\sqrt{F_{ye}}}$	$9\theta_y$	$11\ \theta_y$	0.6
$d\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{5397.241}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \ge \frac{38195.8576}{\sqrt{F_{ye}}}$	$4\theta_y$	$6\ \theta_y$	0.2

KOLON $P/P_{cl} < 0.2$	Kabul Kriterleri				
	Plastik Dönme (Radyan)				
		Birincil Eleman		İkincil Eleman	
	IO	LS	CP	LS	CP
$\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \le \frac{24910.3419}{\sqrt{F_{ye}}}$	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$8\theta_y$	$9\theta_y$	$11\theta_y$
$d\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{5397.241}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \ge \frac{38195.8576}{\sqrt{F_{ye}}}$	$0.25\theta_y$	$2\theta_y$	$3\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$

	Model Parametreleri		
	Plastik Dönme (Radyan)		Kalan Dayanım Oranı
	a	b	c
$\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{4317.7926}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \le \frac{21588.963}{\sqrt{F_{ye}}}$	$11(1-1.7\frac{P}{P_{cl}})\theta_y$	$17(1-1.7\frac{P}{P_{cl}})\theta_y$	0.2
$\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{5397.241}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \ge \frac{33213.7892}{\sqrt{F_{ye}}}$	$1\theta_y$	$1.5\theta_y$	0.2

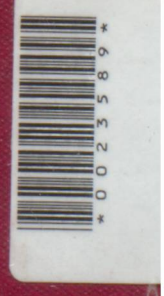
	Kabul Kriterleri				
	Plastik Dönme (Radyan)				
		Birincil Eleman		İkincil Eleman	
KOLON $0.2<P/P_{cl}<0.5$	IO	LS	CP	LS	CP
$\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{4317.792}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \le \frac{21588.963}{\sqrt{F_{ye}}}$	$0.25\theta_y$	$8(1-1.7\frac{P}{P_{cl}})\theta_y$	$11(1-1.7\frac{P}{P_{cl}})\theta_y$	$14(1-1.7\frac{P}{P_{cl}})\theta_y$	$17(1-1.7\frac{P}{P_{cl}})\theta_y$
$d\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{5397.2}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \ge \frac{38195.9}{\sqrt{F_{ye}}}$	$0.25\theta_y$	$0.5\theta_y$	$0.8\theta_y$	$1.2\theta_y$	$1.2\theta_y$

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	01.01.1981	
Doğum yeri	Tekirdağ	
Lise	1992-1999	Tekirdağ Anadolu İmam Hatip Lisesi
Lisans	1999-2003	Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurumlar

2003-Devam ediyor SEM Mühendislik&Mimarlık Ltd. Şti.


0023589