

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**1975 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE BOYUTLANDIRILMIŞ
BİR YAPININ GÜNCEL DEPREM YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE DEPREM
GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Burcu AKTEKİN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**1975 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE BOYUTLANDIRILMIŞ
BİR YAPININ GÜNCEL DEPREM YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE DEPREM
GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Burcu AKTEKİN
(501061206)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 ARALIK 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 22 OCAK 2009

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Konuralp GİRGİN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Ercan YÜKSEL (İTÜ)
Doç. Dr. Oğuz Cem ÇELİK (İTÜ)**

OCAK 2009

ÖNSÖZ

Yaptığım bu tez çalışması sırasında benden yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam **Doç. Dr. Konuralp Girgin**'e en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında yardımlarını gördüğüm sayın **Doç. Dr. Kutlu Darılmaz**'a teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme en derin teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2009

Burcu Aktekin
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	xii
SUMMARY.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.2 Konu İle İlgili Çalışmalar	1
2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI	3
2.1 Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar.....	4
2.2 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri	4
2.3 Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altındaki Doğrusal Olmayan Davranışı	6
2.4 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler	8
2.4.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri	8
2.4.1.1 İdeal malzemeler.....	9
2.4.1.2 Çeşitli yapı malzemelerinde gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları.....	9
2.4.2 Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları	12
2.4.2.1 Betonarme çubuklar	15
2.5 Plastik Mafsal Hipotezi	18
2.6 Yük Artımı Yöntemi	23
2.6.1 Yerdeğiştirmelerin ve plastik mafsal dönmelerinin hesabı	25
2.7 Limit Yükün Doğrudan Doğruya Hesabı	26
3. YAPILARIN PERFORMANSA DAYALI TASARIMI.....	28
3.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları Ve Hasar Bölgeleri.....	28
3.1.1 Kesit hasar sınırları.....	28
3.1.2 Kesit hasar bölgeleri	28
3.2 Binalardan Bilgi Toplanması Ve Bilgi Düzeyleri.....	29
3.3 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi.....	30
3.3.1 Betonarme binaların deprem performansı	30
3.3.2 Hemen kullanım performans düzeyi	31
3.3.3 Can güvenliği performans düzeyi	31
3.3.4 Göçme öncesi performans düzeyi	31
3.3.5 Göçme durumu.....	32
3.4 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri	32
3.5 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke Ve Kurallar	33
3.6 Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi	35
3.6.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi.....	35
3.6.2 Mod birleştirme yöntemi	36
3.7 Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler İle Belirlenmesi	36
3.7.1 Artımsal itme analizi	36
3.7.1.1 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi	37
3.7.2 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi	39

3.7.2.1 Doğrusal ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme.....	41
3.7.2.2 Spektral yerdeğiştirme oranı	42
3.7.3 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi.....	43
3.7.4 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi.....	43
3.7.5 Birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi	44
3.7.6 Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri	45
4. BETONARME BİNALARDA KESİT HASAR BÖLGELERİNİN	
BELİRLENMESİ ÜZERİNE SAYISAL İNCELEME	46
4.1 İncelenen Taşıyıcı Sistem Modeli	46
4.2 Deprem Yüğü Hesabı	51
4.2.1 Malzeme özellikleri	51
4.2.2 Deprem karakteristikleri	51
4.2.3 Esas alınan yükler.....	51
4.2.3.1 Döşemelerden kirişlere aktarılan eşdeğer düşey yayılı yükün hesabı	52
4.3 Sistemin Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre Deprem	
Performansının Belirlenmesi.....	54
4.3.1 Etkin eğilme rijitlikleri hesabı.....	54
4.3.2 Deprem yüğü hesabı	56
4.3.3 X-X yönü analizi	58
4.3.4 Y-Y yönü analizi	63
4.4 Kolon Ve Kirişlerin Numaralandırılması	68
4.5 Analiz Sonuçları.....	68
4.6 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	69
5. SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR.....	72
EKLER.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	91

KISALTMALAR

ABYYHY’75	: 1975 Türk Deprem Yönetmeliği
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
ATC 40	: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
BSSC	: Building Seismic Safety Council
CG	: Can Güvenliği
DBYBHY’07	: 2007 Türk Deprem Yönetmeliği
EERC-UCB	: Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FEMA 273, 356	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
GB	: Göçme Bölgesi
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçme Öncesi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
MN	: Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
SAP2000 V11	: Integrated Software for Structural Analysis and Design Version 11
TS500	: Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları
TSM	: Taşıyıcı Sistem Modeli

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri	5
Tablo 3.1 : Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri	33
Tablo 4.1 : Kiriş enkesit boyutları	48
Tablo 4.2 : Kolon enkesit boyutları	49
Tablo 4.3 : X doğrultusunda kiriş boyuna donatıları	49
Tablo 4.4 : Y doğrultusunda kiriş boyuna donatıları	50
Tablo 4.5 : Kolon boyuna donatıları	50
Tablo 4.6 : Çerçeve sistemin kiriş ve duvar yükleri	51
Tablo 4.7 : Çerçeve sistemin döşeme yükleri	52
Tablo 4.8 : Toplam eşdeğer yayılı yük	53
Tablo 4.9 : Kolonlarda çatlamış kesit rijitlikleri	55
Tablo 4.10 : Deprem hesabında kullanılan değişkenler.	56
Tablo 4.11 : S(T), spektrum katsayısının hesaplanması	56
Tablo 4.12 : Yapı ağırlığı ve kat kütlelerinin hesabı.	56
Tablo 4.13 : Toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması	57
Tablo 4.14 : X-X yönünde birinci moda ait mod şekilleri ve katkı çarpanı hesabı	58
Tablo 4.15 : X-X yönünde modal kapasite eğrisinin hesaplanma tablosu.	60
Tablo 4.16 : X-X doğrultusunda elastik spektrum eğrisinin hesaplanması	61
Tablo 4.17 : X doğrultusunda birinci moda ait modal yer değiştirme isteminin (maksimum modal yerdeğiştirme) hesaplanması	62
Tablo 4.18 : Y-Y yönünde birinci moda ait mod şekilleri ve katkı çarpanı hesabı	63
Tablo 4.19 : Y-Y yönünde birinci moda ait etkin kütle, katkı çarpanı ve etkin kütle oranı	63
Tablo 4.20 : Y-Y yönünde modal kapasite eğrisinin hesaplanma tablosu.	64
Tablo 4.21 : Y-Y doğrultusunda elastik spektrum eğrisinin hesaplanması	67
Tablo 4.22 : Y doğrultusunda birinci moda ait modal yer değiştirme isteminin (maksimum modal yerdeğiştirme) hesaplanması	68
Tablo B.1 : Taşıyıcı sistem modelinde kolonlar için X doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.	76
Tablo B.2 : Taşıyıcı sistem modelinde kirişler için X doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.	81
Tablo B.3 : Taşıyıcı sistem modelinde kolonlar için Y doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.	83
Tablo B.4 : Taşıyıcı sistem modelinde kirişler için Y doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.	85
Tablo B.5 : TSM için kolonların X doğrultusunda kesit hasar bölgeleri	86
Tablo B.6 : TSM için kirişlerin X doğrultusunda kesit hasar bölgeleri	88
Tablo B.7 : TSM için kolonların Y doğrultusunda kesit hasar bölgeleri	89
Tablo B.8 : TSM için kirişlerin Y doğrultusunda kesit hasar bölgeleri	90

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : (ij) Çubuk elemanının bağıl yerdeğiştirmeleri	5
Şekil 2.2 : Çeşitli teorilere göre elde edilen yük parametresi – yerdeğiştirme bağıntıları	7
Şekil 2.3 : Dış kuvvetler etkisindeki katı cisim	8
Şekil 2.4 : Şematik yük parametresi - şekildeğiştirme diyagramı.....	9
Şekil 2.5 : İdeal malzemeler	10
Şekil 2.6 : Yapı ve beton çeliklerinde σ - ε diyagramı	11
Şekil 2.7 : Yapı ve beton çeliklerinin σ - ε diyagramlarının idealleştirilmesi	11
Şekil 2.8 : Betonarme çubuğun eğilmesinde dış basınç lifindeki σ - ε diyagramı	12
Şekil 2.9 : Düzlem çubuk elemanda iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler.....	13
Şekil 2.10 : Bünye denklemlerinin eğri grupları halinde gösterilimi	14
Şekil 2.11 : Akma eğrisi (karşılıklı etki diyagramı).....	14
Şekil 2.12 : Basit eğilme halinde eğilme momenti-eğrilik diyagramı.....	15
Şekil 2.13 : Betonarme kesitlerde M - χ diyagramı.....	17
Şekil 2.14 : Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi)	18
Şekil 2.15 : Eğilme momenti – eğrilik diyagramı	19
Şekil 2.16 : Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler	20
Şekil 2.17 : İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik bağıntısı	21
Şekil 2.18 : Plastik mafsallık boyu	22
Şekil 2.19 : Plastik mafsallık hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan yükler altındaki davranışı	23
Şekil 2.20 : Tümsel ve bölgesel mekanizma durumları	24
Şekil 2.21 : Yerdeğiştirmelerin hesabı	25
Şekil 2.22 : Birim yüklemede Kısaltma teoreminin uygulanması	26
Şekil 2.23 : Plastik mafsalların dönmelerinin bulunması	26
Şekil 3.1 : Kesit hasar bölgeleri	29
Şekil 3.2 : İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi.....	39
Şekil 3.3 : Modal kapasite ve davranış spektrumu ile performans noktasının bulunması ($T_1^{(1)} \geq T_B$)	42
Şekil 3.4 : Modal kapasite ve davranış spektrumu ile performans noktasının bulunması ($T_1^{(1)} < T_B$)	44
Şekil 4.1 : Tipik döşeme kalıp planı şeması	46
Şekil 4.2 : Çerçeve düşey enkesitleri.....	47
Şekil 4.3 : Kiriş boyuna ve enine donatılarının yerleşim düzeni	47
Şekil 4.4 : Kiriş enkesit boyutlarını tanımlayan büyüklükler ve donatı yerleşim düzeni	48
Şekil 4.5 : Kolon enkesit boyutlarını tanımlayan büyüklükler ve donatı yerleşim düzenleri	48
Şekil 4.6 : Döşemelerden kirişlere yük aktarımı	52
Şekil 4.7 : 1 çerçevesi g yükleri	53
Şekil 4.8 : 1 çerçevesi q yükleri	54

Şekil 4.9 : X-X yönünde taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrisi.....	59
Şekil 4.10 : X-X yönünde modal kapasite eğrisi ile elastik spektrum eğrisinin kesiştirilerek modal yerdeğiştirmenin bulunması.....	62
Şekil 4.11 : Y-Y yönünde taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrisi.....	63
Şekil 4.12 : X-X yönünde modal kapasite eğrisi ile elastik spektrum eğrisinin kesiştirilerek modal yerdeğiştirmenin bulunması.....	67
Şekil A.1 : Eleman uçları (i-j) numaralandırılması.	73
Şekil A.2 : Kirişlerin numaralandırılması.....	74
Şekil A.3 : Kolonların numaralandırılması.....	75

SEMBOL LİSTESİ

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
A_c	: Kolonun brüt kesit alanı
$A(T_1)$	: T_1 periyot değerindeki spektral ivme katsayısı
a_1	: Birinci moda ait modal ivme
$a_1^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
C_{R1}	: Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
d	: Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği
$d_1^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(p)}$	: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi
e	: Güvenlik katsayısı
E	: Elastisite modülü
EI	: Kesit eğilme rijitliği
$(EI)_e$	: Çatlamış kesit eğilme rijitliği
$(EI)_o$	: Çatlamamış kesit eğilme rijitliği
E_c	: Beton elastisite modülü
$F_i(M,N,T)$	: Malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı doğrusal olmayan fonksiyonlar
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
f_{ctk}	: Beton karakteristik çekme dayanımı
f_{ym}	: Donatı mevcut akma gerilmesi
h	: Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
H_w	: Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
i, j	: Çubuk uç numaraları
I	: Kesitin atalet momenti
I	: Bina önem katsayısı
$K_1(M,N,T)$	: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını kesit zorlarına bağlı olarak ifade eden fonksiyon
$K_2(\chi, \epsilon, \gamma)$	: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını şekildeğiştirmelere bağlı olarak ifade eden fonksiyon
L_0	: Çatlama
L_1	: Plastik şekildeğiştirmenin başlangıcı
L_2	: Kırılma
L_p, l_p	: Plastik mafsalsal boyu
ℓ_w	: Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
M	: Eğilme momenti
M_p	: Kesitin eğilme momenti taşıma gücü (plastik moment)
M_p'	: İndirgenmiş plastik moment
M_{L0}	: Çatlama eğilme momenti
M_{L1}	: Plastik şekildeğiştirme başlangıcının eğilme momenti

M_{L2}	: Kırılma eğilme momenti
M_{ra}	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
M_{ri}	: Kirişin sol ucu i'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
M_{rj}	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
$M_{r\bar{u}}$	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
M_{x1}	: x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle
N	: Normal kuvvet
N_D	: Düşey yükler altında kolonda oluşan aksenal basınç kuvveti
P	: Yük parametresi
$P - \Delta$	: Yük parametresi-yerdeğiştirme
$P - \Delta I$	: Yük parametresi-şekildeğiştirme
P_{cr}	: Kritik yük
P_i	: İşletme yükü
P_G	: Göçme yükü
P_L	: Limit yük
P_{L1}	: Birinci mertebe limit yük
P_{L2}	: İkinci mertebe limit yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
r	: Etki/kapasite oranı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_{ae1}	: Birinci moda ait elastik spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
S_{de1}	: Birinci moda ait doğrusal elastik spektral spektral yerdeğiştirme
S_{di1}	: Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral spektral yerdeğiştirme
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
t	: Kesite etkiyen düzgün sıcaklık değişmesi
T	: Kesme kuvveti
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
$T_1^{(1)}$	: Başlangıçtaki (i=1) itme adımımda birinci (hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
T_B	: İvme spektrumundaki karakteristik periyod
$U_{xN1}^{(i)}$	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
$U_{xN1}^{(p)}$	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
V_t	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$V_{x1}^{(i)}$	: x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim) ait taban kesme kuvveti
W	: Binanın hareketli yük katılım katsayısını kullanarak bulunan toplam ağırlığı
α_t	: Sıcaklık genleşme katsayısı
χ	: Birim dönme (eğrilik)

χ_p	: Kesitin eğilme momentine karşı gelen birim dönme
Δ	: Yerdeğiştirme
Δl	: Şekildeğiştirme
ΔF_N	: Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
Δt	: Kesite etkiyen farklı sıcaklık değişmesi
δ	: Yatay yedeğiştirme
ε	: Birim boy değişmesi
ε_{cg}	: Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ε_{co}	: Betonda plastik şekildeğiştirmelerin başlamasına karşı gelen birim kısalma
ε_{cu}	: Beton ezilme birim kısalması
ε_e	: Akma şekildeğiştirmesi
ε_s	: Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi
ε_{su}	: Donatı çeliğinin kopma uzaması
θ_p	: Plastik eğrilik istemi
θ_t	: Toplam eğrilik istemi
θ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
γ	: Birim kayma
γ_m	: Malzeme katsayısı
Φ_{xNI}	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
Γ_{x1}	: x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
λ	: Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı
θ_p	: Plastik dönme istemi
φ	: Kesitin dönmesi
φ_p	: Plastik mafsallın dönmesi
maks φ_p	: Plastik mafsallın dönme kapasitesi
ρ_s	: Kesitte mevcut bulunan ve “özel deprem etriyeleri ve çirozları” olarak düzenlenmiş enine donatının hacımsal oranı
ρ_{sm}	: Kesitte bulunması gereken enine donatının hacımsal oranı
σ	: Gerilme
σ_e	: Akma gerilmesi
σ_k	: Kopma gerilmesi
σ_p	: Orantı sınırı
$\omega_1^{(1)}$	: Başlangıçtaki (i=1) itme adımımda birinci (hakim) titreşim moduna ait doğal açısal frekans
ω_B	: İvme spektrumundaki karakteristik periyoda karşı gelen doğal açısal frekans

1975 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE BOYUTLANDIRILMIŞ BİR YAPININ GÜNCEL DEPREM YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Depremlerin neden olduğu büyük yıkımlar ve can kayıpları, depreme karşı daha dayanıklı binaların yapılabilmesi için yeni tasarım ilkelerinin tanımlanmasını gerektirmiştir. Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı yeni değerlendirme yöntemleri sayesinde yapıların deprem performansları ve güvenlikleri daha gerçekçi olarak belirlenebilmektedir. Birçok ülkenin standartlarında olduğu gibi DBYBHY'07 içerisinde de bu yeni yaklaşımlara yer verilmiştir.

Bu çalışmada, 1975 Türk Deprem Yönetmeliğine göre boyutlanmış bir üç boyutlu betonarme çerçeve yapının 2007 Türk Deprem Yönetmeliğindeki Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre deprem performansı ve güvenliği saptanmıştır.

Birinci bölümde, konu açıklanmış ve konu ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları hakkında bilgi verilmiş, doğrusal olmayan yapıların hesap yöntemleri gözden geçirilmiştir. Malzeme bakımından doğrusal olmayan betonarme sistemlerle ilgili bilgi verilmiş, plastik mafsallı hipotezi ve yük artımı yöntemi açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, mevcut betonarme binaların deprem performans ve güvenliklerinin değerlendirilmesi için geliştirilen 2007 Türk Deprem Yönetmeliğindeki (Bölüm 7) performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemleri açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, 1975 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında boyutlanmış olan altı katlı üç boyutlu betonarme çerçevenin 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde yer alan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre sayısal incelemesi yer almaktadır. Yapının kesit hasar bölgeleri belirlenerek bulunan analiz sonuçları verilmiştir.

Beşinci bölümde, çalışma sonunda elde edilen sonuçlar maddeler halinde açıklanmıştır.

DETERMINATION OF THE CURRENT SEISMIC SAFETY OF AN EXISTING FRAMED STRUCTURE DESIGNED BASED ON THE TEC 1975

SUMMARY

The new earthquake design codes in the world are required to design earthquake resistant structures by accounting for the lessons from past earthquakes.

The current seismic codes have become more realistic for the determination of the seismic safety of structures built in earthquake prone areas. Our new Turkish Earthquake Code 2007 (TEC 2007) depends on the performance based procedures as well as the other current codes in the world.

The scope, objectives and literature survey of the submitted study are given in the first chapter.

In the second chapter, a brief knowledge of non-linear analysis of structural systems is given and the methods of non-linear analysis are looked over. Plastic hinge hypothesis and details of load increment method are also explained in this chapter.

In the third chapter, performance based design and seismic safety of an existing R/C structure is given as explained in TEC 2007.

In fourth chapter, an existing R/C framed structure selected as an example one designed based on TEC 1975 has been re-analyzed by using non-linear analysis method accounting for the TEC 2007. The sectional damage levels anticipated in TEC 2007 have been obtained to determine seismic safety of the structure.

In the last chapter, all the results found in this study are discussed in detail.

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada son yıllarda gerçekleşen depremlerin neden olduğu yıkımlar, çok büyük can kayıplarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu nedenle yapıların depreme dayanıklılıklarını saptayabilmek için deprem performanslarının göz önünde tutulması bir gereklilik haline gelmiştir. Yeni uygulamalarda göz önüne alınan performansa dayalı tasarım ve değerlendirme, birçok ülke standardına girmiş bulunmaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne (ABYYHY'75) [1] göre boyutlandırılmış bir uzay betonarme çerçeveye, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde (DBYBHY'07) [2] tanımlanan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanması ile elde edilen sayısal sonuçların değerlendirilmesi yoluyla, ülkemizde mevcut benzeri özelliklere sahip bina stoğunun deprem performansı ve güvenlikleri hakkında fikir edinmektir.

1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre iyi derecede boyutlandırılmış altı katlı bir uzay betonarme çerçeve olan modelin ülkemizde mevcut 5-6 katlı bina stoğunu temsil ettiği göz önüne alınarak, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre değerlendirilmesi sayesinde, Türkiye'de 1975 Türk Deprem Yönetmeliği ile inşa edilmiş yapılarda oluşabilecek hasar durumları hakkında bilgi edinilmesi yapılan çalışmanın kapsamını oluşturmaktadır.

1.2 Konu İle İlgili Çalışmalar

Amerika Birleşik Devletleri'nin Californiya eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin büyük hasar yaratması, deprem etkileri altında yeterli dayanımı öngören performans kriterlerinden farklı olarak, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda, Applied Technology

Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings-ATC 40 projesi [3] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings-FEMA 273, 356 yayınları [4, 5] gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 taslak raporu [6] hazırlanmıştır. Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki çalışmalara katkı sağlamaktadır. Ayrıca Avrupa Birliği standartlarından biri olan Eurocode 8.3 standardı [7] içinde de mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesine yönelik yaklaşımlar yer almaktadır.

Ülkemizde yaşanan 1999 Adapazarı-Kocaeli depreminin ardından, yürürlükte olan 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne, mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi ve bunun yanında yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesine karar verilmiş ve bu çalışmalar tamamlanarak 2007 Türk Deprem Yönetmeliği [2] yayınlanmıştır.

2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI

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

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

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

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

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

Doğrusal olmayan sistem davranışını esas alan hesap yöntemlerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında genel olarak iki durum ile karşılaşilmektedir. Bunlardan birincisi, yapı sisteminin doğrusal olmamasına neden olan etkenlerin belirlenerek sistem davranışının gerçeğe yakın bir biçimde temsil eden hesap modelinin oluşturulması, diğeri ise bu hesap modelinin analizi sonucunda elde edilen doğrusal olmayan denklem sisteminin etkin bir şekilde çözülmesidir [8].

2.1 Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar

Bir yapı sisteminin dış etkiler altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, şekildeğiştirmeler ve yerdeğiştirmelerin çözüm olabilmeleri için aşağıdaki üç koşulu sağlamaları gerekmektedir [9, 10].

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

2.2 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri

Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır [8].

- Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması.
- Geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

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

Denge denklemlerinde yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde denge denklemleri şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır. Geometrik uygunluk koşullarında yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde ise, geometrik süreklilik denklemlerinin de şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir.

Tablo 2.1 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri

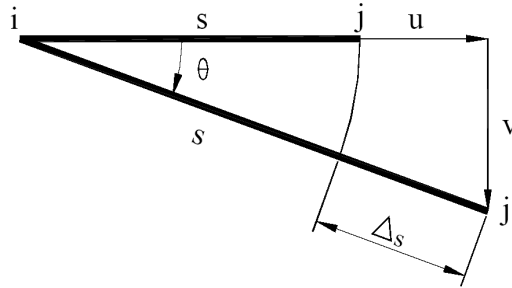
Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından	Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekildeğiştirme Bağlılıkları)	Doğrusal -elastik	Doğrusal-elastik Değil	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik Değil	Doğrusal-elastik Değil
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	küçük	küçük	küçük Değil	küçük Değil	küçük Değil	küçük Değil
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	küçük	küçük	küçük	küçük Değil	küçük	küçük Değil

Bir ucunun diğer ucuna göre bağıl yerdeğiştirmeleri u ve v olan bir ij çubuğunun Δs boydeğişmesi

$$(u + s)^2 + v^2 = (s + \Delta s)^2 \quad (2.1)$$

$$\Delta s \cong s \left[\frac{u}{s} + \frac{1}{2} \left(\frac{u}{s} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{v}{s} \right)^2 \right] \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilebilir, Şekil 2.1.

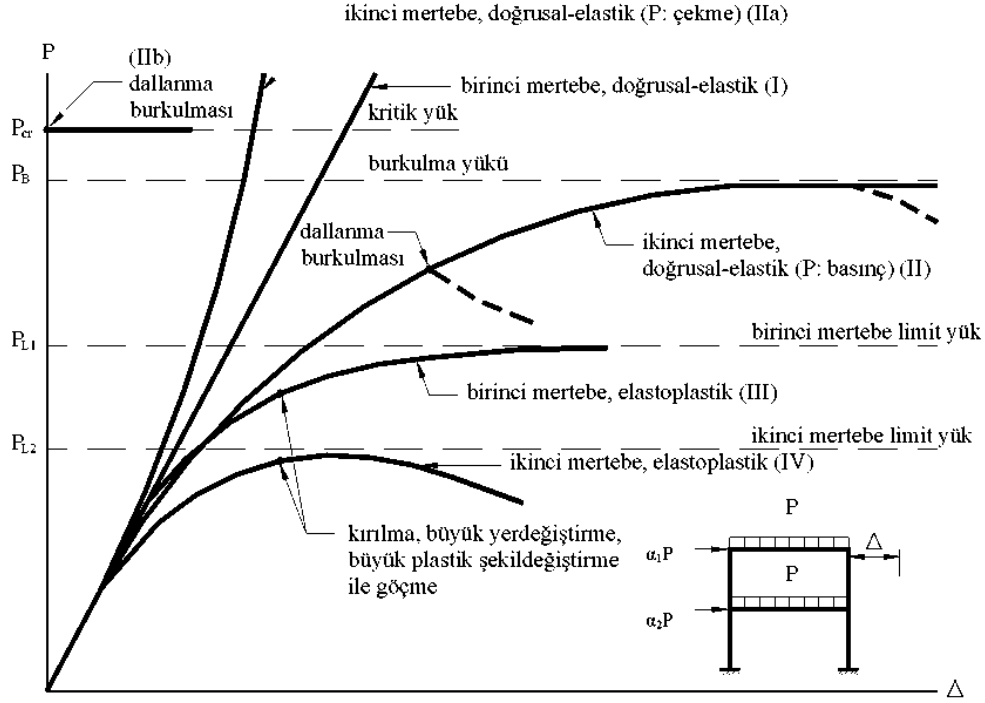
**Şekil 2.1 : (ij) Çubuk elemanının bağıl yerdeğiştirmeleri**

Bazı yapı sistemlerinde, sistemin özelliklerinden kaynaklanan nedenlerle, geometrik uygunluk koşulları sağlanmayabilir. Bu durumda, sistemde geometrik süreksizlikler meydana gelir. Özellikle sistemi oluşturan elemanların sınır koşullarındaki bu süreksizlikler nedeniyle, sistemin davranışı doğrusal olmaz. Bu tür sistemlere, geometrik süreksizlikler bakımından doğrusal olmayan sistemler denir ve bu sistemler malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler gibi incelenebilir [8].

2.3 Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altındaki Doğrusal Olmayan Davranışı

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme ($P-\Delta$) bağıntıları Şekil 2.2’de şematik olarak gösterilmişlerdir.

Malzemenin sınırsız olarak doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı şeklindeki (I) doğrusu ile temsil edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, eksenel kuvvetlerden oluşan ikinci mertebe etkilerinin hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise, eksenel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre farklı sistem davranışları ile karşılaşılabilir. Örneğin eksenel kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklere daha hızla artan yer değiştirmeler karşı gelmektedir. Dış yüklerin şiddetini ifade eden yük parametresi artarak doğrusal-elastik burkulma yükü adı verilen bir P_B değerine eşit olunca yer değiştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkularak geçer. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra, artan yer değiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir. Örneğin asma sistemler gibi eksenel kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, şekilde (IIa) ile gösterilen $P-\Delta$ diyagramı pekleşen özellik gösterir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekildeğiştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir P_{cr} değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekilde (IIb) diyagramından görüldüğü gibi, yer değiştirmeler birden artarak sonsuza erişir. Dallanma burkulmasına neden olan yüke kritik yük denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekildeğiştiren sistemlerde de oluşabilir, (II eğrisi).



Şekil 2.2 : Çeşitli teorilere göre elde edilen yük parametresi –yerdeğiştirme bağıntıları

Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, kopma sırasındaki toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranının büyük olduğu sünek malzemeden yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsallık (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım plastik mafsallık hipotezi olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsallık hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci mertebe teorisine göre hesabında (III eğrisi), oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma gücünün sona erdiğini ifade eder. Bu yük birinci mertebe limit yük adını alır.

Doğrusallığı bozan her iki etkinin birlikte gözönüne alınması halinde, yani yapı sisteminin ikinci mertebe elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen $P-\Delta$ diyagramı şekilde (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte doğrusal-elastik sınırın aşılmasına kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra oluşan

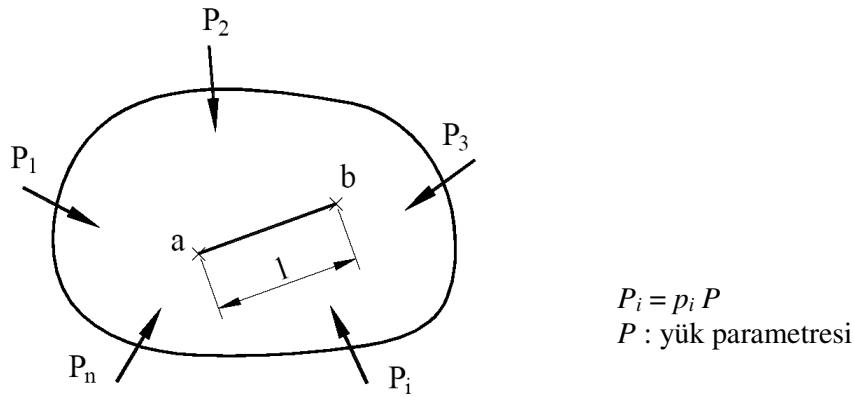
plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle yerdeğiştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsallı hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir P_{L2} sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, diğer bir deyişle, $P-\Delta$ diyagramında artan yerdeğiştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu yük parametresine ikinci mertebe limit yük denilmektedir [8].

Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğiştirmeler, büyük plastik şekildeğiştirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan çatlaklar ve kırılma yapının göçmesine neden olabilmektedir [8].

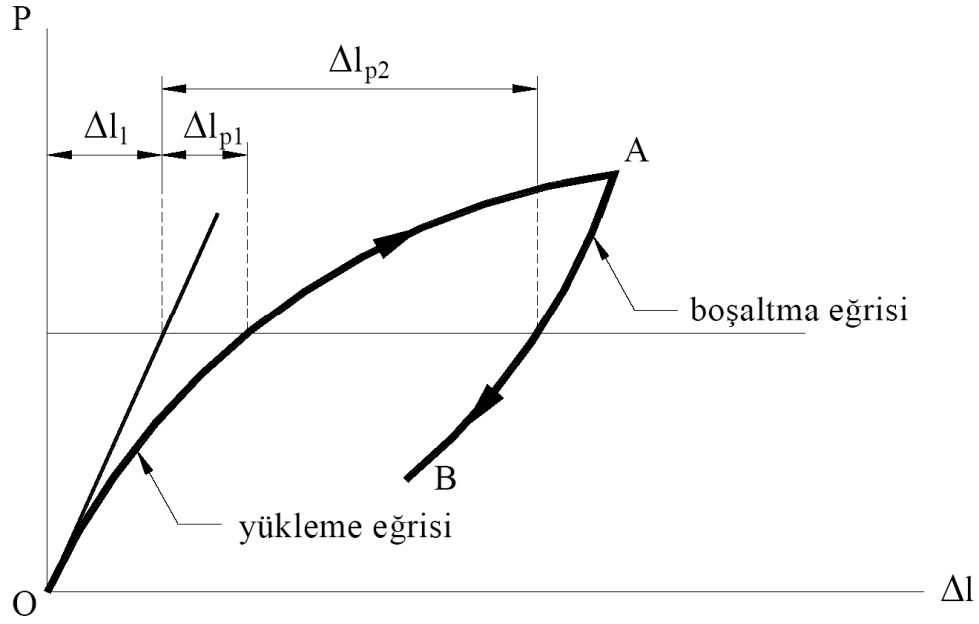
2.4 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler

2.4.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri

Şekilde 2.3’de verilen katı cisim, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan P_i dış kuvvetlerinin etkisi altındadır. Bu dış kuvvetlerin büyüklüğünü tanımlayan P yük parametresi ordinata, bu kuvvetlerden dolayı katı cismin a ve b noktaları arasındaki l uzunluğunun Δl değişimi absise taşınarak çizilen $P-\Delta l$ diyagramı Şekil 2.4’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Dış kuvvetler etkisindeki katı cisim



Şekil 2.4 : Şematik yük parametresi - şekildeğiştirme diyagramı

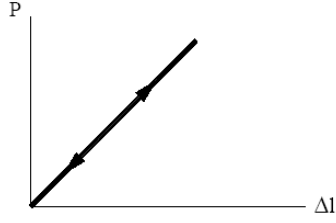
Bu diyagramın, artan yük parametresi için elde edilen OA bölümüne yüklem eğrisi, yüklerin kaldırılması durumuna karşı gelen AB bölümüne de boşaltma eğrisi denir. Eğrinin başlangıç teğeti ile ordinat eksenini arasındaki Δl_1 şekildeğiştirmeleri doğrusal şekildeğiştirmeler, başlangıç teğeti ile yüklem ve boşaltma eğrileri arasında kalan Δl_{p1} ve Δl_{p2} şekildeğiştirmeleri ise doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler olarak tanımlanır [8].

2.4.1.1 İdeal malzemeler

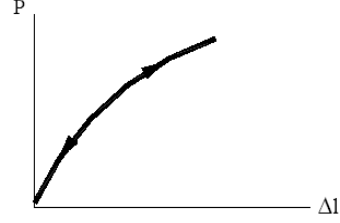
Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri üzerinde bazı idealleştirmeler yaparak tanımlanan ideal malzemelerin başlıcaları Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

2.4.1.2 Çeşitli yapı malzemelerinde gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları

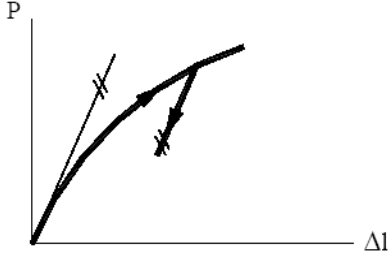
Yapı çeliği, beton çeliği ve eğilme etkisindeki betonun dış basınç lifinin gerilme-şekildeğiştirme (σ - ϵ) diyagramları ve bu diyagramlara ait bazı sayısal değerler aşağıda verilmiştir.



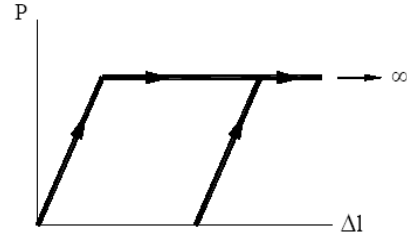
(a) Doğrusal- elastik malzeme



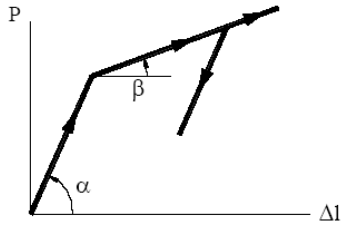
(b) Doğrusal olmayan elastik malzeme



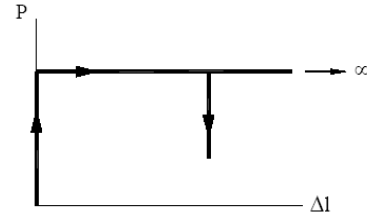
(c) Elastoplastik malzeme



(d) İdeal elastoplastik malzeme



(e) Pekleşen ideal elastoplastik malzeme



(f) Rijit plastik malzeme

Şekil 2.5 : İdeal malzemeler

Yapı ve beton çelikleri Şekil 2.6'da verilen σ - ϵ diyagramı ile açıklanır. Bu diyagramı tanımlayan σ_k kopma gerilmesi, σ_e akma gerilmesi, ϵ_e akma şekildeğiştirmesi ve σ_p orantı sınırının çelik sınıfına bağlı olarak aldığı değerler :

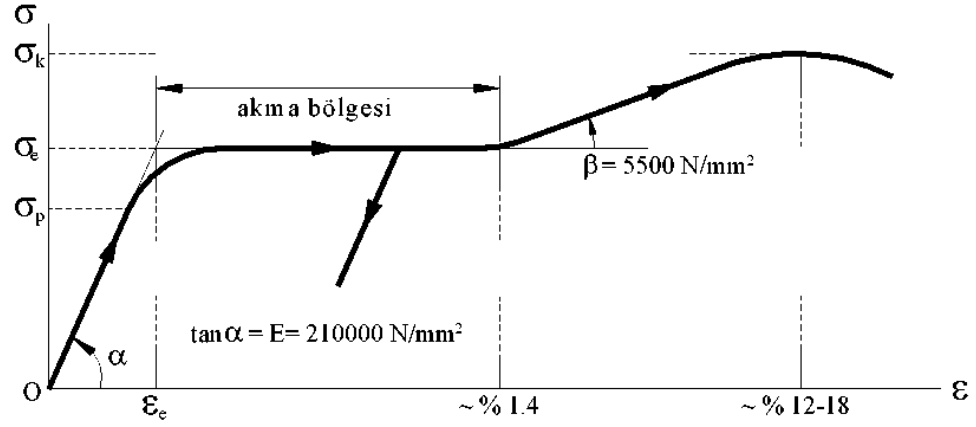
$$Fe\ 37\ yapı\ çeliği : \quad \sigma_k = 360-490\ N/mm^2 \quad \sigma_e = 235\ N/mm^2 \quad (\epsilon_e = 0.0011)$$

$$\sigma_p = 0.8 \quad \sigma_e = 188\ N/mm^2$$

$$Fe\ 52\ yapı\ çeliği : \quad \sigma_k = 510-610\ N/mm^2 \quad \sigma_e = 353\ N/mm^2 \quad (\epsilon_e = 0.0017)$$

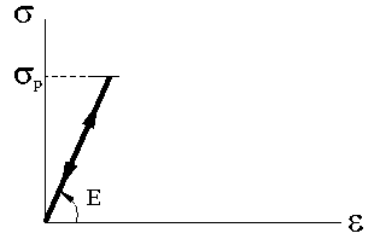
$$\sigma_p = 0.8 \quad \sigma_e = 280\ N/mm^2$$

$$S\ 420\ beton\ çeliği : \quad \sigma_k = 500\ N/mm^2 \quad \sigma_e = 420\ N/mm^2 \quad (\epsilon_e = 0.002)$$

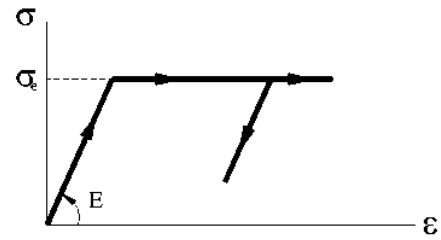


Şekil 2.6 : Yapı ve beton çeliklerinde σ - ϵ diyagramı

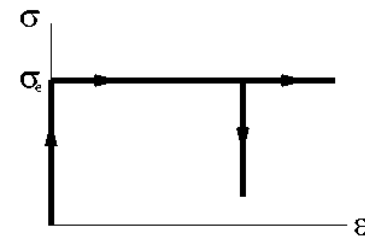
Yapı ve beton çeliklerinin σ - ϵ diyagramlarının bir bölümü veya tümü aşağıdaki şekilde idealleştirilebilirler, Şekil 2.7.



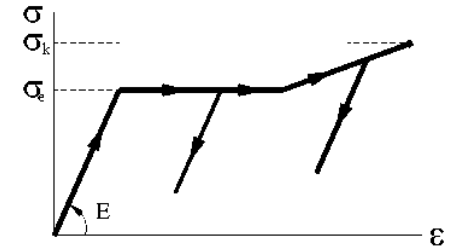
(a) Doğrusal- elastik malzeme



(b) İdeal elastoplastik malzeme

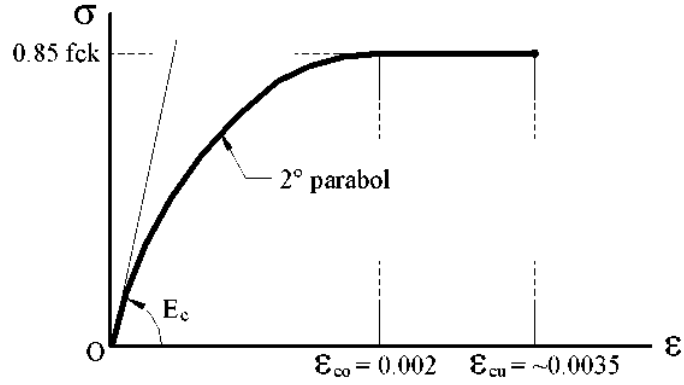


(c) Rijit plastik malzeme



(d) Pekleşen ideal elastoplastik malzeme

Şekil 2.7 : Yapı ve beton çeliklerinin σ - ϵ diyagramlarının idealleştirilmesi



Şekil 2.8 : Betonarme çubuğun eğilmesinde dış basınç lifindeki $\sigma - \varepsilon$ diyagramı

Betonarme çubuğun eğilmesinde dış basınç lifindeki $\sigma - \varepsilon$ bağıntısı Şekil 2.8’de verilmektedir. Bu diyagramda f_{ck} karakteristik basınç dayanımını, E_c ise $E_c = 14000 + 3250\sqrt{f_{ck}}$ (N/mm²) formülü ile hesaplanan beton elastisite modülünü göstermektedir.

Kısa süreli yükler altında, betonun ezilerek kırılmasına neden olan ε_{cu} birim kısalması sargısız betonda ~ 0.0035 iken, sargı donatısı (etriye) miktarına bağlı olarak artmaktadır [8].

2.4.2 Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları

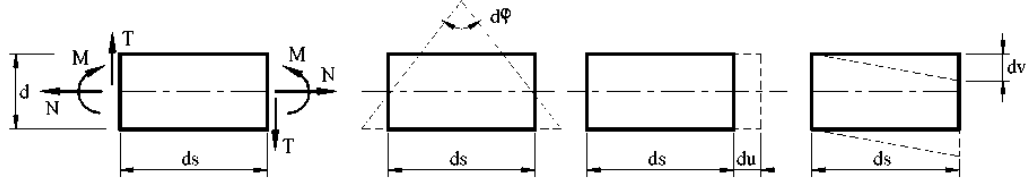
Düzlemi içindeki kuvvetlerin etkisi altında bulunan düzlem çubuk elemanlarda oluşan iç kuvvetler (kesit zorları), M eğilme momenti, N normal kuvveti ve T kesme kuvvetidir. ds boyundaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre bağlı (rölatif) yerdeğiştirmelerinin kesit zorları doğrultularındaki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

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

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

$\gamma = dv/ds$: birim kayma

adını alırlar, Şekil 2.9.



Şekil 2.9 : Düzlem çubuk elemanda iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler

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

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N, T) + \frac{\alpha_t \Delta t}{d} \quad (2.3)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N, T) + \alpha_t t \quad (2.4)$$

$$\gamma = \frac{dv}{ds} = F_3(M, N, T) \quad (2.5)$$

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

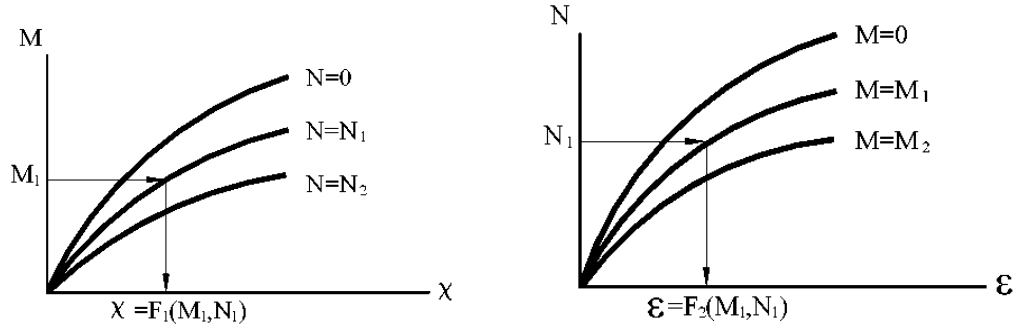
İç kuvvetlerin artarak belirli bir sınıra erişmesi halinde kırılma, akma veya büyük şekildeğiştirmeler nedeniyle kesitin taşıma gücü sona erer. Kesitin daha büyük iç kuvvetleri taşıyamayacağını ifade eden bu sınır durum kısaca *akma* veya *kırılma* olarak tanımlanır. Bu duruma karşı gelen iç kuvvet durumuna da *kesitin taşıma gücü* adı verilir. Akma (kırılma) durumunu kesit zorlarına veya şekildeğiştirmelere bağlı olarak ifade eden $K_1(M, N, T) = 0$ veya $K_2(\chi, \varepsilon, \gamma) = 0$ bağıntılarına *akma (kırılma) koşulları* denilmektedir.

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

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N) + \frac{\alpha_t \Delta t}{d} \quad (2.6)$$

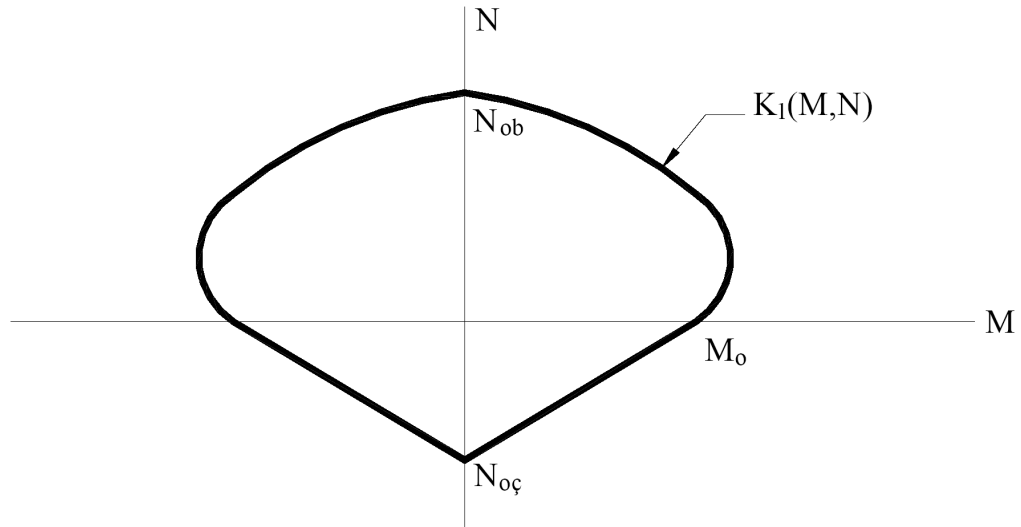
$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N) + \alpha_t t \quad (2.7)$$

ve akma (kırılma) koşulu da $K_I(M,N)=0$ veya $K_2(\chi,\varepsilon)=0$ şeklini alır. Bünye bağıntılarının belirlediği yüzeyler, pratikte genellikle eğri grupları halinde gösterilebilirler, Şekil 2.10.



Şekil 2.10 : Bünye denklemlerinin eğri grupları halinde gösterilimi

Akma koşulunu kesit zorları cinsinden ifade eden $K_I(M, N) = 0$ denkleminin belirlediği kapalı eğri *akma (kırılma) eğrisi* veya *karşılıklı etki diyagramı* adını almaktadır, Şekil 2.11 [8].



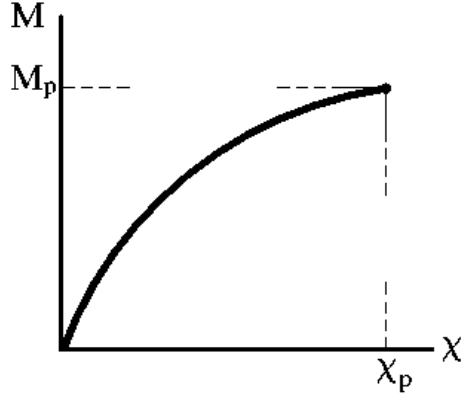
Şekil 2.11 : Akma eğrisi (karşılıklı etki diyagramı)

a) Özel Hal : $N = 0$ hali

Normal kuvvetin sıfır veya terkedilebilecek kadar küçük olması ve kesite sıcaklık değişmesi etkimemesi halinde, eğilme momenti - eğrilik bağıntısı

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M) \quad (2.8)$$

şeklinde yazılabilir. Akma koşulu ise $M-M_p=0$ veya $\chi-\chi_p=0$ bağıntıları ile ifade edilir. Burada M_p kesitin eğilme momenti taşıma gücünü, χ_p ise buna karşı gelen birim dönmeyi göstermektedir, Şekil 2.12 [8].



Şekil 2.12 : Basit eğilme halinde eğilme momenti-eğrilik diyagramı

2.4.2.1 Betonarme çubuklar

Eğilme momenti ve normal kuvvet (bileşik eğilme) etkisindeki betonarme çubuk elemanlarda iç kuvvet - şekildeğiştirme bağıntıları ile akma (kırılma) koşulları incelenecektir. Ayrıca, bu bağıntı ve koşulların nasıl idealleştirilebileceği açıklanacaktır. Basit eğilme ($M \neq 0$, $N = 0$) etkisindeki çubuklar, incelenen genel durumun özel bir halini oluşturmaktadır [8].

a)Varsayımlar ve esaslar

Betonarme çubuk elemanların iç kuvvet - şekildeğiştirme bağıntılarının incelenmesinde şu temel varsayımlar ve esaslar göz önünde tutulmaktadır.

1. Dik kesit şekildeğiştirdikten sonra da düzlem kalmaktadır.
2. Beton ve donatı arasında tam aderans bulunmaktadır.
3. Çatlamış betonun çekme dayanımı terkedilmektedir.
4. Betonun $\sigma-\varepsilon$ diyagramı için parabol + dikdörtgen modeli esas alınmıştır.
5. Beton çeliğinin $\sigma-\varepsilon$ diyagramı için ideal elastoplastik malzeme varsayımı yapılmaktadır, (Şekil 2.7).

b) Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki çubuklar

b1) Eğilme momenti - birim dönme ($M - \chi$) bağıntısı

Sabit normal kuvvet ($N = N_o$) altında, artan eğilme momenti ile zorlanan betonarme bir kesitte M eğilme momenti ile χ birim dönmesi (eğriliği) arasındaki bağıntı üç bölgeden oluşmaktadır, Şekil 2.13. Bu bölgeleri sınırlayan L_o , L_1 ve L_2 noktalarına karşı gelen durumlar aşağıda açıklanmıştır [11].

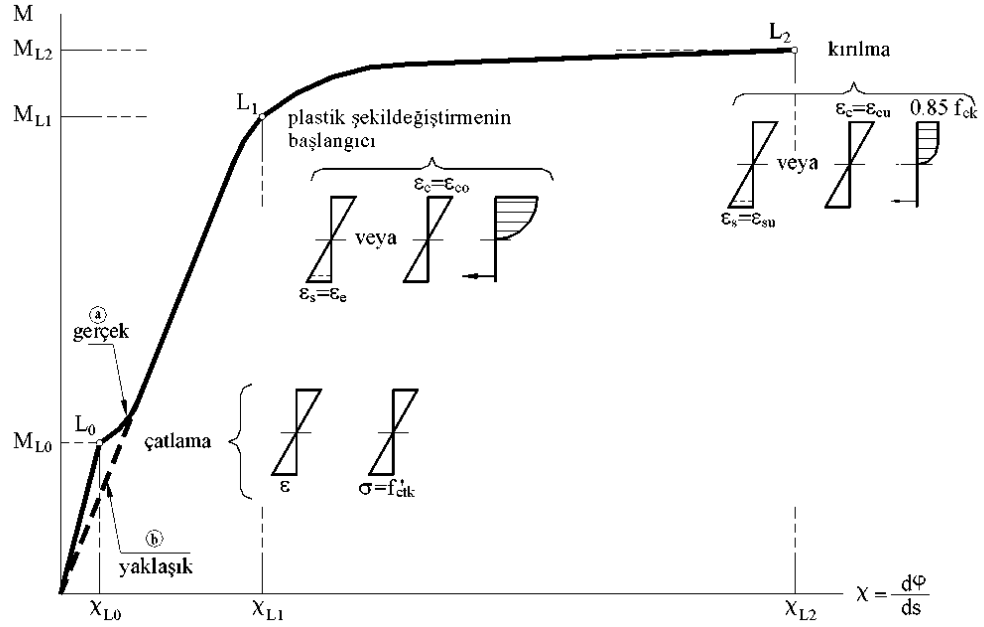
L_o : Beton kesitin dış çekme lifinde çatlakların başladığı durumdur. Dış çekme lifindeki normal gerilme eğilmedeki betonun çekme dayanımına eşit olunca betonda çatlaklar meydana geldiği kabul edilmektedir. Eğilmedeki betonun çekme dayanımı ise $f_{ctk} = 0.70\sqrt{f_{ck}}$ (N/mm²) bağıntısı ile hesaplanabilir.

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

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

L_2 : Eğilme momenti artarak kesitin taşıma gücü adı verilen $M_{L_2} = M_p$ değerine eşit olunca basınç bölgesindeki beton ezilerek kırılır veya çekme donatısı kopar. Basınç bölgesindeki betonun ezilerek kırılması birim kısalmanın ε_{cu} sınır değerine erişmesi suretiyle meydana gelir. Sargısız betonda kısa süreli yükler için $\varepsilon_{cu} \approx 0.0035$ olan bu sınır değer, sargı donatısının miktarına bağlı olarak artmaktadır.

Betonarme kesitlerin boyutlandırılmasında, çekme donatısının kopması yerine, genellikle çelikteki birim uzamanın $\varepsilon_{su} = 0.01$ değeri ile sınırlandırılması esas alınır.



Şekil 2.13 : Betonarme kesitlerde $M-\chi$ diyagramı

Betonun çekme dayanımının terkedildiği durumlarda, $M - \chi$ bağıntısının çatlamadan önceki bölümü yaklaşık olarak (b) eğrisi ile temsil edilmektedir (Şekil 2.13).

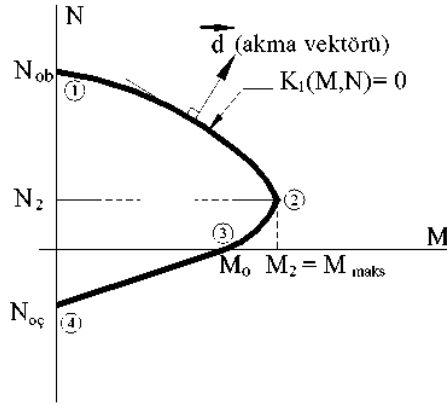
Betonarme kesitlerin taşıma gücüne göre boyutlandırılmasında, betonarme betonu ve beton çeliğinin karakteristik dayanımları malzeme güvenlik katsayılarına bölünerek küçültülür. Buna karşılık, betonarme sistemlerin dış yükler altındaki davranışlarının incelenmesinde malzeme güvenlik katsayılarının kullanılmasına ve çelikteki birim uzamanın $\varepsilon_{su} = 0.01$ değeri ile sınırlandırılmasına gerek olmamaktadır [8].

b2) Akma koşulu (karşılıklı etki diyagramı)

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki betonarme bir kesitte taşıma gücünü ifade eden karşılıklı etki diyagramı Şekil 2.14'te şematik olarak gösterilmiştir.

Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı varsayılan betonarme sistemlerde, iç kuvvet durumunun bu eğri üzerinde bulunması bir plastik kesitin oluştuğunu ve bu kesitte sonlu plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiğini (yani kesitin aktığını) ifade etmektedir. Bu nedenle, karşılıklı etki diyagramına akma eğrisi de denilmektedir [8].

$K_I(M, N) = 0$ bağıntısı ile tanımlanan akma eğrisi N normal kuvvetinin çeşitli değerleri için hesaplanan $M_{L2} = M_p$ eğilme momentleri yardımı ile elde edilebilir.



Şekil 2.14 : Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi)

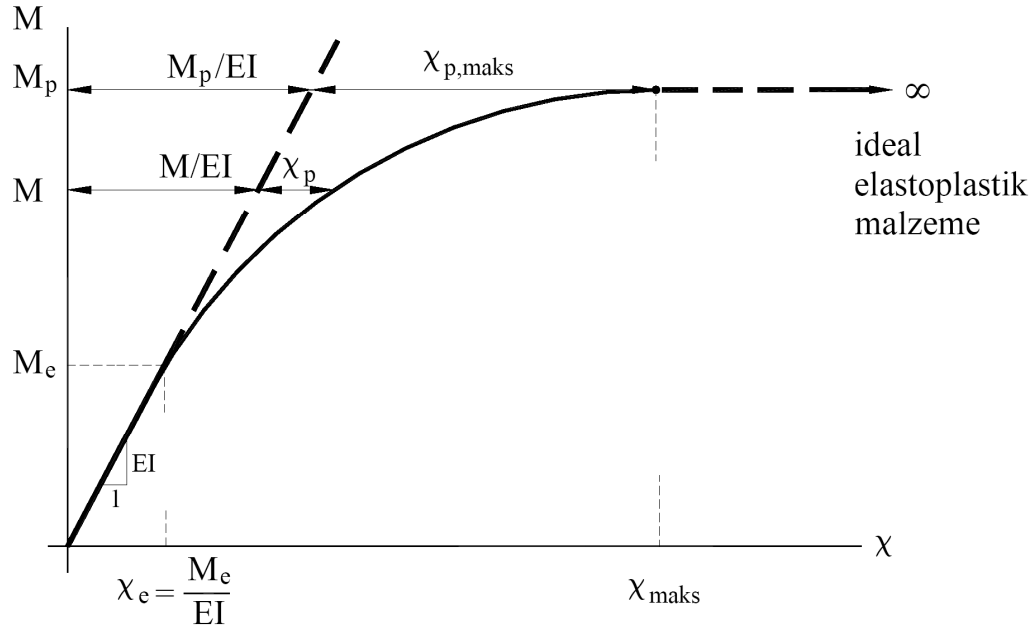
Akma eğrisi dört karakteristik noktası ile tanımlanmaktadır. Akma eğrisinin idealleştirilmesinde yararlanılabilecek olan bu noktalar aksiyon, basit eğilme ve aksiyon çekme hallerine karşı gelen (1), (3) ve (4) noktaları ile kesitin en büyük eğilme momenti taşıma gücüne sahip olduğu dengeli duruma karşı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

Bileşik eğilme etkisindeki betonarme kesitlerde, plastik şekildeğiştirme bileşenlerini içeren akma vektörünün bazı koşullar altında ve yaklaşık olarak akma eğrisine dik olduğu görülmektedir [12].

2.5 Plastik Mafsal Hipotezi

Toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin *plastik mafsal* adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu hipoteze *plastik mafsal hipotezi* adı verilir [8].

Doğrusal olmayan bir malzemeden yapılmış bir kesit için gerçek eğilme momenti – eğrilik bağıntısı Şekil 2.15’te verilmiştir. Şekil 2.16’da ise bir düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekildeğiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler görülmektedir.

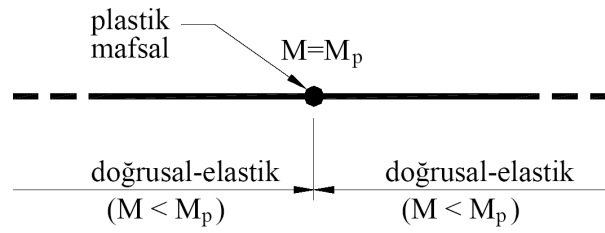
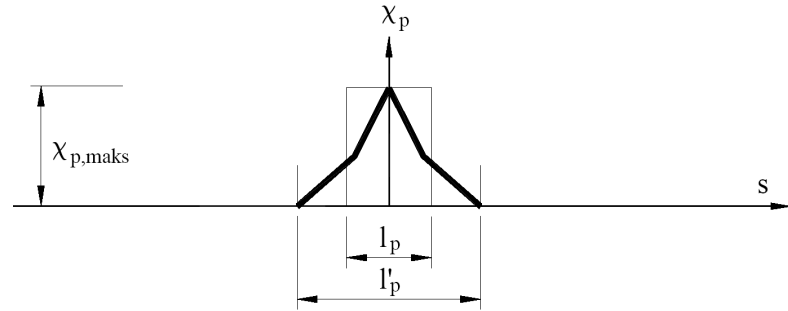
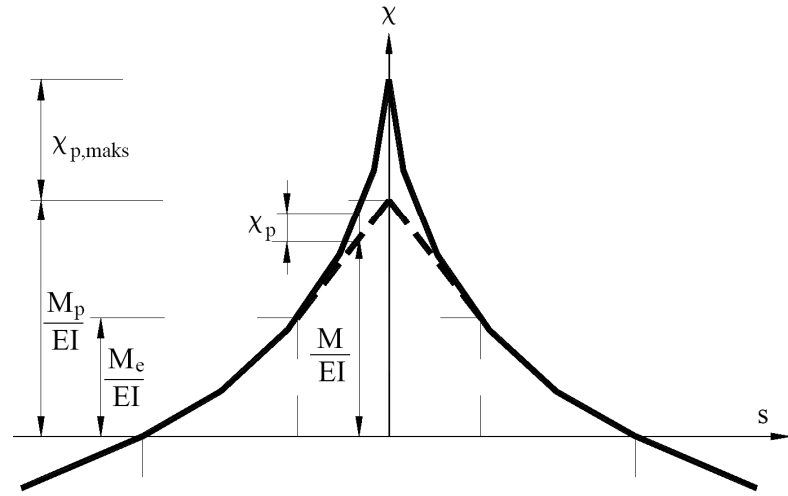
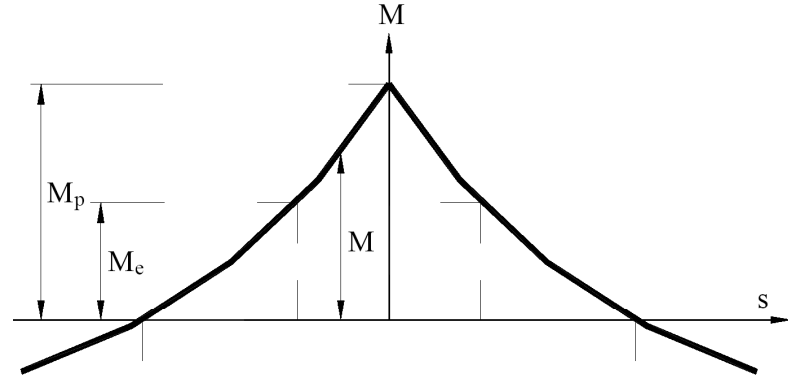


Şekil 2.15 : Eğilme momenti – eğrilik diyagramı

Plastik mafsal hipotezinde, çubuk elemanı üzerinde l_p uzunluğundaki bir bölgeye yayılan doğrusal olmayan (plastik) şekildeğişirmelerin

$$\varphi_p = \int_{l_p} \chi_p ds \quad (2.9)$$

şeklinde, plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada, φ_p plastik mafsalın dönmesini göstermektedir [8].



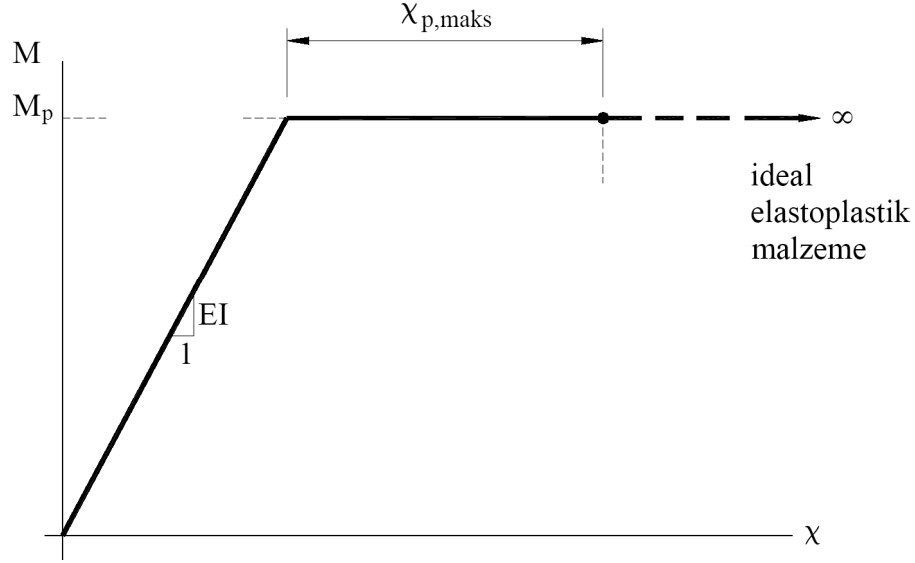
Şekil 2.16 : Doğrusal olmayan şekildeğişirmeler

Plastik mafsals hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti–eğrilik bağıntısının

$$M \leq M_p \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (2.10)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \quad (2.11)$$

şeklinde iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 : İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik bağıntısı

Artan dış yükler altında plastik mafsalsın dönmesi artarak *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere eşit olunca, oluşan büyük plastik şekildeğiş-tirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelebilir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsals dönmelerinin dönme kapasitesine ulaşması ise, yapının tümünün kullanılamaz hale gelmesine, diğer bir deyişle göçmesine neden olmaktadır.

Dönme kapasitesi

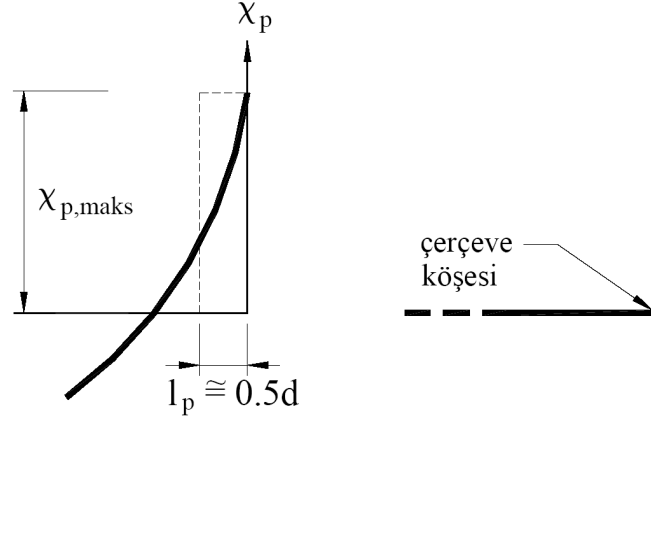
$$maks \varphi_p = \int_{l_p} \chi_p ds \quad (\chi_p \rightarrow \chi_{p,maks}) \quad (2.12)$$

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

Dönme kapasitesi yaklaşık olarak

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

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada l_p plastik mafsallık boyunu göstermektedir ve d enkesit yüksekliği olmak üzere yaklaşık olarak $l_p \cong 0.5d$ formülü ile ifade edilir, Şekil 2.18.



Şekil 2.18 : Plastik mafsallık boyu

Betonarme yapı sistemlerinde dönme kapasitesinin değeri çeşitli etkenlere bağlıdır. Bunların başlıcaları [8]:

- Betonarme betonu ve beton çeliğinin σ - ϵ diyagramlarını belirleyen ϵ_{cu} ve ϵ_{su} sınır birim boy değişimleri,
- Betonarme betonunun ϵ_{cu} birim boy değişmesini etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni,
- Plastik bölge uzunluğunu etkileyen enkesit boyutları,
- Eğilme momenti diyagramının şeklidir. Çelik yapı sistemlerinde ise, dönme kapasitesi genellikle büyük değerler alabilmektedir. Diğer taraftan, performansa dayanan tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde, dönme kapasitesinin belirlenmesinde yapıdan beklenen performans düzeyi de etken olmaktadır.

Plastik mafsallık hipotezinin esasları [8]:

- Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsallık oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti $M=M_p$

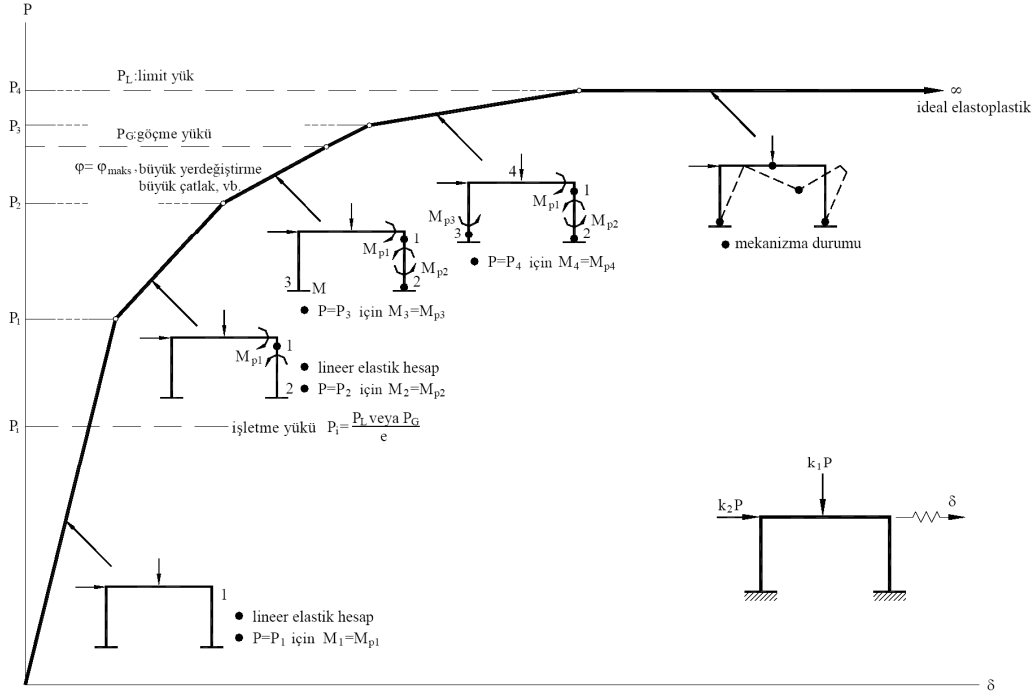
olarak sabit kalır ve kesit serbestçe döner. Plastik mafsaldaki ϕ_p plastik dönmesi artarak *maks* ϕ_p dönme kapasitesine erişince kesit kullanılamaz duruma gelir.

- Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal - elastik olarak davranır.
- Kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment (M_p') değeri esas alınır [8].

2.6 Yük Artımı Yöntemi

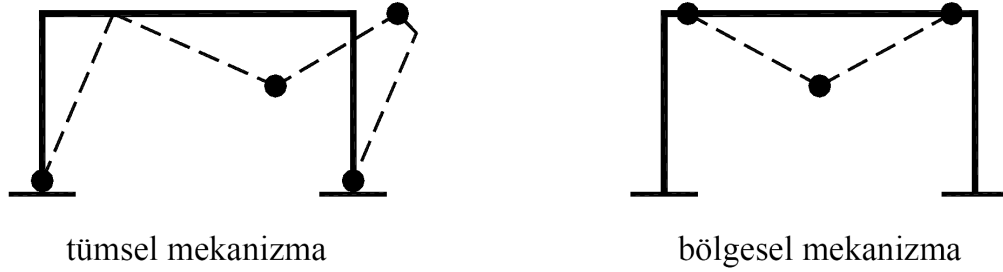
Plastik mafsal hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan dış yükler altındaki davranışı aşağıdaki Şekil 2.19 üzerinde açıklanmıştır.

Artan yükler altında, her plastik mafsalin oluşumundan sonra, o noktaya bir adi mafsal koymak ve M_p plastik momentini dış yük olarak etkitmek suretiyle elde edilen sistem doğrusal – elastik teoriye göre hesaplanır. Sistemin doğrusal – elastik teoriye göre hesabı için Kuvvet veya Yerdeğiştirme yöntemlerinden herhangi biri uygulanabilir [8].



Şekil 2.19 : Plastik mafsal hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan yükler altındaki davranışı

Belirli sayıda plastik mafsalın oluşumundan sonra, sistem kısmen veya tamamen mekanizma durumuna ulaşır; yani stabilitesini yitirerek yük taşıyamaz hale gelir, Şekil 2.20. Bu duruma karşı gelen P_L yük parametresi *limit yük (birinci mertebe limit yük)* olarak tanımlanır. Bu tanıma göre, limit yük sistemin tümünü veya bir bölümünü mekanizma durumuna getiren yüküdür.



Şekil 2.20 : Tümsel ve bölgesel mekanizma durumları

Bazı hallerde limit yükten önce, plastik mafsallardaki dönmelerin dönme kapasitesini aşması, büyük yerdeğiştirmelerin oluşması veya betonarme sistemlerde büyük çatlaklar meydana gelmesi nedeniyle sistem göçebilir. Bu duruma karşı gelen P_G yük parametresi *göçme yükü* olarak tanımlanır [8].

Limit yük (veya göçme yükü) bulunduğundan sonra, e güvenlik katsayısı olmak üzere, yapının yeterli bir güvenlik altında taşıyabileceği yük, yani işletme yükü (P_i)

$$P_i = \frac{P_G \text{ veya } P_L}{e} \quad (2.14)$$

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

Bir yapı sisteminin artan yükler altındaki hesabı iki şekilde yapılabilir.

1- Sistem, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan düşey ve yatay yükler altında hesaplanarak bu yükler için ortak bir göçme güvenliği belirlenir.

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

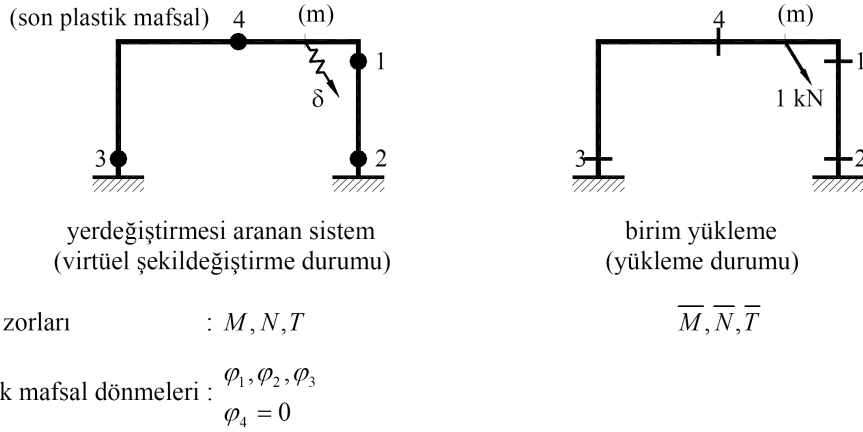
Büyük oranda yapı ağırlığından oluşan düşey yüklerin daha belirli olduğu, buna karşılık rüzgar ve deprem etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının

daha fazla olduğu gözönünde tutulduğunda, yapı güvenliğinin belirlenmesi açısından, ikinci yolun daha gerçekçi sonuç vereceği söylenebilir [10].

Plastik mafsalda eğilme momentinin yanında normal kuvvetin de bulunması halinde, akma koşulunu sağlayacak şekilde belirlenen indirgenmiş eğilme momenti (M_p') esas alınarak hesap yapılması gerekmektedir. Plastik mafsaldaki normal kuvvet başlangıçta bilinmediğinden, bir ardışık yaklaşım yolu uygulanması gerekebilir [8].

2.6.1 Yerdeğiştirmelerin ve plastik mafsal dönmelerinin hesabı

Üzerinde plastik mafsallar bulunan bir sistemde, limit yüke karşı gelen son plastik mafsallın oluştuğu; fakat dönmenin başlamadığı andaki yerdeğiştirme virtüel iş teoremi ile hesaplanabilir, Şekil 2.21.



Şekil 2.21 : Yerdeğiştirmelerin hesabı

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

$$\sum 1.\delta = \int \bar{M} \frac{M}{EI} ds + \int \bar{N} \frac{N}{EF} ds + \int \bar{T} \frac{T}{GF'} + \sum M_i \varphi_i \quad (2.15)$$

elde edilir.

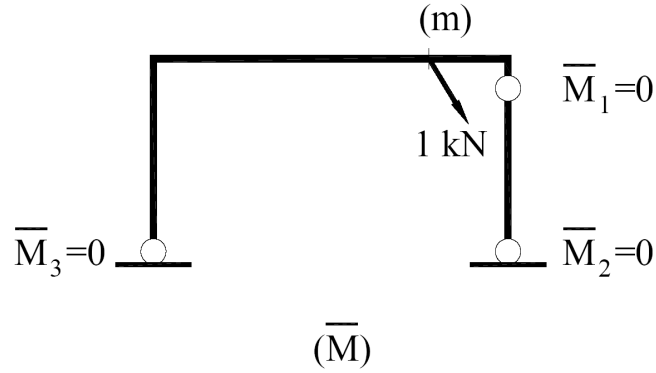
Kısaltma teoremi uyarınca, son plastik mafsallın dışındaki plastik mafsalların bulunduğu noktalara adi mafsallar konularak elde edilen sisteme birim yükleme yapılırsa (Şekil 2.22)

$$\bar{M}_1 \varphi_1 = \bar{M}_2 \varphi_2 = \bar{M}_3 \varphi_3 = \dots = 0 \quad (2.16)$$

olacağından, δ yerdeğiştirmesi

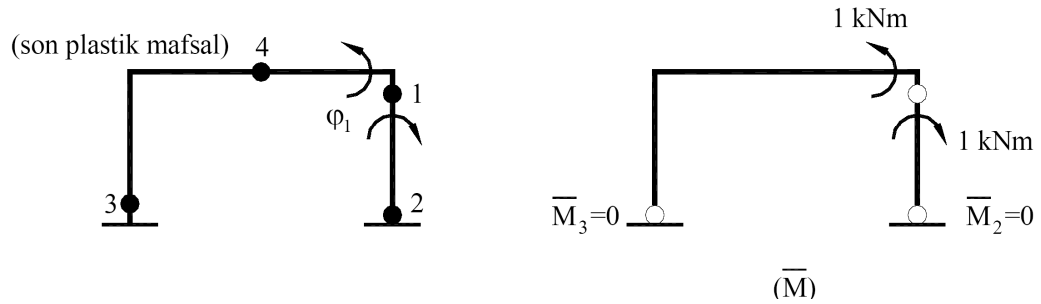
$$\delta = \int (\bar{M}) \frac{M}{EI} ds + \int (\bar{N}) \frac{N}{EF} ds + \int (\bar{T}) \frac{T}{GF'} ds \quad (2.17)$$

şeklinde, plastik mafsalların dönmelerinden bağımsız olarak hesaplanabilir.



Şekil 2.22 : Birim yüklemede Kısıltma teoreminin uygulanması

Plastik mafsalların dönmeleri de benzer şekilde hesaplanabilir. Bunun için, plastik mafsallara birim moment çiftleri uygulanır, Şekil 2.23.



Şekil 2.23 : Plastik mafsalların dönmelerinin bulunması

Limit yükten önceki aşamalara ait yerdeğiştirmeler de benzer şekilde hesaplanabilir. Ancak bu durumda, plastik mafsalların yerine adi mafsallar konulmak suretiyle elde edilen sistem hiperstatik olacağından, ayrıca kesimler yapılarak izostatik hale getirilir [8].

2.7 Limit Yükün Doğrudan Doğruya Hesabı

Büyük yerdeğiştirmelere ve plastik şekildeğiştirmelere izin verilen süneklik düzeyi yüksek sistemler (örneğin, yumuşak çelikten yapılan sistemler ve beton basınç

bölgesi derinliği $a/d \leq 0.25$ koşulunu sağlayan betonarme sistemler), kendilerine etkiyen dış yükleri limit yüke kadar göçmeden taşıyabilirler; yani bu sistemlerde $P_G=P_L$ olur. Bu nedenle, söz konusu sistemler doğrudan doğruya limit yük için boyutlandırılabilirler [8].

Limit yükün sağlanması gereken koşullar şunlardır:

1- Denge koşulları

2- Sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmiş olması

3- Akma koşullarının sağlanmış olması; yani

a) Plastik mafsallarda $M=M_p$

b) Diğer kesitlerde $M<M_p$ olması.

Bu koşulların tümünü sağlamak suretiyle, limit yük doğrudan doğruya hesaplanabilir. Limit yükün doğrudan doğruya hesabı için uygulanmakta olan yöntemler statik yöntem ve sinematik yöntem olarak başlıca iki grupta toplanabilirler [8].

3. YAPILARIN PERFORMANSA DAYALI TASARIMI

Yapı sistemlerinin performansa dayalı tasarımında ana prensip deprem güvenliklerinin gerçekçi bir şekilde belirlenebilmesi için, performans noktaları ve performans seviyelerinin belirlenmesidir. Performans seviyesi, depremin ardından yapıda oluşacak hasar seviyesi ile ölçülür. Daha sonra bulunan sonuçlar yapıdan beklenen performans hedefleri çerçevesinde değerlendirilir. Yapı sistemlerine bu tarz yaklaşım 2007 Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY'07) içersinde Bölüm 7'de ele alınmıştır.

Aşağıdaki bölümlerde, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği Bölüm 7'de verilen mevcut betonarme binaların deprem performans ve güvenliklerinin değerlendirilmesi hakkında bilgi verilecektir.

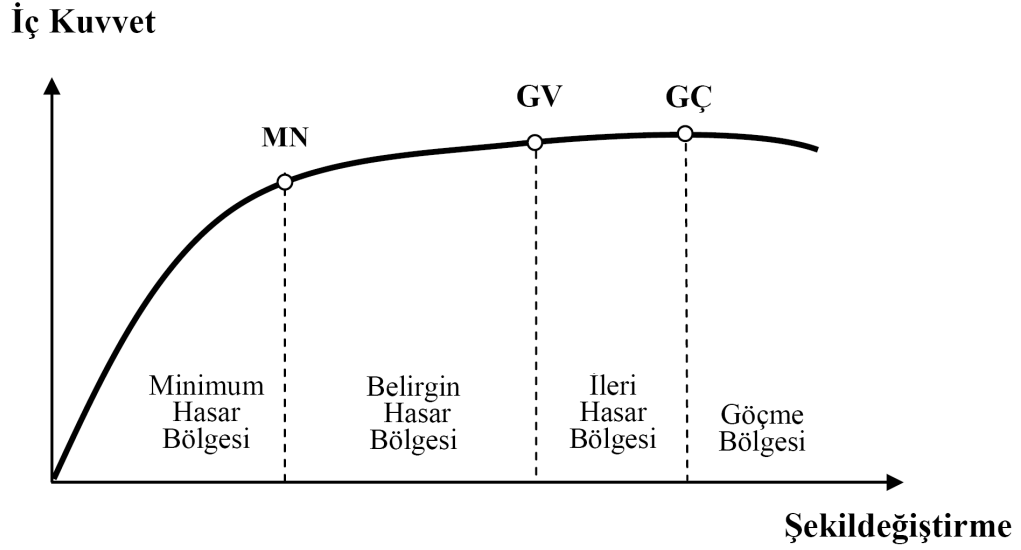
3.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları Ve Hasar Bölgeleri

3.1.1 Kesit hasar sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir [2].

3.1.2 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar *Minimum Hasar Bölgesi*'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*'nde yer alırlar (Şekil 3.1) [2].



Şekil 3.1 : Kesit hasar bölgeleri

3.2 Binalardan Bilgi Toplanması Ve Bilgi Düzeyleri

Binanın deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının belirlenmesi için binanın taşıyıcı sistemi konusunda bilgi toplanması gerekir. Taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesinde ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilir [13].

Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin belirlenmesi, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin belirlenmesi, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür [13].

Binanın incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre, her bina türü için *Bilgi Düzeyi* ve buna bağlı olarak *Bilgi Düzeyi Katsayısı* tanımlanır. Bilgi düzeyleri sırasıyla *sınırlı*, *orta* ve *kapsamlı* olarak sınıflandırılır. Elde edilen bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılır.

Sınırlı bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir. Sınırlı bilgi düzeyi "*Deprem Sonrası Hemen Kullanımı Gereken Binalar*" ile "*İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar*" için uygulanamaz. Kesit ve eleman kapasitelerinin hesabında f_{cm} mevcut basınç dayanımı olarak beton örneği en düşük basınç dayanımı kabul edilecektir (*Bilgi düzeyi katsayısı: 0.70*).

Orta bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Eğer mevcutsa sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri kontrol edilir. Kesit ve eleman kapasitelerinin hesabında f_{cm} mevcut basınç dayanımı olarak (ortalama basınç dayanımı - standart sapma) kabul edilecektir (*Bilgi düzeyi katsayısı: 0.90*).

Kapsamlı bilgi düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur ve -projede bilgilerinin kontrol edilmesi için yeterli düzeyde ölçümler yapılır. Kesit ve eleman kapasitelerinin hesabında f_{cm} mevcut basınç dayanımı olarak (ortalama basınç dayanımı – standart sapma) kabul edilecektir (*Bilgi düzeyi katsayısı: 1.00*).

Bütün bilgi düzeylerinde f_{ym} donatı mevcut akma gerilmesi olarak donatı karakteristik gerilmesi kullanılır. Binanın bilgi düzeyine göre, eleman kapasitelerinin hesabında *Bilgi Düzeyi Katsayıları* kullanılır. Böylece bilgi toplamadaki belirsizlik gözönüne alınmış olur. Sınırlı bilgi düzeyinde belirsizlik daha büyük olduğu için kapasite %30 oranında azaltılır. Buna karşılık kapsamlı bilgi düzeyinde belirsizliğin olmadığı kabul edilerek azaltma yapılmaz. Kapasite hesabında beton ve donatının malzeme dayanımları, γ_m malzeme katsayıları ile azaltılmaz ve mevcut malzeme dayanımları kullanılır [13].

3.3 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

3.3.1 Betonarme binaların deprem performansı

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. Tanımlanan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Binaların deprem performansının belirlenmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir. Burada verilen kurallar betonarme ve prefabrike betonarme binalar için geçerlidir [2].

3.3.2 Hemen kullanım performans düzeyi

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u *Belirgin Hasar Bölgesi*'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü *Minimum Hasar Bölgesi*'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların *Hemen Kullanım Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir [2].

3.3.3 Can güvenliği performans düzeyi

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların *Can Güvenliği Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir:

- a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı *İleri Hasar Bölgesi*'ne geçebilir [2].
- b) *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir [2].
- c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi* veya *Belirgin Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden yönetmelikte yer alan $(M_{ra}+M_{ri}) \geq 1.2(M_{ri}+M_{rj})$ koşulunun sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler) [2].

3.3.4 Göçme öncesi performans düzeyi

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların *Göçme Bölgesi*'nde olduğunun gözönüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir:

- a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si *Göçme Bölgesi*'ne geçebilir [2].
- b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi*, *Belirgin Hasar Bölgesi* veya *İleri Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden yönetmelikte yer alan $(M_{ra}+M_{r\bar{u}}) \geq 1.2(M_{ri}+M_{rj})$ koşulunun sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler) [2].
- c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır [2].

3.3.5 Göçme durumu

Bina *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'ni sağlayamıyorsa *Göçme Durumu*'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

3.4 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri

Yeni yapılacak binalar için, yönetmelikte tanımlanan ivme spektrumu, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır. Bu deprem düzeyine ek olarak, mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere ayrıca aşağıda belirtilen iki farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır [2]:

- a) 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremin ivme spektrumunun ordinatlarının yaklaşık yarısı olarak alınacaktır.
- b) 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları ise 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremin ivme spektrumunun ordinatlarının yaklaşık 1.5 katı olarak kabul edilmiştir.

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 : Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

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

3.5 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke Ve Kurallar

Yönetmeliğin 7. bölümüne göre deprem hesabının amacı, mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performansını belirlemektir. Bu amaçla *doğrusal elastik* veya *doğrusal elastik olmayan* hesap yöntemleri kullanılabilir. Ancak, teorik olarak farklı yaklaşımları esas alan bu yöntemlerle yapılacak performans değerlendirmelerinin birebir aynı sonucu vermesi beklenmemelidir. Aşağıda tanımlanan genel ilke ve kurallar her iki türdeki yöntemler için de geçerlidir.

Deprem etkisinin tanımında, elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılır, ancak farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde binalar için hedeflenen performans düzeylerine göre yapılan değişiklikler gözönüne alınır. Deprem hesabında Bina Önem Katsayısı uygulanmaz ($I=1.0$).

Binaların deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirilir. Hareketli düşey yükler, deprem hesabında gözönüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilir. Deprem hesabında kullanılacak zemin parametreleri yönetmeliğin ilgili bölümüne göre belirlenir.

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

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

Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, binadan derlenen verilerin kapsamına göre *bilgi düzeyi katsayıları* aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılır.

Kısa kolon olarak tanımlanan kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanır.

Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanmasına ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir [6]:

- Analizde beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen *mevcut dayanımları* esas alınır.
- Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir.
- Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemli diyagramlar olarak modellenenebilir.

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

Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait *etkin eğilme rijitlikleri* $(EI)_e$ kullanılır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılır [2]:

a)Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

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

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

Eksenel basınç kuvveti N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. N_D , deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin gözönüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait $(EI)_o$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön

düşey yük hesabı ile belirlenir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, yukarıda belirtildiği şekilde elde edilen etkin eğilme rijitliği $(EI)_e$ kullanılarak, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılır [2].

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

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

Zemindeki şekildeğiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılır [2].

3.6 Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi

Burada doğrusal olan yöntemin taşıyıcı sistemin davranışı anlamında "doğrusal" olduğunu kabul etmek uygun değildir. Yeni tasarımı yapılacak binalarda, doğrusal olmayan davranışla oluşacak yatay yük kapasite artımı tüm bina için öngörülen Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R ve ona bağlı kullanılan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı R_a ile gözönüne alınmaktadır. Mevcut binaların değerlendirilmesinde kullanılan Doğrusal Elastik Değerlendirme Yöntemi'nde her eleman için göz önüne alınan *Etki/Kapasite Oranı* r katsayısı ile doğrusal olmayan davranışla oluşacak yatay yük kapasite artımı göz önüne alınmaktadır. Diğer bir ifade ile çözüm işlemi doğrusal olmakla beraber bu yöntemde de taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınır. Bu yöntemin iki uygulaması mevcuttur; Doğrusal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi [13].

3.6.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Bu yöntem, birinci modun etkili olduğu düşük katlı binalarda ve binada burulma düzensizliğin sınırlı olduğu durumda yeterli yaklaşımı sağlar. Yönetmelikte yöntemin uygulama sınırları aşağıdaki gibi verilmiştir [13]:

- Bodrum üzerindeki toplam yüksekliği 25m den az binalar,
- Toplam kat adedi 8'i aşmayan binalar,

- Burulma düzensizlik katsayısı 1.4 den küçük olan binalar.

Bodrum üzerindeki kat adedi ikiden fazla olan binalarda kütlenin bir kısmının katılımı sözkonusu olduğu için toplam eşdeğer deprem yükü $\lambda=0.85$ katsayısı çarpılarak azaltılır. Yöntemin bu tek modlu uygulamasında binaya etkiyen toplam deprem yükü, $V_t=\lambda WA(T_1)/R_a$ bağıntısıyla hesaplanır [13].

3.6.2 Mod birleştirme yöntemi

Bu yöntem birden daha fazla mod göz önüne alındığı için tüm binalarda uygulanabilir. Bu yöntemde deprem kuvvetleri birden fazla mod için hesaplanarak, kesit etkileri ayrı ayrı hesaplanır, daha sonra bu etkiler yönetmelikte bulunan mod etkilerinin birleştirilmesi için verilen iki yöntemden biri kullanılarak birleştirilir. Bu adımdan sonra her iki yöntemin uygulaması benzer olarak devam eder [13].

3.7 Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler İle Belirlenmesi

Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*, *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*'dir. İlk iki yöntem, Yönetmelikte doğrusal olmayan deprem performansının belirlenmesi ve güçlendirme hesapları için temel alınan *Artımsal İtme Analizi*'nde kullanılan yöntemlerdir.

3.7.1 Artımsal itme analizi

Genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi ve analiz modelinin oluşturulması için tanımlanan kurallara uyulur [2].

Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır [2].

Artımsal itme analizinin *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile yapılması durumunda, koordinatları “*modal yerdeğiştirme-modal ivme*” olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “*modal kapasite diyagramı*” elde edilir. Bu diyagram ile birlikte, elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait *modal*

yerdeğiştirme istemi belirlenir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dñnmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanır [2].

Artımsal itme analizinin *Artımsal Mod Birleştirme Yñntemi* ile yapılması durumunda, gözñnñne alınan bütün modlara ait “*modal kapasite diyagramları*” ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de elde edilir, bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dñnmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanır [2].

Plastikleřen (sñnek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dñnme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve toplam eğrilik istemleri elde edilir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için tanımlanan ilgili birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sñnek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır. Ayrıca, güçlendirilen dolgu duvarlarında görelı kat ötelemeleri cinsinden hesaplanan şekildeğiştirme istemleri, tanımlanan şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır [2].

3.7.1.1 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi

Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, literatürde geğerliliği kanıtlanmış modeller kullanılabilir. Ancak, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile aşağıdaki kısımlarda doğrusal elastik olmayan analiz için *yığılı plastik davranış modeli* esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda *plastik mafsal hipotezi*’ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgñn yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. *Plastik mafsal boyu* olarak adlandırılan *plastik şekildeğiştirme bölgesi*’nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)’nin yarısına eşit alınır ($L_p = 0.5 h$). $H_w / \ell_w < 2.0$ olan perdelerde, eğilme etkisi altında plastik şekildeğiştirmeler gözñnñne alınmaz [2].

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

Yığılı plastik şekildeştirmeyi temsil eden *plastik kesit*'in, teorik olarak tanımlanan plastik şekildeştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmelere izin verilebilir [2]:

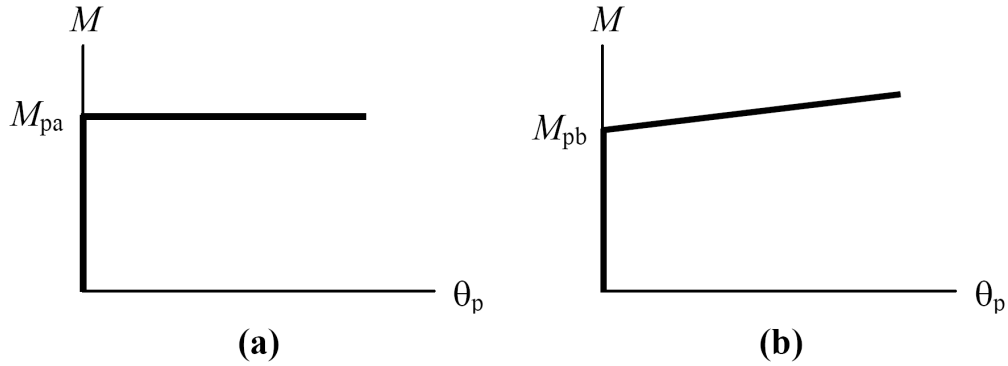
- Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönüne alınmalıdır.
- Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perde kesiminin alt ucuna konulmasına izin verilebilir. U, T, L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır.

Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisinde plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeyleri olarak tanımlanan koşullara göre belirlenen etkileşim diyagramları kullanılır. Akma yüzeyleri, uygun biçimde doğrusallaştırılarak iki boyutlu davranış durumunda *akma çizgileri*, üç boyutlu davranış durumunda ise *akma düzlemleri* olarak modellenebilir [2].

İtme analizi modelinde kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeştirme bağıntıları ile ilgili olarak aşağıdakiler söylenebilir [2]:

- İç kuvvet-plastik şekildeştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir (şekil 3.2a). Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekildeştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu gözönüne alınır.
- Pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumunda (şekil 3.2b), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekildeştirme vektörünün sağlaması

gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanır.



Şekil 3.2 : İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi

3.7.2 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında *doğrusal olmayan itme analizi*'nin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (*kümülatif*) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır [2].

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur [2].

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde *sabit* kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği

ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme gözönüne alınır [2].

Tanımlanan sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları “*tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti*” olan *itme eğrisi* elde edilir. Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, gözönüne alınan x deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, koordinatları “*modal yerdeğiştirme – modal ivme*” olan *modal kapasite diyagramı* aşağıdaki şekilde elde edilir [2]:

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

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (3.1)$$

- (i)’inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal yer değiştirme $d_1^{(i)}$ ’nin hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılır:

$$d_1^{(i)} = \frac{U_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (3.2)$$

Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} , x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımıdaki doğrusal elastik davranışı için tanımlanan L_{x1} ve M_1 ’den yararlanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir [2]:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (3.3)$$

Alternatif olarak, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre *değişken* olarak gözönüne alınabilir. Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik kesitler gözönüne alınarak hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki

hakim) titreşim mod şeklinin genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olarak tanımlanır [2].

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer deyişle *modal yerdeğiştirme istemi* hesaplanır. Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, *doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme* S_{di1} ’e eşittir [2]:

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (3.4)$$

Son itme adımı $i = p$ için Denk.(3.4)’e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$ ’nin Denk.(3.2)’de yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir [2]:

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (3.5)$$

Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilir veya tepe yerdeğiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile hesaplanır [2].

3.7.2.1 Doğrusal ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme

Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen *doğrusal elastik (linear) spektral yerdeğiştirme* S_{de1} ’e bağlı olarak Denk.(3.6) ile elde edilir [2]:

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

Doğrusal elastik (linear) spektral yerdeğiştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} ’den hesaplanır [2]:

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

3.7.2.2 Spektral yerdeğiştirme oranı

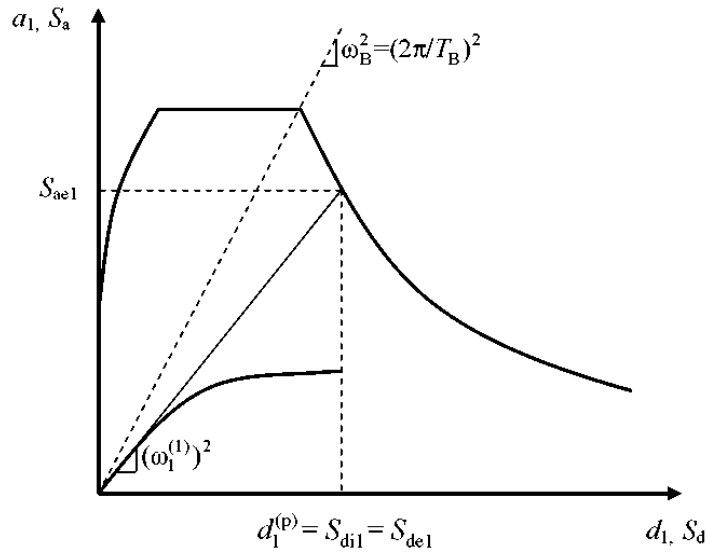
Denk.(3.6)'da yer alan *spektral yerdeğiştirme oranı* C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'in değerine ($T_1^{(1)} = 2\pi/\omega_1^{(1)}$) bağlı olarak, verilen koşullar doğrultusunda belirlenir [2].

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, yönetmelikte tanımlanan ivme spektrumundaki *karakteristik periyod* T_B 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$), doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{d1} , *eşit yerdeğiştirme kuralı* uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan *eşlenik doğrusal elastik sistem'e* ait *lineer elastik spektral yerdeğiştirme* S_{de1} 'e eşit alınacaktır. Buna göre Denk.(3.6)'daki *spektral yerdeğiştirme oranı*:

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

şekil 3.3'de ve onu izleyen şekil 3.4'de birinci (hakim) titreşim moduna ait ve koordinatları (d_1, a_1) olan *modal kapasite diyagramı* ile koordinatları “*spektral yerdeğiştirme* (S_d) - *spektral ivme* (S_a)” olan davranış spektrumu birarada çizilmiştir [2].

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, yönetmelikte tanımlanan ivme spektrumundaki *karakteristik periyod* T_B 'den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 > \omega_B^2$) ise, Denk.(3.6)'daki *spektral yerdeğiştirme oranı* C_{R1} , ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanır [2]:



şekil 3.3 : Modal kapasite ve davranış spektrumu ile performans noktasının bulunması ($T_1^{(1)} \geq T_B$)

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

b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1}=1$ kabulü yapılarak, yani Denk.(3.8) kullanılarak *eşdeğer akma noktası*'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 3.4(a)'da görülen a_{y1}^o esas alınarak C_{R1} aşağıda şekilde tanımlanır:

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

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

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (3.10)$$

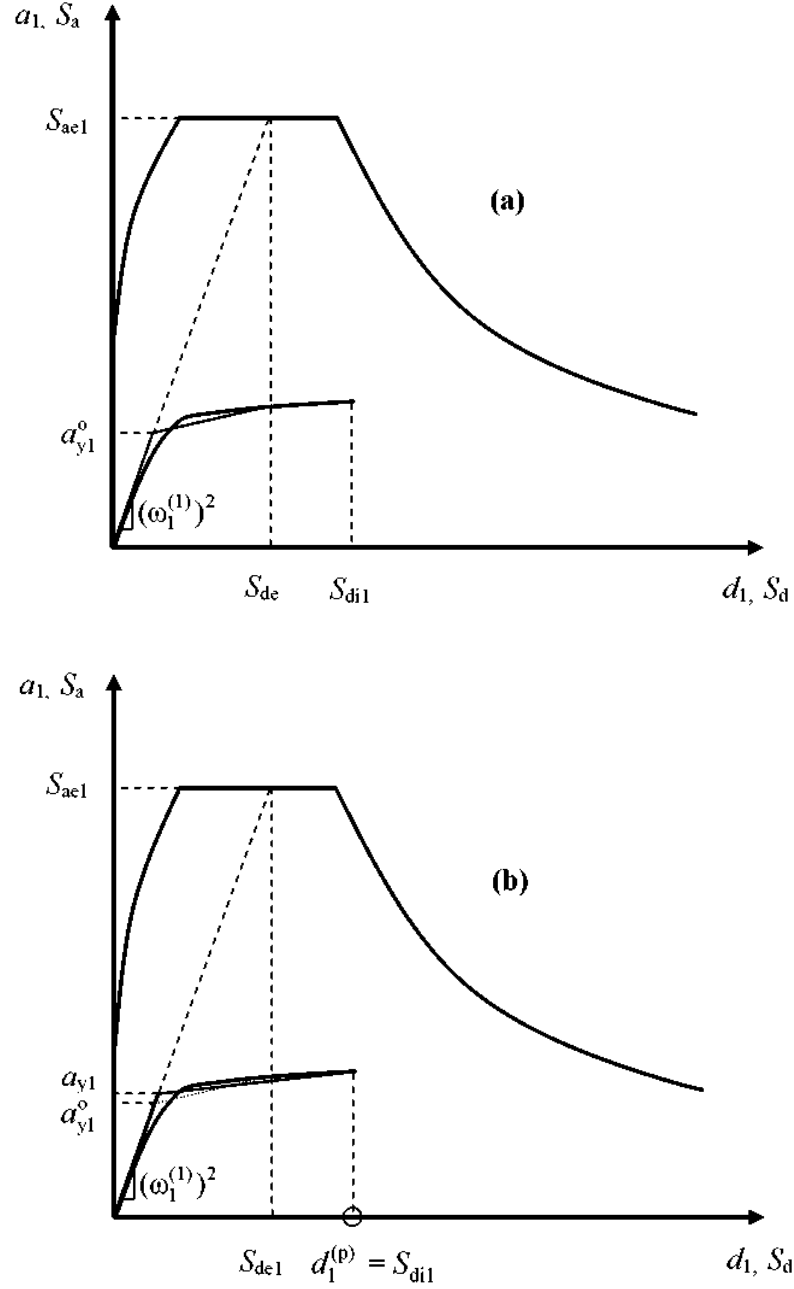
c) Denk.(3.9)'dan bulunan C_{R1} kullanılarak Denk.(3.6)'e göre hesaplanan S_{d1} esas alınarak *eşdeğer akma noktası*'nın koordinatları, Şekil 3.4(b)'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir [2].

3.7.3 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yerdeğiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak *Mod Birleştirme Yöntemi*'nin artımsal olarak uygulanmasıdır [2].

3.7.4 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış gözönüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır [2].



Şekil 3.4 : Modal kapasite ve davranış spektrumu ile performans noktasının bulunması ($T_1^{(1)} < T_B$)

3.7.5 Birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi

İtme analizi veya zaman tanım alanında hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak *plastik eğrilik istemi*, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [2]:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.11)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de gözönüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki aksinel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, Denk.(3.11) ile tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilir [2]:

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.12)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirme istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, Denk.(3.12) ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanır [2].

3.7.6 Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri

Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenir [2].

Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır [2]:

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

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (3.13)$$

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

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s/\rho_{sm}) < 0.0135 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (3.14)$$

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

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s/\rho_{sm}) < 0.018 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (3.15)$$

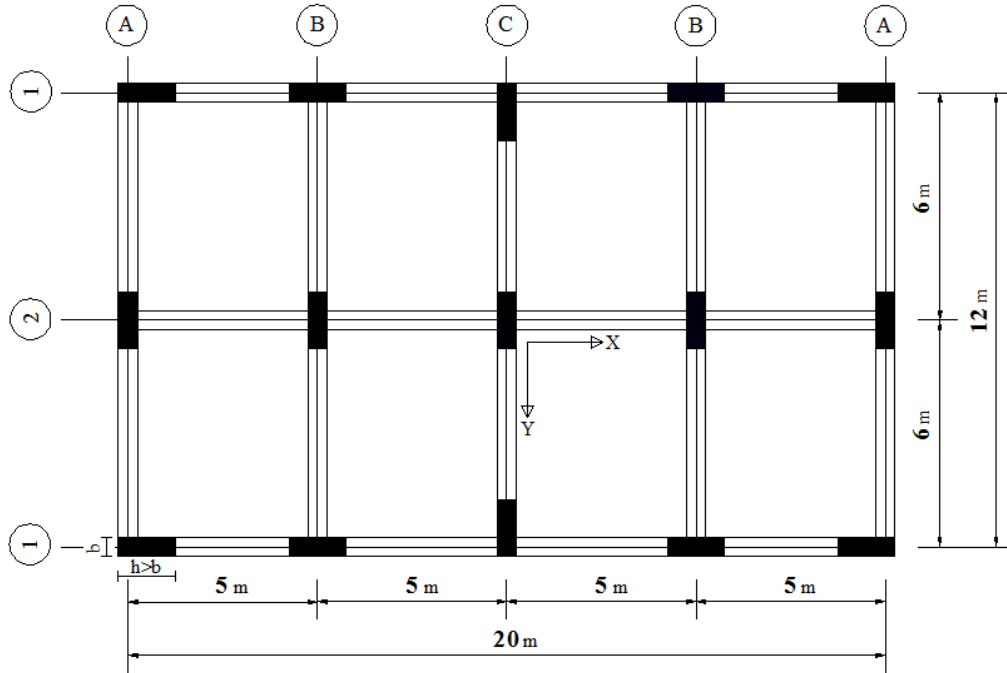
Gözönüne alınan enine donatıların yönetmeliğe göre “özel deprem etriyeleri ve çirozları” olarak düzenlenmiş olması zorunludur [2].

4. BETONARME BİNALARDA KESİT HASAR BÖLGELERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE SAYISAL İNCELEME

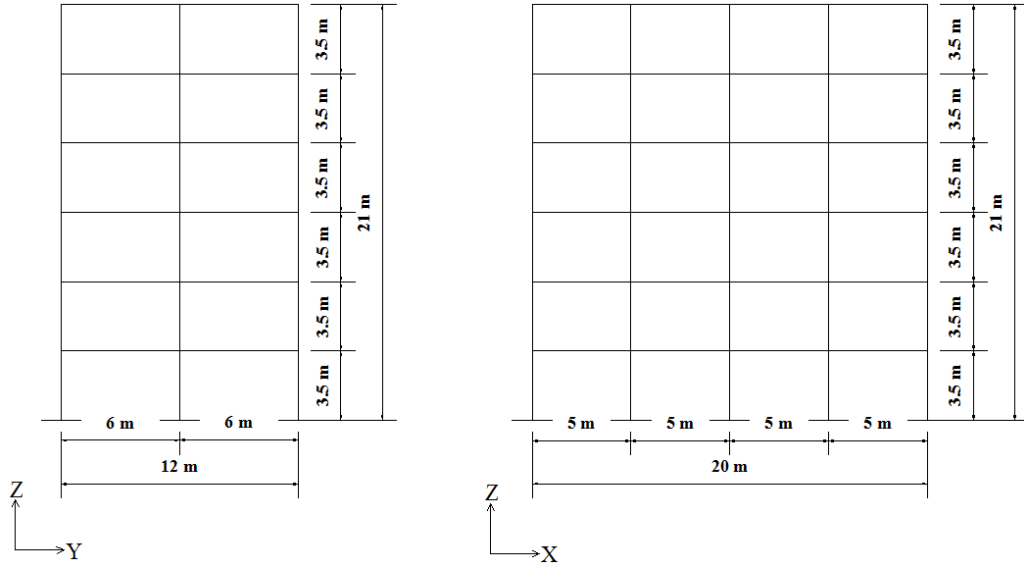
4.1 İncelenen Taşıyıcı Sistem Modeli

Bu çalışmada sayısal inceleme için esas alınan taşıyıcı sistem modeli altı katlı bir uzay betonarme çerçeve sistemidir. TSM olarak adlandırılan bu taşıyıcı sistem modeli [14] nolu referanstan alınmıştır. Bu yapı, söz konusu referansta C20 betonu ve BÇIII beton çeliği kullanılarak TS500-Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları Standardı ile 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne [1] uygun olarak boyutlandırılmıştır.

TSM taşıyıcı sistem modeli X doğrultusunda dört açıklıklı, Y doğrultusunda iki açıklıklı, altı katlı bir uzay betonarme çerçevedir. Kiriş açıklıkları X doğrultusunda 5 m, Y doğrultusunda 6 m olup, kat yükseklikleri 3.5 m'dir. Tipik döşeme kalıp planı şeması Şekil 4.1'de, çerçeve düşey enkesitleri ise Şekil 4.2'de verilmiştir.

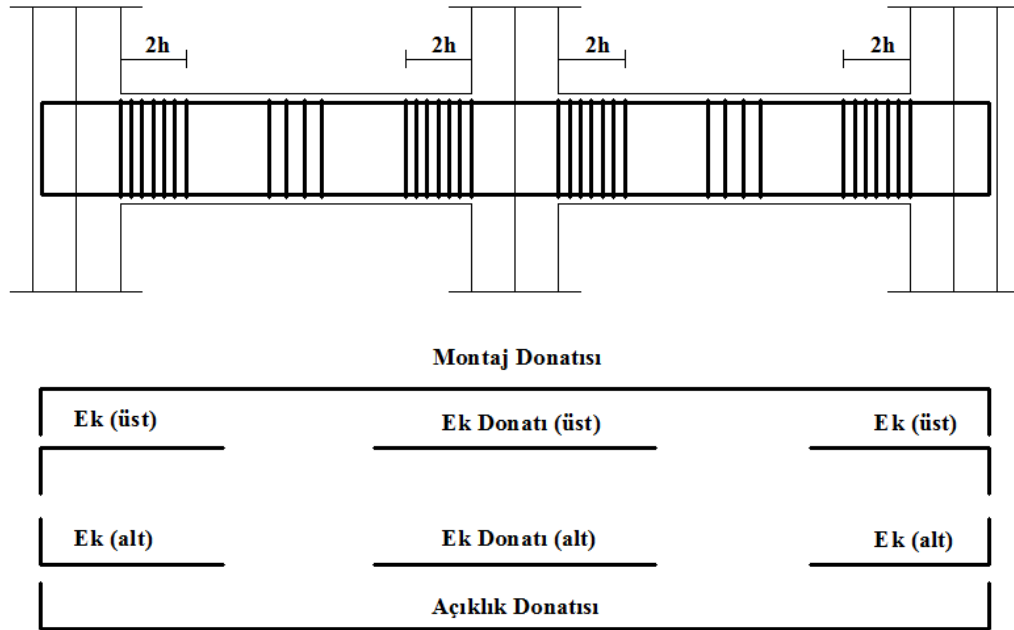


Şekil 4.1 : Tipik döşeme kalıp planı şeması

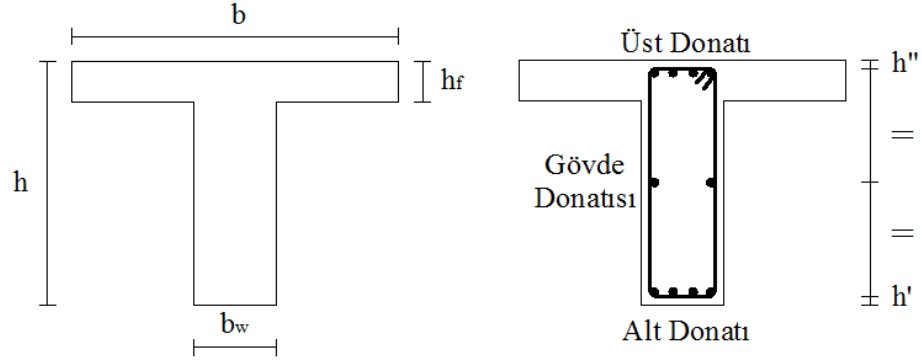


Şekil 4.2 : Çerçeve düşey enkesitleri

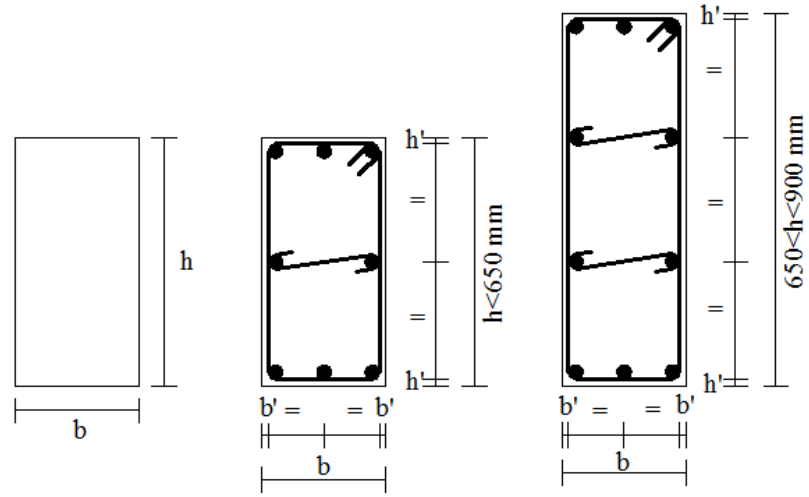
Taşıyıcı sistem modeli için kiriş boyuna ve enine donatılarının yerleşim düzeni (Şekil 4.3), kiriş (Şekil 4.4) ve kolon (Şekil 4.5) enkesit boyutlarını tanımlayan büyüklükler ve donatı yerleşim düzenleri aşağıdaki şekillerde vermiştir. Kirişlerde paspayı kalınlıkları $h'=h''=35$ mm, kolonlarda ise paspayı kalınlıkları $h'=b'=40$ mm olarak alınmıştır.



Şekil 4.3 : Kiriş boyuna ve enine donatılarının yerleşim düzeni



Şekil 4.4 : Kiriş enkesit boyutlarını tanımlayan büyüklükler ve donatı yerleşim düzeni



Şekil 4.5 : Kolon enkesit boyutlarını tanımlayan büyüklükler ve donatı yerleşim düzenleri

Uzay çerçeve sistemin kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit oldukları kabul edilmiştir. Taşıyıcı sistem modeline ait kiriş enkesit boyutları Tablo 4.1’de, kolon enkesit boyutları ise Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1 : Kiriş enkesit boyutları

KAT	AKS	h (mm)	b (mm)	b_w (mm)	h_f (mm)
1-6	A	600	660	300	150
	B, C	600	1020	300	150
	1	600	600	300	150
	2	600	900	300	150

Tablo 4.2 : Kolon enkesit boyutları

KAT	mm/mm	A1	B1	C1	A2	B2	C2
6-5	<i>h/b</i>	400/300	400/300	400/300	400/300	400/300	400/300
4-3	<i>h/b</i>	400/300	500/300	500/300	500/300	600/300	600/300
2-1	<i>h/b</i>	400/300	600/300	600/300	600/300	800/300	800/300

Çerçeve sistemin X ve Y doğrultularındaki kiriş boyuna donatıları Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’de verilmiştir. Bu donatıya ek olarak, tüm kirişlerde, 2Φ12 gövde donatısı bulunmaktadır. Kirişlerde, donatı yerleşimi bakımından, açıklığın üçte biri uzunluğunda üç farklı bölge bulunduğu hesaplarda göz önüne alınacaktır.

Tablo 4.3 : X doğrultusunda kiriş boyuna donatıları

			KATLAR		
AKS	YER		6-5	4-3	2-1
1	Mesnet Bölgesi (A)	Üst	2Φ12+2Φ18	2Φ14+3Φ20	3Φ14+2Φ22
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16
	Açıklık Bölgesi (A-B)	Üst	2Φ12	2Φ14	3Φ14
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16
	Mesnet Bölgesi (B)	Üst	2Φ12+2Φ18	2Φ14+3Φ20	3Φ14+3Φ22
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16
	Açıklık Bölgesi (B-C)	Üst	2Φ12	2Φ14	3Φ14
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16
	Mesnet Bölgesi (C)	Üst	2Φ12+2Φ14	2Φ14+2Φ20	3Φ14+1Φ22
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16
2	Mesnet Bölgesi (A)	Üst	2Φ12+2Φ18	2Φ14+2Φ20	3Φ14+2Φ22
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16
	Açıklık Bölgesi (A-B)	Üst	2Φ12	2Φ14	3Φ14
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16
	Mesnet Bölgesi (B)	Üst	2Φ12+2Φ18	2Φ14+2Φ20	3Φ14+2Φ22
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16
	Açıklık Bölgesi (B-C)	Üst	2Φ12	2Φ14	3Φ14
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16
	Mesnet Bölgesi (C)	Üst	2Φ12+2Φ18	2Φ14+2Φ20	3Φ14+2Φ22
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16

Tablo 4.4 : Y doğrultusunda kiriş boyuna donatıları

			KATLAR		
AKS	YER		6-5	4-3	2-1
A	Mesnet Bölgesi (1)	Üst	2Φ12+2Φ18	3Φ14+2Φ20	3Φ14+2Φ22
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16
	Açıklık Bölgesi (1-2)	Üst	2Φ12	3Φ14	3Φ14
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16
	Mesnet Bölgesi (2)	Üst	2Φ12+3Φ18	3Φ14+3Φ20	3Φ14+3Φ22
		Alt	3Φ16	4Φ16	4Φ16
B	Mesnet Bölgesi (1)	Üst	2Φ12+2Φ18	3Φ14+2Φ20	3Φ16+2Φ22
		Alt	4Φ16	4Φ16	4Φ16
	Açıklık Bölgesi (1-2)	Üst	2Φ12	3Φ14	3Φ16
		Alt	4Φ16	4Φ16	4Φ16
	Mesnet Bölgesi (2)	Üst	2Φ12+3Φ18	3Φ14+4Φ22	3Φ16+5Φ22
		Alt	4Φ16	4Φ16	4Φ16
C	Mesnet Bölgesi (1)	Üst	2Φ12+3Φ18	3Φ14+4Φ22	3Φ16+5Φ22
		Alt	4Φ16	4Φ16	4Φ16
	Açıklık Bölgesi (1-2)	Üst	2Φ12	3Φ14	3Φ16
		Alt	4Φ16	4Φ16	4Φ16
	Mesnet Bölgesi (2)	Üst	2Φ12+3Φ18	3Φ14+4Φ22	3Φ16+5Φ22
		Alt	4Φ16	4Φ16	5Φ16

Taşıyıcı sistemde enine donatı, kirişlerde Φ10/200 (etkiye sıklaştırma bölgesinde Φ10/150), kolonlarda ise Φ10/200 (etkiye sıklaştırma bölgesinde Φ10/100) olarak belirlenmiştir. TSM için kolon boyuna donatıları Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5 : Kolon boyuna donatıları

KOLONLAR	KATLAR		
	6-5	4-3	2-1
A1	4Φ18+4Φ16	4Φ18+4Φ16	4Φ18+4Φ16
B1	8Φ16	8Φ20	4Φ22+4Φ20
C1	4Φ16+4Φ14	8Φ20	8Φ20
A2	4Φ16+4Φ14	4Φ18+4Φ16	8Φ18
B2, C2	4Φ16+4Φ14	8Φ20	6Φ26+4Φ20

4.2 Deprem Yüğü Hesabı

Bu bölümde taşıyıcı sistem modelinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine göre deprem yüğü hesabı yapılmıştır.

4.2.1 Malzeme özellikleri

Aşağıda ele alınan taşıyıcı sistem modelinin malzeme karakteristikleri verimştir.

Beton Çeliğı (BÇIII) : $f_{yk}=420 \text{ N/mm}^2$

$$E_s=2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

Betonarme Betonu (C20) : $f_{ck}=20 \text{ N/mm}^2$

$$E_c=2.85 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{co}=0.002$$

4.2.2 Deprem karakteristikleri

TSM, birinci derece deprem bölgesinde bulunan, yerel zemin sınıfı Z2 olan bir çerçeve sistem olarak belirlenmiştir. Bu yapının etkin yer ivmesi katsayısı (A_0) 0.4, taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ise 8 olarak tespit edilmiştir.

4.2.3 Esas alınan yükler

Ele alınan taşıyıcı sistem modeli için kiriş, duvar ve döşeme yüklerinin hesaplanması tablo olarak aşağıda verilmiştir (Tablo 4.6, Tablo 4.7).

Tablo 4.6 : Çerçeve sistemin kiriş ve duvar yükleri

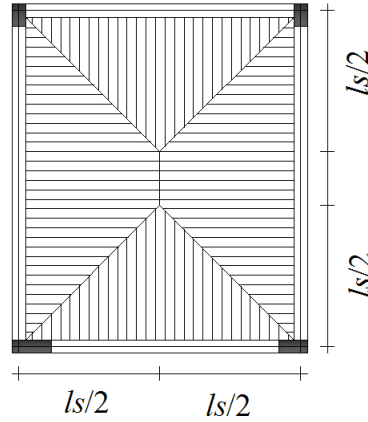
Yük	Kiriş zati				Duvar		
	Kiriş Gövde Genişliği	Kiriş Yüksekliği Döşeme Kalınlığı Farkı	(Betonarme)	Sabit Kiriş Yüğü	Duvar Yüksekliği	(Yarım Tuğla Duvar)	Sabit Duvar Yüğü
	$b_w(m)$	$h-h_f(m)$	γ (KN/m ³)	g (KN/m)	$h(m)$	γ (KN/m ³)	g (KN/m)
6	0.3	0.45	25	3.375	0	0	0
5	0.3	0.45	25	3.375	3	2.5	7.5
4	0.3	0.45	25	3.375	3	2.5	7.5
3	0.3	0.45	25	3.375	3	2.5	7.5
2	0.3	0.45	25	3.375	3	2.5	7.5
1	0.3	0.45	25	3.375	3	2.5	7.5

Tablo 4.7 : Çerçeve sistemin döşeme yükleri

Yük	Döşeme					
	Betonarme plak			Kaplama +sıva Yükü (KN/m ²)	Sabit Döşeme Yükü g (KN/m ²)	Hareketli Döşeme Yükü q (KN/m ²)
	Döşeme Kalınlığı	(Betonarme)	Sabit Betonarme Plak Yükü			
	$h_f(m)$	γ (KN/m ³)	g (KN/m ²)			
Kat						
6	0.15	25	3.75	1.5	5.25	2
5	0.15	25	3.75	1.5	5.25	2
4	0.15	25	3.75	1.5	5.25	2
3	0.15	25	3.75	1.5	5.25	2
2	0.15	25	3.75	1.5	5.25	2
1	0.15	25	3.75	1.5	5.25	2

4.2.3.1 Döşemelerden kirişlere aktarılan eşdeğer düşey yayılı yükün hesabı

TS500-Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları Standardına göre döşemelerden kirişlere döşeme yükü kısa açıklıklarda üçgen yayılı yük, uzun açıklıklarda yamuk yayılı yük olarak aktarılır (Şekil 4.6).

**Şekil 4.6 : Döşemelerden kirişlere yük aktarımı**

l_s döşemenin kısa doğrultudaki eksen açıklığı, l_l döşemenin uzun doğrultudaki eksen açıklığı olarak adlandırılır. Buna göre;

$m=l_l/l_s$ ise döşemelerden kirişlere aktarılan ankastrelik momentleri eşdeğer yayılı yük değerleri;

a) Kısa açıklık için: $p l_s/3$

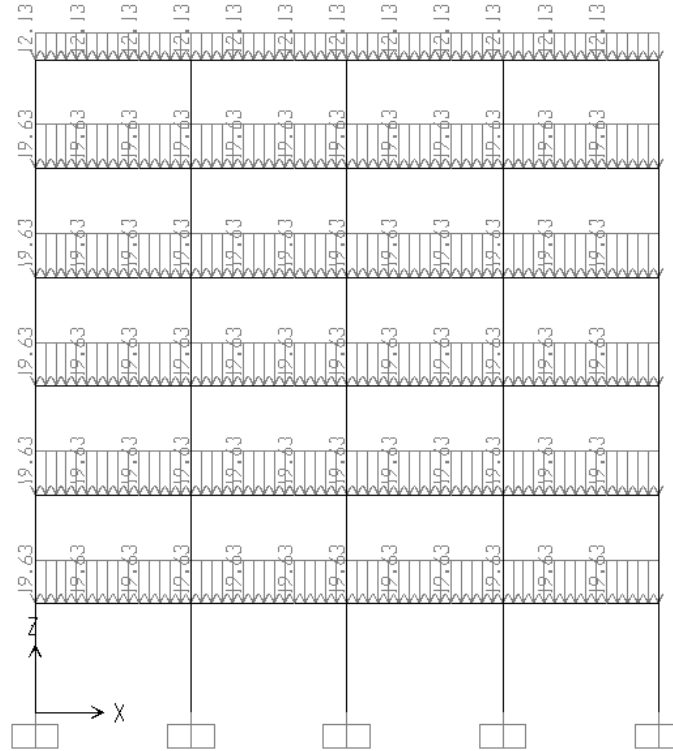
b) Uzun açıklık için: $[p l_s/3] [(3/2)-(1/2m^2)]$

olarak belirlenmiştir. Buna göre hesaplanan, döşemelerden kirişlere aktarılan ankastrelik momentleri eşdeğer yayılı yük değerleri ile kiriş ve duvar yüklerinin toplamı Tablo 4.8’de verilmiştir.

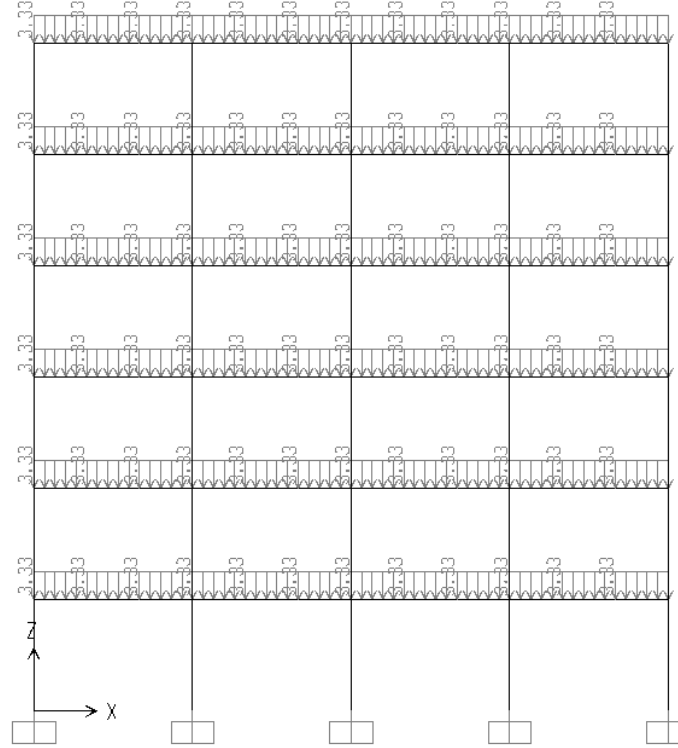
Tablo 4.8 : Toplam eşdeğer yayılı yük

Yük Kat	Döşemelerden kirişlere aktarılan ankastrelik momentleri eşdeğer yayılı yük değerleri+Kiriş Yüğü+Duvar Yüğü							
	İç Kenarlar		Dış Kenarlar		İç Kenarlar		Dış Kenarlar	
	Kısa Açıklık	Uzun Açıklık	Kısa Açıklık	Uzun Açıklık	Kısa Açıklık	Uzun Açıklık	Kısa Açıklık	Uzun Açıklık
	g (KN/m)	g (KN/m)	g (KN/m)	g (KN/m)	q (KN/m)	q (KN/m)	q (KN/m)	q (KN/m)
6	20.875	23.548	12.125	13.461	6.667	7.685	3.333	3.842
5	28.375	31.048	19.625	20.962	6.667	7.685	3.333	3.842
4	28.375	31.048	19.625	20.962	6.667	7.685	3.333	3.842
3	28.375	31.048	19.625	20.962	6.667	7.685	3.333	3.842
2	28.375	31.048	19.625	20.962	6.667	7.685	3.333	3.842
1	28.375	31.048	19.625	20.962	6.667	7.685	3.333	3.842

1 çerçevesi için toplam eşdeğer yayılı yüklerin gösterilişi Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.7 : 1 çerçevesi g yükleri



Şekil 4.8 : 1 çerçevesi q yükleri

4.3 Sistemin Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre Deprem Performansının Belirlenmesi

4.3.1 Etkin eğilme rijitlikleri hesabı

2007 Türk Deprem Yönetmeliğindeki, toplam eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılan deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin gözönüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait $(EI)_o$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı sonucunda elde edilen normal düşey yüklerden meydana gelen normal kuvvetler yönetmeliğin 7.4.13 satırında tanımlanan etkin eğilme rijitlikleri hesabında, aksenal basınç kuvveti N_D olarak kullanılmıştır. Buna göre eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$

Kirişlerde $(EI)_e = 0.4 (EI)_o$

Kolonlarda $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.1$ olması durumunda $(EI)_e = 0.4 (EI)_o$

$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.4$ olması durumunda $(EI)_e = 0.8 (EI)_o$

bağıntılarıyla hesaplanmıştır. Eksenel basınç kuvveti N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılmıştır (Tablo 4.9).

Tablo 4.9 : Kolonlarda çatlamış kesit rijitlikleri

KAT	KOLON	N_D (KN)	KOLON ALANI (m ²)	f_{cm} (KN/m ²)	$N_D/(A_c*f_{cm})$	ÇATLAMIS KOLON RİJİTLİĞİ
6-5	A1	-72.86	0.12	20000	0.030	0.4 (EI) _o
	A1	-186.47	0.12	20000	0.077	0.4 (EI) _o
4-3	A1	-297.93	0.12	20000	0.124	0.432 (EI) _o
	A1	-407.18	0.12	20000	0.169	0.492 (EI) _o
2-1	A1	-513.57	0.12	20000	0.213	0.551 (EI) _o
	A1	-616.39	0.12	20000	0.256	0.609 (EI) _o
6-5	B1	-136.89	0.12	20000	0.057	0.4 (EI) _o
	B1	-333.92	0.12	20000	0.139	0.452 (EI) _o
4-3	B1	-531.52	0.15	20000	0.177	0.502 (EI) _o
	B1	-729.56	0.15	20000	0.243	0.59 (EI) _o
2-1	B1	-927.61	0.18	20000	0.257	0.61 (EI) _o
	B1	-1124.84	0.18	20000	0.312	0.683 (EI) _o
6-5	C1	-141.72	0.12	20000	0.059	0.4 (EI) _o
	C1	-344.31	0.12	20000	0.143	0.457 (EI) _o
4-3	C1	-546.46	0.15	20000	0.182	0.509 (EI) _o
	C1	-747.96	0.15	20000	0.249	0.599 (EI) _o
2-1	C1	-947.93	0.18	20000	0.263	0.617 (EI) _o
	C1	-1145.34	0.18	20000	0.318	0.69 (EI) _o
6-5	A2	-150.55	0.12	20000	0.062	0.4 (EI) _o
	A2	-366.96	0.12	20000	0.152	0.47 (EI) _o
4-3	A2	-583.99	0.15	20000	0.194	0.526 (EI) _o
	A2	-802	0.15	20000	0.267	0.623 (EI) _o
2-1	A2	-1020.77	0.18	20000	0.283	0.644 (EI) _o
	A2	-1240.98	0.18	20000	0.344	0.726 (EI) _o
6-5	B2	-277.56	0.12	20000	0.115	0.42 (EI) _o
	B2	-637.81	0.12	20000	0.265	0.621 (EI) _o
4-3	B2	-1002.82	0.18	20000	0.278	0.638 (EI) _o
	B2	-1371.93	0.18	20000	0.381	0.774 (EI) _o
2-1	B2	-1747.62	0.24	20000	0.364	0.752 (EI) _o
	B2	-2132.32	0.24	20000	0.444	0.8 (EI) _o
6-5	C2	-285.36	0.12	20000	0.118	0.425 (EI) _o
	C2	-648.28	0.12	20000	0.270	0.626 (EI) _o
4-3	C2	-1007.6	0.18	20000	0.279	0.639 (EI) _o
	C2	-1365.23	0.18	20000	0.379	0.772 (EI) _o
2-1	C2	-1722.56	0.24	20000	0.358	0.745 (EI) _o
	C2	-2081.77	0.24	20000	0.433	0.8 (EI) _o

4.3.2 Deprem yükü hesabı

Tanımlanan taşıyıcı sistem modeli için, 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinin ikinci bölümünde verilen eşdeğer deprem yükü yöntemine göre, etkin eğilme riritleklerinin de hesaba katıldığı bir deprem hesabı yapılarak, X ve Y yönlerindeki deprem yükü ve periyotları hesaplanmıştır. Deprem hesabı SAP2000 V11 programı kullanılarak yapılmıştır. Hesaplama da kullanılan değişkenler aşağıda verilmiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10 : Deprem hesabında kullanılan değişkenler.

A_o	0.4
I	1
R	1
Z2	T _A =0.15s
	T _B =0.40s

SAP2000 V11 programı kullanılarak elde edilen periyotlar $T > T_B$ olduğu için, $S(T)$ 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde verilen $S(T)=2.5(T_B/T)^{0.8}$ bağıntısıyla hesaplanmıştır (Tablo 4.11).

Tablo 4.11 : $S(T)$, spektrum katsayısının hesaplanması

		S(T)
T_x=	1.5307 s	0.854428913
T_y=	1.46774 s	0.88362643

Binanın toplam ağırlığı, toplam eşdeğer deprem yükü yönteminde verilen

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (4.1)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır. Bu bağıntıda kat ağırlıkları $w_i = g_i + nq_i$ olarak tanımlanmıştır. Hareketli yük katılım katsayısı $n = 0.3$ alınmıştır (Tablo 4.12).

Tablo 4.12 : Yapı ağırlığı ve kat kütlelerinin hesabı.

KAT	Bina Toplam Ağırlığı	Kat Ağırlıkları	Zeminden Kat Yükseklikleri	Kat Kütleleri
	Σw_i (KN)	w_i (KN)	H_i (m)	m_i (kNs²/m)
6	2263.992	2263.992	21	230.7840979
5	5427.985	3163.993	17.5	322.5273191
4	8591.977	3163.992	14	322.5272171
3	11755.97	3163.993	10.5	322.5273191
2	14919.962	3163.992	7	322.5272171
1	18083.954	3163.992	3.5	322.5272171
	Toplam	18083.954		1843.420387

Binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), V_t

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10A_oIW \quad (4.2)$$

bağıntısı ile belirlenmiştir.

$$V_{tx} = 6180.581263 \text{ kN} \geq 614.8544 \text{ kN}$$

$$V_{ty} = 6391.783887 \text{ kN} \geq 614.8544 \text{ kN}$$

Toplam eşdeğer deprem yükü V_t , bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (4.3)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Binanın N 'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N 'nin değeri $\Delta F_N = 0.0075NV_t$ ifadesiyle hesaplanmıştır.

$$\Delta F_{nx} = 278.1261568 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{ny} = 287.6302749 \text{ kN}$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında kalan kısmı, N 'inci kat dahil olmak üzere

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (4.4)$$

ifadesi ile katlara dağıtılmıştır (Tablo 4.13).

Tablo 4.13 : Toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması.

KAT	$w_i * H_i$	$\frac{w_i * H_i}{\sum (w_j * H_j)}$	$V_{tx} - \Delta F_{nx}$	$V_{ty} - \Delta F_{ny}$	$F_x \text{ (kN)}$	$F_y \text{ (kN)}$
6	47543.83	0.22252781	5902.455	6104.154	1313.46041	1358.344
5	55369.88	0.259157435	5902.455	6104.154	1529.66513	1581.937
4	44295.89	0.207325883	5902.455	6104.154	1223.73171	1265.549
3	33221.93	0.155494461	5902.455	6104.154	917.799075	949.1621
2	22147.94	0.103662941	5902.455	6104.154	611.865857	632.7745
1	11073.97	0.051831471	5902.455	6104.154	305.932928	316.3873
Toplam	213653.4	1			5902.45511	6104.154

Deprem hesabının ardından kolon ve kiriş uçlarında olası plastik mafsalları kesitleri tanımlanır. Ardından doğrusal olmayan analiz hesabına geçilir.

4.3.3 X-X yönü analizi

Taşıyıcı sistem modelinin X-X yönü doğrusal olmayan analizinin başlangıç adımı olarak bu yöndeki birinci doğal titreşim periyodu $T_1=1.5307s$ olan bu moda ilişkin etkin kütle oranı 0.79 olarak hesaplanmıştır. Bu şekilde yöntemin uygulanabilme koşullarından, etkin kütle oranının en az 0.70 olması koşulu sağlanmaktadır. X doğrultusunda birinci moda ait etkin kütle (M_{x1}) ve etkin kütle oranı,

$$M_{x1} = \frac{\left(\sum_{i=1}^6 m_i * \Phi_i \right)^2}{\sum_{i=1}^6 m_i * \Phi_i^2} = \frac{38.197^2}{0.9997} = 1459.354 \text{ kNs}^2/\text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{Etkin Kütle Oranı} &= M_{x1} / \sum m_i \\ &= 1459.354 / 1843.419 = 0.79 > 0.70 \end{aligned}$$

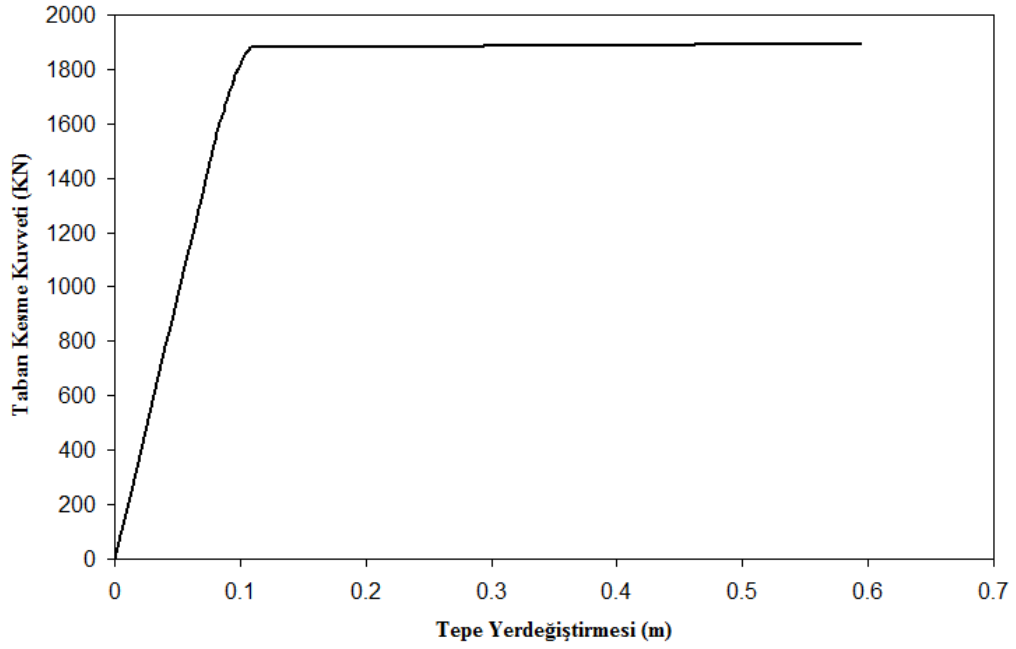
olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.14 : X-X yönünde birinci moda ait mod şekilleri ve katkı çarpanı hesabı.

KAT	Φ_i (m)	m_i (kNs ² /m)	$m_i * \Phi_i$ (kNs ²)	$m_i * \Phi_i^2$ (kNs ² m)
6	0.0354	230.784	8.169754	0.289209
5	0.032	322.527	10.32086	0.330268
4	0.0257	322.527	8.288944	0.213026
3	0.019	322.527	6.128013	0.116432
2	0.0116	322.527	3.741313	0.043399
1	0.0048	322.527	1.54813	0.007431
	Toplam	1843.419	38.19702	0.999765

Birinci moda ait katkı çarpanı aşağıdaki ifadeye göre hesaplanmıştır (Tablo 4.14).

$$\Gamma_{x1} = \frac{\sum_{i=1}^6 m_i * \Phi_{i1}}{\sum_{i=1}^6 m_i * \Phi_{i1}^2} = \frac{38.197}{0.9997} = 38.205 \text{ 1/m}$$



Şekil 4.9 : X-X yönünde taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrisi

Analiz sonucunda bulunan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrisi (Şekil 4.9), koordinatları modal yerdeğiştirme-modal ivme olan modal kapasite diyagramına dönüştürölür. Bu dönüşüm için kullanılan bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{xi}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (4.5)$$

$$d_1^{(i)} = \frac{U_{xNi}^{(i)}}{\Phi_{xN1} * \Gamma_{x1}} \quad (4.6)$$

Verilen bağıntılar kullanılarak yapılan hesabın sonuçları tablo halinde sunulmuştur (Tablo 4.15).

Tablo 4.15 : X-X yönünde modal kapasite eğrisinin hesaplanma tablosu.

ADIM	$V_{xi}^{(i)}$ (kN)	$U_{xN1}^{(i)}$ (m)	$a_1^{(i)}$ (m/s ²)	$d_1^{(i)}$ (m)	$a_1^{(i)}$ /g
0	0	0	0	0	0
1	1394.6124	0.0724	0.955636	0.053531	0.097415
2	1457.3698	0.07571	0.99864	0.055978	0.101798
3	1459.9456	0.07585	1.000405	0.056082	0.101978
4	1459.9527	0.07585	1.00041	0.056082	0.101979
5	1536.5647	0.08012	1.052907	0.059239	0.10733
6	1536.8313	0.08013	1.05309	0.059246	0.107349
7	1595.796	0.0836	1.093494	0.061812	0.111467
8	1595.9145	0.08361	1.093575	0.061819	0.111476
9	1614.0321	0.08471	1.10599	0.062633	0.112741
10	1623.6056	0.0853	1.11255	0.063069	0.11341
11	1623.6503	0.08531	1.112581	0.063076	0.113413
12	1626.3723	0.08548	1.114446	0.063202	0.113603
13	1641.031	0.08641	1.124491	0.063889	0.114627
14	1660.6425	0.08768	1.137929	0.064828	0.115997
15	1660.7557	0.08769	1.138007	0.064836	0.116005
16	1667.5637	0.08815	1.142672	0.065176	0.11648
17	1667.5713	0.08815	1.142677	0.065176	0.116481
18	1696.0759	0.09018	1.16221	0.066677	0.118472
19	1696.4164	0.0902	1.162443	0.066692	0.118496
20	1736.242	0.0931	1.189733	0.068836	0.121278
21	1755.8386	0.09456	1.203161	0.069915	0.122646
22	1755.9131	0.09456	1.203212	0.069915	0.122652
23	1756.9405	0.09464	1.203916	0.069975	0.122723
24	1757.0177	0.09465	1.203969	0.069982	0.122729
25	1792.3858	0.09759	1.228204	0.072156	0.125199
26	1796.7552	0.09799	1.231198	0.072451	0.125504
27	1805.9635	0.09885	1.237508	0.073087	0.126148
28	1849.1558	0.10312	1.267105	0.076244	0.129165
29	1849.2192	0.10313	1.267149	0.076252	0.129169
30	1852.3097	0.10354	1.269266	0.076555	0.129385
31	1852.4034	0.10355	1.269331	0.076562	0.129391
32	1852.4486	0.10355	1.269361	0.076562	0.129395
33	1873.8928	0.10694	1.284056	0.079069	0.130893
34	1876.7918	0.1074	1.286042	0.079409	0.131095
35	1876.8885	0.10742	1.286109	0.079424	0.131102
36	1879.3583	0.10781	1.287801	0.079712	0.131274
37	1879.402	0.10782	1.287831	0.07972	0.131277
38	1879.8128	0.108	1.288112	0.079853	0.131306
39	1879.8239	0.10801	1.28812	0.07986	0.131307
40	1883.2229	0.22865	1.290449	0.169058	0.131544
41	1886.4556	0.34349	1.292664	0.253968	0.13177
42	1886.5362	0.34636	1.292719	0.25609	0.131776
43	1886.5479	0.34679	1.292727	0.256408	0.131777
44	1892.2867	0.57589	1.29666	0.425799	0.132177
45	1892.287	0.5759	1.29666	0.425807	0.132177
46	1892.6914	0.59411	1.296937	0.439271	0.132206
47	1892.703	0.59469	1.296945	0.4397	0.132206

Hesaplanan modal kapasite diyagramı ile zemin sınıfına ait ivme spektrumu eğrisi gözönüne alınarak modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır.

Modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{di1} 'e eşittir:

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (4.7)$$

S_{di1} önce birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} , buna bağlı olarak doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} ve spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} hesaplanarak bulunur.

T_1 birinci doğal titreşim periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B 'den daha uzun olması nedeniyle $C_{R1}=1$ alınır. Bu durumda

$$S_{de1}=S_{di1} \quad (4.8)$$

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

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} = S_{ae1} * \frac{T^2}{(2\pi)^2} \quad (4.9)$$

Tablo 4.16'da elastik spektrum eğrisinin hesabı verilmiştir. Hesaplama kullanılan ifadeler

$$S_{de1} = S_{ae1} * \frac{T^2}{(2\pi)^2}, \quad S_{ae1}=S(T)*A_o*I*g,$$

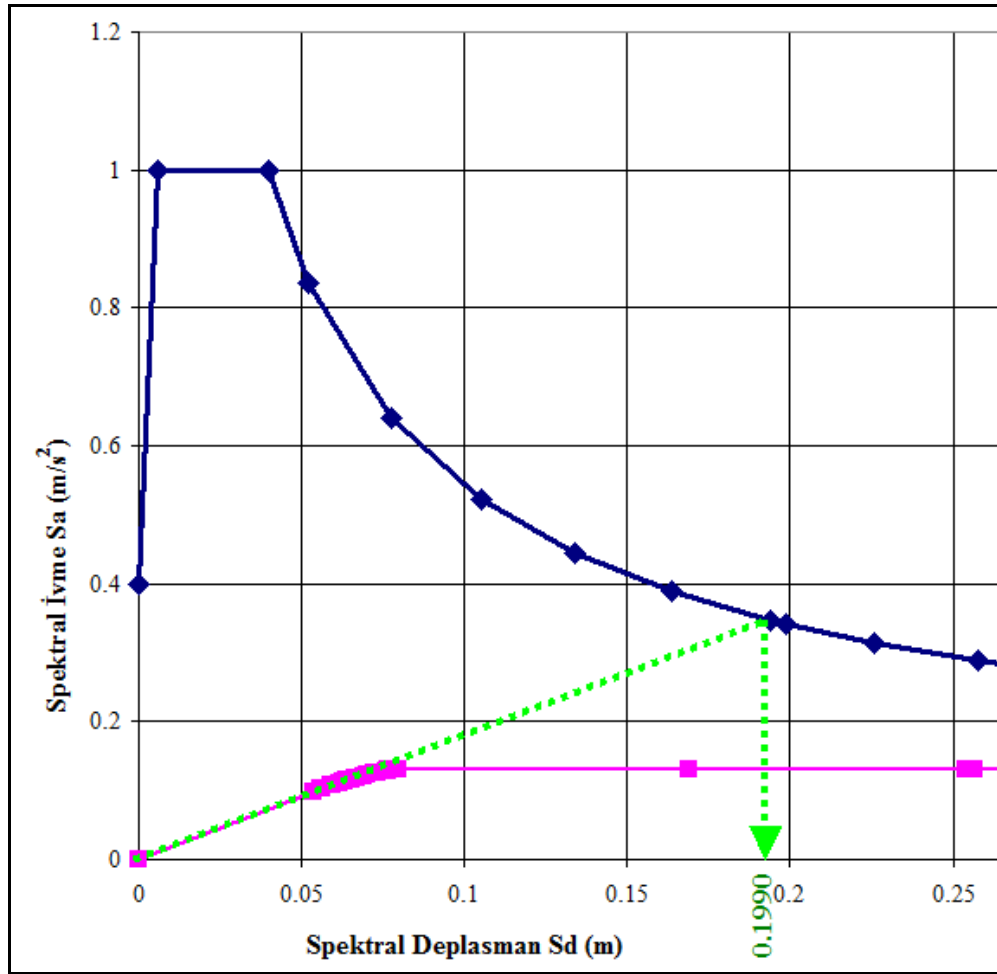
$$T>T_B \quad \Rightarrow \quad S(T)=2.5(T_B/T)^{0.8}$$

olarak tanımlanmıştır.

Tablo 4.16 : X-X doğrultusunda elastik spektrum eğrisinin hesaplanması.

T (s)	S(T)	S_{de1} (m)	S_{ae1} (m/s ²)	S_{ae1} /g
0	1.0000	0.0000	3.9240	0.4
0.15	2.5000	0.0056	9.8100	1
0.4	2.5000	0.0398	9.8100	1
0.5	2.0913	0.0520	8.2062	0.836512
0.7	1.5978	0.0778	6.2696	0.639101
0.9	1.3068	0.1052	5.1277	0.522702
1.1	1.1129	0.1339	4.3672	0.445178
1.3	0.9737	0.1636	3.8209	0.389487
1.5	0.8684	0.1942	3.4076	0.347356
1.5307	0.8544	0.1990	3.3528	0.341772
1.7	0.7856	0.2257	3.0829	0.31426

Modal yerdeğiştirmenin grafik olarak elde edilişi şekil 4.10'da gösterilmiştir.



şekil 4.10 : X-X yönünde modal kapasite eğrisi ile elastik spektrum eğrisinin keşiştirilerek modal yerdeğiştirmenin bulunması.

Birinci moda ait modal yerdeğiştirme $d_1^{(i)}$ 'nin hesabı Tablo 4.17'de özetlenmiştir.

Tablo 4.17 : X doğrultusunda birinci moda ait modal yer değiştirme isteminin (maksimum modal yerdeğiştirme) hesaplanması.

T_1 (s)	S_{ae1} (m/s^2)	S_{de1} (m)	C_{R1}	S_{di1} (m)	$d_1^{(i)}$ (m)
1.5307	3.3528	0.1990	1	0.1990	0.1990

Binanın tepesinde X deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme isteminin elde edilişi aşağıda hesaplanmıştır. Buna göre

$$\Phi_{x61} * \Gamma_{x1} = 0.0354 * 38.205 = 1.35249$$

$$U_{x6} = \Phi_{x61} * \Gamma_{x1} * d_1 = 1.35249 * 0.199 = 0.2691 \text{ m olarak bulunmuştur.}$$

4.3.4 Y-Y yönü analizi

X-X yönü analizinde izlenen aynı adımlar uygulanmıştır. Yapılan hesaplamaların sonuçları tablolar halinde verilmektedir (Tablo 4.18, Tablo 4.19).

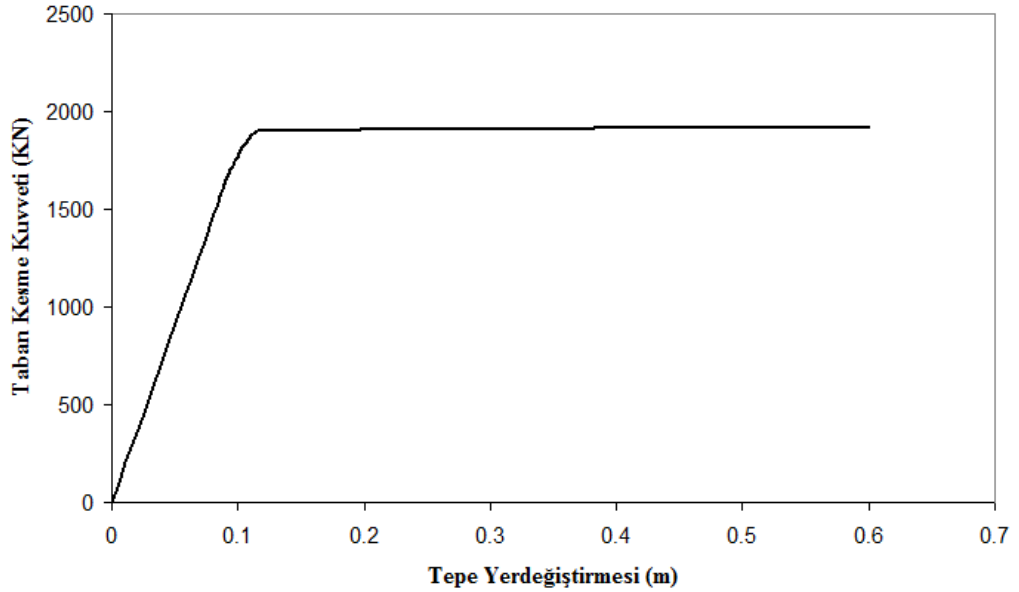
Tablo 4.18 : Y-Y yönünde birinci moda ait mod şekilleri ve katkı çarpanı hesabı.

KAT	Φ_i (m)	m_i (kNs ² /m)	$m_i*\Phi_i$ (kNs ²)	$m_i*\Phi_i^2$ (kNs ² m)
6	0.0364	230.784	8.400538	0.30578
5	0.0325	322.527	10.48213	0.340669
4	0.0252	322.527	8.12768	0.204818
3	0.0183	322.527	5.902244	0.108011
2	0.0106	322.527	3.418786	0.036239
1	0.004	322.527	1.290108	0.00516
Toplam		1843.419	37.62148	1.000677

Tablo 4.19 : Y-Y yönünde birinci moda ait etkin kütle, katkı çarpanı ve etkin kütle oranı.

M_{y1} (kNs/m)	Γ_{y1}	Etkin Kütle Oranı= $M_{y1}/\sum m_i$
1414.419	37.596	0.76>0.70

Y-Y doğrultusu için hesaplanan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrisi Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 : Y-Y yönünde taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrisi

Statik itme eğrisinin (Şekil 4.11) modal kapasite diyagramına dönüşümü için

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{yi}^{(i)}}{M_{y1}} \quad (4.10)$$

$$d_1^{(i)} = \frac{U_{yNi}^{(i)}}{\Phi_{yN1} * \Gamma_{y1}} \quad (4.11)$$

bağıntıları kullanılarak Tablo 4.20'deki veriler hesaplanmıştır.

Tablo 4.20 : Y-Y yönünde modal kapasite eğrisinin hesaplanma tablosu.

ADIM	V _{xi} ⁽ⁱ⁾ (KN)	U _{xN1} ⁽ⁱ⁾ (m)	a ₁ ⁽ⁱ⁾ (m/s ²)	d ₁ ⁽ⁱ⁾ (m)	a ₁ ⁽ⁱ⁾ /g
0	0	0	0	0	0
1	1531.0843	0.084	1.082483	0.061381	0.110345
2	1549.5642	0.08502	1.095548	0.062127	0.111677
3	1570.1632	0.08618	1.110112	0.062974	0.113161
4	1576.7464	0.08655	1.114766	0.063245	0.113636
5	1601.7055	0.08798	1.132413	0.06429	0.115435
6	1613.1469	0.08864	1.140502	0.064772	0.116259
7	1619.8357	0.08903	1.145231	0.065057	0.116741
8	1619.887	0.08903	1.145267	0.065057	0.116745
9	1636.6139	0.09002	1.157093	0.06578	0.11795
10	1640.036	0.09023	1.159512	0.065934	0.118197
11	1640.0627	0.09023	1.159531	0.065934	0.118199
12	1645.2082	0.09054	1.163169	0.06616	0.11857
13	1654.4881	0.0911	1.16973	0.066569	0.119239
14	1654.7998	0.09112	1.169951	0.066584	0.119261
15	1661.238	0.09152	1.174502	0.066876	0.119725
16	1664.0789	0.0917	1.176511	0.067008	0.11993
17	1667.508	0.09192	1.178935	0.067169	0.120177
18	1675.0831	0.0924	1.184291	0.067519	0.120723
19	1678.2847	0.09261	1.186554	0.067673	0.120954
20	1678.2883	0.09261	1.186557	0.067673	0.120954
21	1680.9483	0.09279	1.188438	0.067804	0.121146
22	1681.4934	0.09283	1.188823	0.067834	0.121185
23	1683.347	0.09296	1.190133	0.067929	0.121318
24	1683.5634	0.09298	1.190286	0.067943	0.121334
25	1687.5455	0.09327	1.193102	0.068155	0.121621
26	1695.7596	0.09388	1.198909	0.068601	0.122213
27	1700.0259	0.0942	1.201926	0.068835	0.12252
28	1700.2232	0.09422	1.202065	0.068849	0.122535
29	1707.569	0.09478	1.207259	0.069259	0.123064
30	1707.6816	0.09478	1.207338	0.069259	0.123072
31	1742.8668	0.09753	1.232214	0.071268	0.125608
32	1754.7066	0.09847	1.240585	0.071955	0.126461
33	1757.2622	0.09867	1.242392	0.072101	0.126645
34	1758.8289	0.0988	1.2435	0.072196	0.126758
35	1762.1845	0.09908	1.245872	0.072401	0.127
36	1780.9034	0.10064	1.259106	0.073541	0.128349
37	1781.0095	0.10065	1.259181	0.073548	0.128357
38	1785.4005	0.10102	1.262286	0.073818	0.128673
39	1785.4514	0.10103	1.262322	0.073826	0.128677
40	1788.8877	0.10133	1.264751	0.074045	0.128925

Tablo 4.20 : (devam)Y-Y yönünde modal kapasite eğrisinin hesaplanma tablosu.

ADIM	$V_{xi}^{(i)}$ (KN)	$U_{xN1}^{(i)}$ (m)	$a_1^{(i)}$ (m/s ²)	$d_1^{(i)}$ (m)	$a_1^{(i)}/g$
41	1789.2572	0.10136	1.265012	0.074067	0.128951
42	1789.4686	0.10138	1.265162	0.074081	0.128967
43	1790.9673	0.10152	1.266222	0.074184	0.129075
44	1791.9319	0.10161	1.266903	0.074249	0.129144
45	1793.4194	0.10176	1.267955	0.074359	0.129251
46	1795.762	0.10198	1.269611	0.07452	0.12942
47	1803.7014	0.10276	1.275225	0.07509	0.129992
48	1806.4354	0.10303	1.277158	0.075287	0.130189
49	1806.5694	0.10304	1.277252	0.075294	0.130199
50	1809.0542	0.10329	1.279009	0.075477	0.130378
51	1809.1505	0.1033	1.279077	0.075484	0.130385
52	1824.5456	0.10486	1.289962	0.076624	0.131495
53	1824.6442	0.10487	1.290031	0.076632	0.131502
54	1824.6813	0.10487	1.290057	0.076632	0.131504
55	1828.015	0.10522	1.292414	0.076887	0.131745
56	1828.0794	0.10523	1.29246	0.076895	0.131749
57	1832.0804	0.10566	1.295289	0.077209	0.132038
58	1833.0766	0.10577	1.295993	0.077289	0.132109
59	1834.2382	0.1059	1.296814	0.077384	0.132193
60	1840.0841	0.10656	1.300947	0.077867	0.132614
61	1856.1655	0.10842	1.312317	0.079226	0.133773
62	1856.2095	0.10843	1.312348	0.079233	0.133777
63	1857.1474	0.10854	1.313011	0.079313	0.133844
64	1857.1682	0.10854	1.313026	0.079313	0.133846
65	1860.2139	0.10894	1.315179	0.079606	0.134065
66	1863.4332	0.10936	1.317455	0.079913	0.134297
67	1866.5403	0.10976	1.319652	0.080205	0.134521
68	1871.8854	0.11047	1.323431	0.080724	0.134906
69	1875.61	0.11097	1.326064	0.081089	0.135175
70	1875.621	0.11097	1.326072	0.081089	0.135176
71	1878.4662	0.11137	1.328084	0.081381	0.135381
72	1878.5653	0.11138	1.328154	0.081389	0.135388
73	1878.9864	0.11145	1.328451	0.08144	0.135418
74	1879.0332	0.11145	1.328484	0.08144	0.135421
75	1881.3211	0.11181	1.330102	0.081703	0.135586
76	1881.3336	0.11181	1.330111	0.081703	0.135587
77	1883.7519	0.11219	1.331821	0.081981	0.135762
78	1883.7588	0.11219	1.331825	0.081981	0.135762
79	1884.0292	0.11224	1.332017	0.082017	0.135782
80	1884.0319	0.11224	1.332019	0.082017	0.135782
81	1885.8104	0.11258	1.333276	0.082266	0.13591
82	1885.8325	0.11258	1.333292	0.082266	0.135911
83	1886.6167	0.11273	1.333846	0.082375	0.135968
84	1886.6188	0.11273	1.333848	0.082375	0.135968
85	1889.8416	0.11345	1.336126	0.082901	0.1362
86	1890.3767	0.11358	1.336504	0.082996	0.136239
87	1896.0326	0.11504	1.340503	0.084063	0.136647
88	1896.0491	0.11505	1.340515	0.08407	0.136648

Tablo 4.20 : (devam)Y-Y yönünde modal kapasite eğrisinin hesaplanma tablosu.

ADIM	$V_{xi}^{(i)}$ (KN)	$U_{xN1}^{(i)}$ (m)	$a_1^{(i)}$ (m/s ²)	$d_1^{(i)}$ (m)	$a_1^{(i)}/g$
89	1896.2264	0.1151	1.34064	0.084107	0.136661
90	1896.8569	0.11527	1.341086	0.084231	0.136706
91	1899.1261	0.11595	1.34269	0.084728	0.13687
92	1901.127	0.11657	1.344105	0.085181	0.137014
93	1901.2663	0.11662	1.344203	0.085218	0.137024
94	1902.8327	0.11751	1.345311	0.085868	0.137137
95	1902.8544	0.11753	1.345326	0.085883	0.137138
96	1902.8937	0.11846	1.345354	0.086562	0.137141
97	1902.8947	0.11848	1.345355	0.086577	0.137141
98	1903.9133	0.14311	1.346075	0.104575	0.137215
99	1905.0492	0.17067	1.346878	0.124714	0.137296
100	1905.0524	0.17075	1.34688	0.124772	0.137297
101	1907.2308	0.22374	1.34842	0.163493	0.137454
102	1907.2998	0.22544	1.348469	0.164736	0.137459
103	1907.7941	0.23778	1.348819	0.173753	0.137494
104	1907.7951	0.23781	1.348819	0.173775	0.137494
105	1908.3624	0.25313	1.34922	0.18497	0.137535
106	1908.4524	0.25558	1.349284	0.18676	0.137542
107	1908.494	0.25673	1.349313	0.1876	0.137545
108	1908.5187	0.25741	1.349331	0.188097	0.137546
109	1908.8129	0.26555	1.349539	0.194045	0.137568
110	1908.8967	0.26787	1.349598	0.19574	0.137574
111	1911.0625	0.32794	1.351129	0.239635	0.13773
112	1912.7432	0.37456	1.352318	0.273702	0.137851
113	1913.1912	0.38707	1.352634	0.282843	0.137883
114	1913.1912	0.38707	1.352634	0.282843	0.137883
115	1919.3154	0.56901	1.356964	0.415792	0.138325
116	1919.4186	0.57208	1.357037	0.418036	0.138332
117	1919.4482	0.57297	1.357058	0.418686	0.138334
118	1919.461	0.57335	1.357067	0.418964	0.138335
119	1920.3522	0.60001	1.357697	0.438445	0.138399

Y-Y doğrultusu için $T_1 > T_B \Rightarrow C_{R1}=1$ olduğundan $S_{de1}=S_{di1}$ bulunur. Tablo 4.21’de elastik spektrum eğrisinin hesabı verilmiştir. Hesaplama kullanılan ifadeler

$$S_{de1} = S_{ae1} * \frac{T^2}{(2\pi)^2}, \quad S_{ae1} = S(T) * A_o * I * g,$$

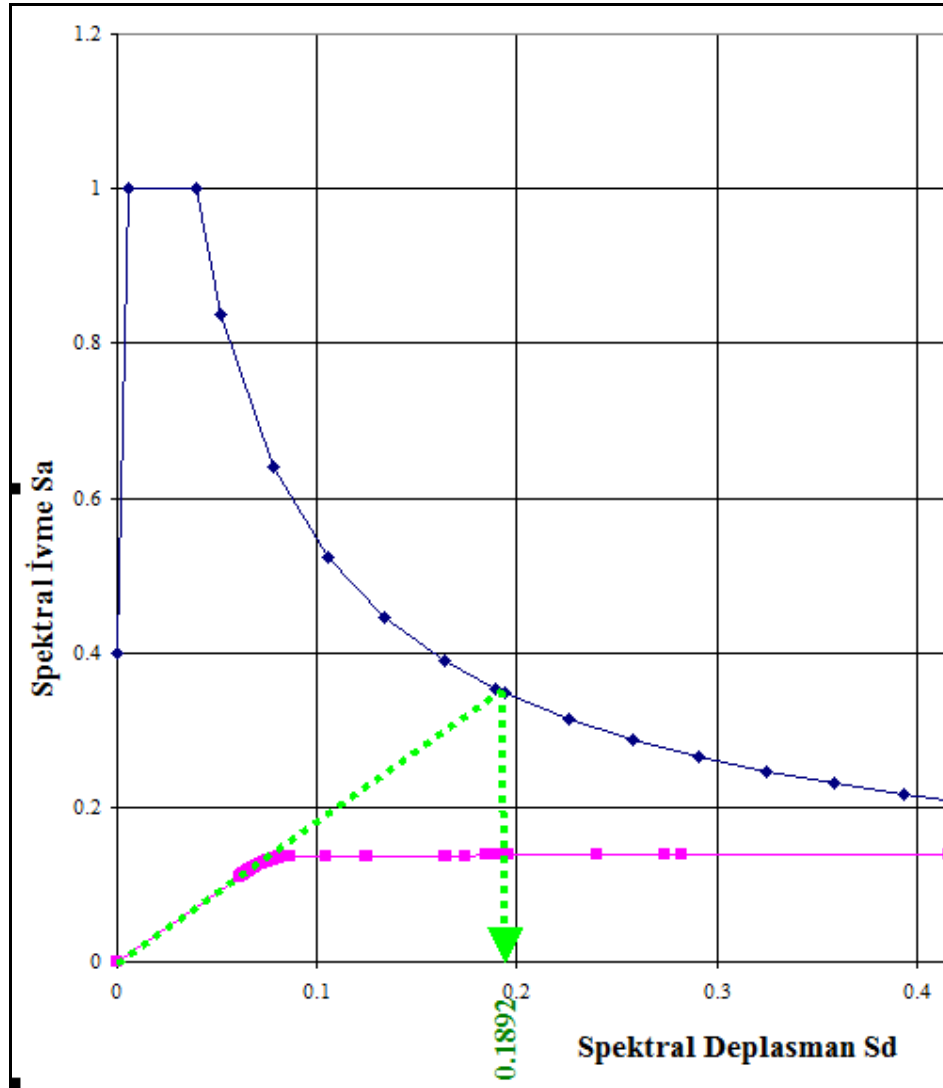
$$T > T_B \quad \Rightarrow \quad S(T) = 2.5(T_B/T)^{0.8}$$

olarak tanımlanmıştır.

Tablo 4.21 : Y-Y doğrultusunda elastik spektrum eğrisinin hesaplanması.

T (s)	S(T)	S_{del} (m)	S_{ael} (m/s ²)	S_{ael} /g
0	1.0000	0.0000	3.9240	0.4
0.15	2.5000	0.0056	9.8100	1
0.4	2.5000	0.0398	9.8100	1
0.5	2.0913	0.0520	8.2062	0.836512
0.7	1.5978	0.0778	6.2696	0.639101
0.9	1.3068	0.1052	5.1277	0.522702
1.1	1.1129	0.1339	4.3672	0.445178
1.3	0.9737	0.1636	3.8209	0.389487
1.46774	0.8836	0.1892	3.4674	0.353451
1.5	0.8684	0.1942	3.4076	0.347356

Modal yerdeğiştirmenin grafik olarak elde edilişi şekil 4.12’de gösterilmiştir.



şekil 4.12 : X-X yőnőnde modal kapasite eğrisi ile elastik spektrum eğrisinin keşiştirilerek modal yerdeğiştirmenin bulunması.

Birinci moda ait modal yerdeğiştirme $d_1^{(i)}$,nin hesabı Tablo 4.22’de özetlenmiştir.

Tablo 4.22 : Y doğruıtusunda birinci moda ait modal yer değiştirme isteminin (maksimum modal yerdeğiştirme) hesaplanması.

T_1 (s)	S_{ae1} (m/s ²)	S_{de1} (m)	C_{R1}	S_{di1} (m)	$d_1^{(i)}$ (m)
1.46774	3.4674	0.1892	1	0.1892	0.1892

Binanın tepesinde Y deprem doğruıtusunda tepe yerdeğiştirme isteminin elde edilişi aşağıda hesaplanmıştır. Buna göre

$$\Phi_{y61} * \Gamma_{y1} = 0.0364 * 37.596 = 1.368496$$

$$U_{y6} = \Phi_{y61} * \Gamma_{y1} * d_1 = 1.368496 * 0.1892 = 0.2589 \text{ m}$$

orarak bulunmuştur.

Yapı sistemi X yönünde 0.2691m, Y yönünde 0.2589m yatay yerdeğiştirme istemine kadar itilir. İtme sonucunda sistemde plastik mafsallar oluşur.

4.4 Kolon Ve Kirişlerin Numaralandırılması

Taşıyıcı sistem modelinin doğruısal olmayan analizinden elde edilen hesapların anlaşılır olması için sistemde, eleman uçları, kolon ve kirişler numaralandırılmıştır. Buna göre eklerde şekil A.1 eleman uçlarını, şekil A.2 kirişleri ve şekil A.3 kolonları göstermektedir.

4.5 Analiz Sonuçları

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

$$\chi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (4.12)$$

Fortran tabanlı BEKE bilgisayar programıyla yapılan hesaplama sonucunda kritik kesitlerde minimum hasar sınırı (MN), güvenlik sınırı (GV) ve göçme sınırı (GÇ) için plastik dönme ve akma eğriliği sonuçları elde edilmiştir. Kritik kesitler için bulunan plastik eğrilik istemiyle, MN, GV ve GÇ sınırları için bulunan akma eğriliğinin toplamı toplam eğriliği verecektir.

$$\chi_t = \chi_y + \chi_p \quad (4.13)$$

Bütün bu hesaplamalar tablolarda verilmiştir (Eklerde Tablo B.1, Tablo B.2, Tablo B.3, Tablo B.4).

İtme analizi sonunda oluşan plastik mafsallarda bulunan kritik kesitler için hesaplanan plastik dönmeler, MN, GV ve GÇ sınırlarındaki plastik dönmeler ile karşılaştırılarak sünek davranışa ilişkin kesit hasar bölgeleri belirlenir. Bulunan sonuçlar tablolarda gösterilmiştir (Eklerde Tablo B.5, Tablo B.6, Tablo B.7, Tablo B.8).

4.6 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sayısal inceleme 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne (ABYYHY'75) göre boyutlandırılmış altı katlı bir uzay çerçeve betonarme taşıyıcı sistem modeliyle gerçekleştirilmiştir. Modelin deprem etkisi altında davranışı doğrusal olmayan teori çerçevesinde incelenmiştir. Deprem performansının belirlenmesi için yapılan hesaplamalarda performans noktası ve plastik mafsalların dönme değerleri 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre elde edilmiştir. Sonuçta elde edilen plastik şekildeğiştirmelerin değerlendirilip kesit ve eleman hasar bölgelerinin belirlenmesi için de 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen esaslara göre gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Y-Y doğrultusu için kolonlarda 14 kesit ileri hasar bölgesinde yer alırken, 16 kesitin göçme bölgesinde olduğu hesaplanmıştır. Bütün bu kesitler taşıyıcı sistem modelinin beşinci katında çıkmıştır. X-X doğrultusu için ise kolon kesitlerinin toplamda 46'sı minimum hasar bölgesinde yer alırken, 3'ünün belirgin hasar bölgesinde, 30 kesitin de göçme bölgesinde olduğu saptanmıştır. Göçme bölgesinde çıkan kesitlerin tümü taşıyıcı sistemin üçüncü katında ortaya çıkmıştır. Yapıdaki kiriş kesitlerinin ise her iki doğrultuda da minimum hasar bölgesinde olduğu yapılan hesaplarla elde edilmiştir.
2. Hesapla bulunmuş sonuçlar doğrultusunda 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan bina deprem performans düzeylerine göre kiriş kesitleri açısından bir sorun bulunmamasına rağmen, kolonlarda X-X yönünde üçüncü katta, Y-Y yönünde beşinci katta çok sayıda kesitte ortaya çıkan göçme durumu nedeniyle

bina göçme öncesi performans düzeyini sağlayamadığı için yapının göçme durumunda olduğu sonucuna varılmıştır.

5. SONUÇLAR

Ülkemizde ve dünyada gerçekleşen yıkıcı ve yüksek can kayıplarına neden olan depremlere karşı performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesiyle beraber bu yeni yöntemler DBYBHY'07 içerisinde de yer almıştır. Bu doğrultuda yapılan çalışma içerisinde, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre hesaplanan TSM için bulunan sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda verilmektedir.

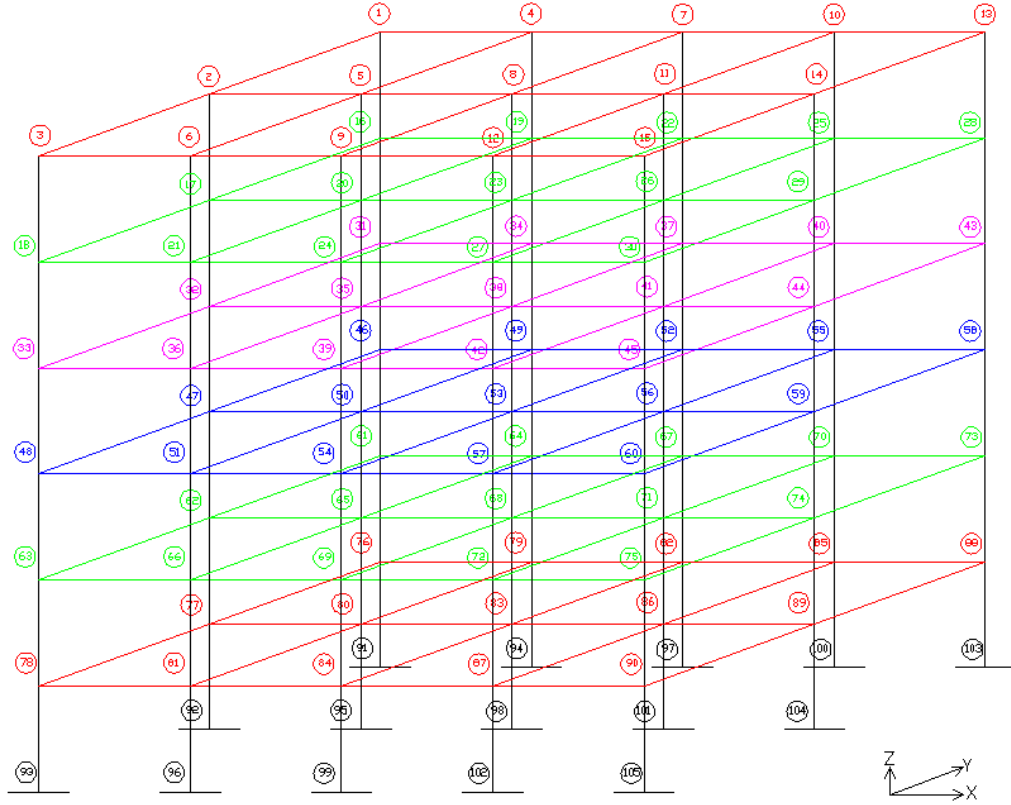
1. 1975 Türk Deprem Yönetmeliğı'ne (ABYYHY'75) göre tasarımı yapılmış taşıyıcı sistem modeli (TSM), 2007 Türk Deprem Yönetmeliğı'nin 7. bölümü olan Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi esaslarına göre analiz edilmiş ve sonuçta göçme durumunda olduğı saptanmıştır. Bunun sonucu olarak yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin gerçekçi olarak belirlenebilmesi için, tasarım depremi altında yapıların performans noktaları ve seviyelerinin tespit edilmesinin gerekliliğı anlaşılr.
2. TSM, 1975 Türk Deprem Yönetmeliğı'ne uygun hesaplanmış bir sistem olmasına rağmen, hesaplamalar sonucunda özellikle bazı katlarda çok sayıda kolon kesitinin göçme bölgesinde bulunduğı görülmüştür. Bu nedenle göçme durumunda olduğı belirlenen bu yapı sisteminin, ülkemizde mevcut bulunan 5-6 katlı ve 1975 Türk Deprem Yönetmeliğı'ne göre boyutlandırılmış betonarme yapıları temsil etmesi durumunda, olası bir depremde bu yapılarda 2007 Türk Deprem Yönetmeliğı'nin öngördüğü deprem güvenlik seviyesinin sağlanamadığı sonucu çıkarılabilir.

KAYNAKLAR

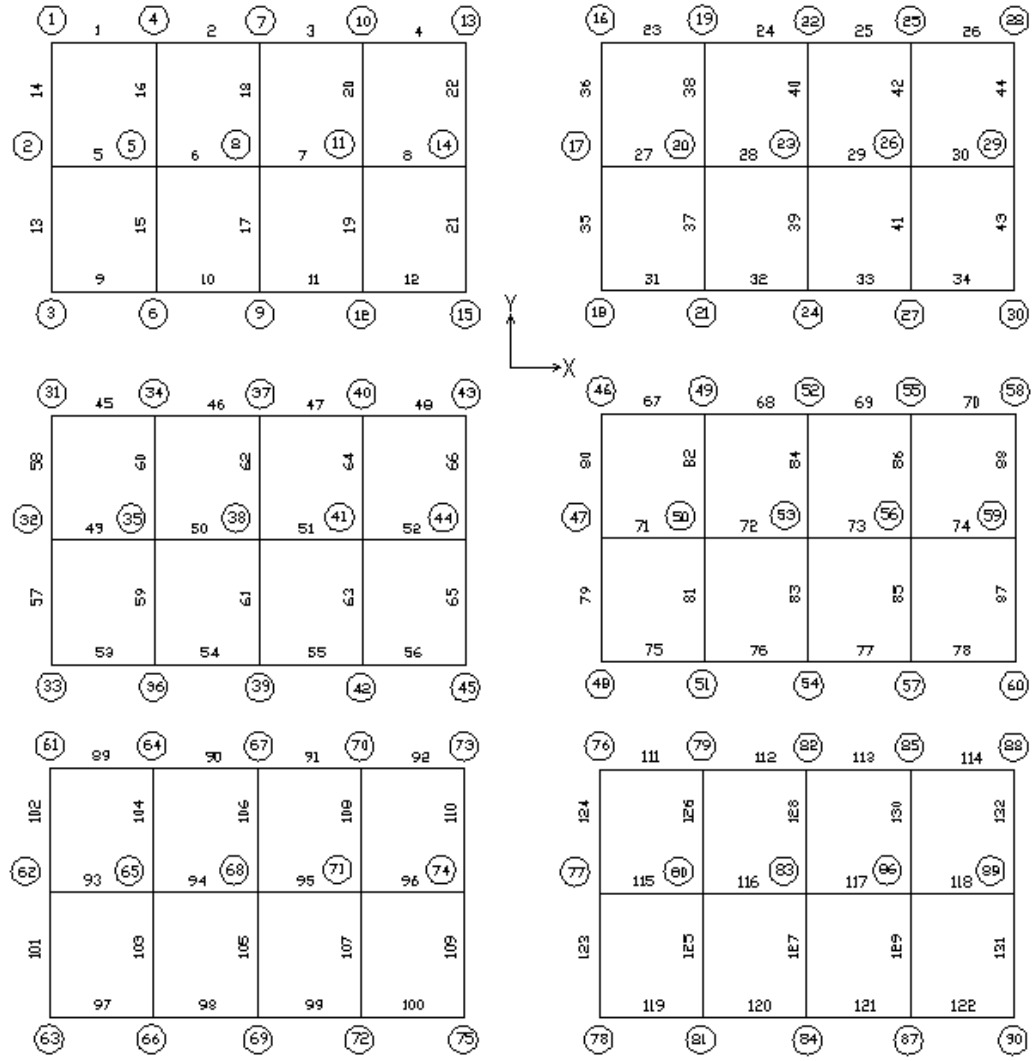
- [1] **ABYYHY**, 1975. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (TDY-75), *İmar ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [2] **DBYBHY**, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (TDY-07), *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [3] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [4] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [5] **FEMA-356**, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Manegement Agency*, Washington.
- [6] **FEMA-440**, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Manegement Agency*, Washington.
- [7] **European Comitee for Standardization**, 2004. Design of Structures for Earthquake Resistance-Assessment and Retrofitting of Buildings, Eurocode 8-3.
- [8] **Özer, E.**, 2007. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.ins.itu.edu.tr/eozar, İstanbul.
- [9] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt I, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [10] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt II, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [11] **Çakıroğlu, A. & Özer, E.**, 1980. Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İTÜ Kütüphanesi, İstanbul.
- [12] **Çakıroğlu, A., Özer, E., Girgin, K.**, 1999. Yield Conditions and Yield Vector for Combined Biaxial Bending of Rectangular Reinforced Concrete Sections, Uğur Ersoy Symposium in Structural Engineering, 121-135, Ankara, 1-2 July 1999.
- [13] **Celep, Z.**, 2007. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Deprem Yönetmeliği (2007) Kavramları, Beta Dağıtım, 101-105, İstanbul.
- [14] **Girgin, K.**, 1996. Betonarme yapı sistemlerinde ikinci mertebe limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi için bir yük artımı yöntemi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EKLER

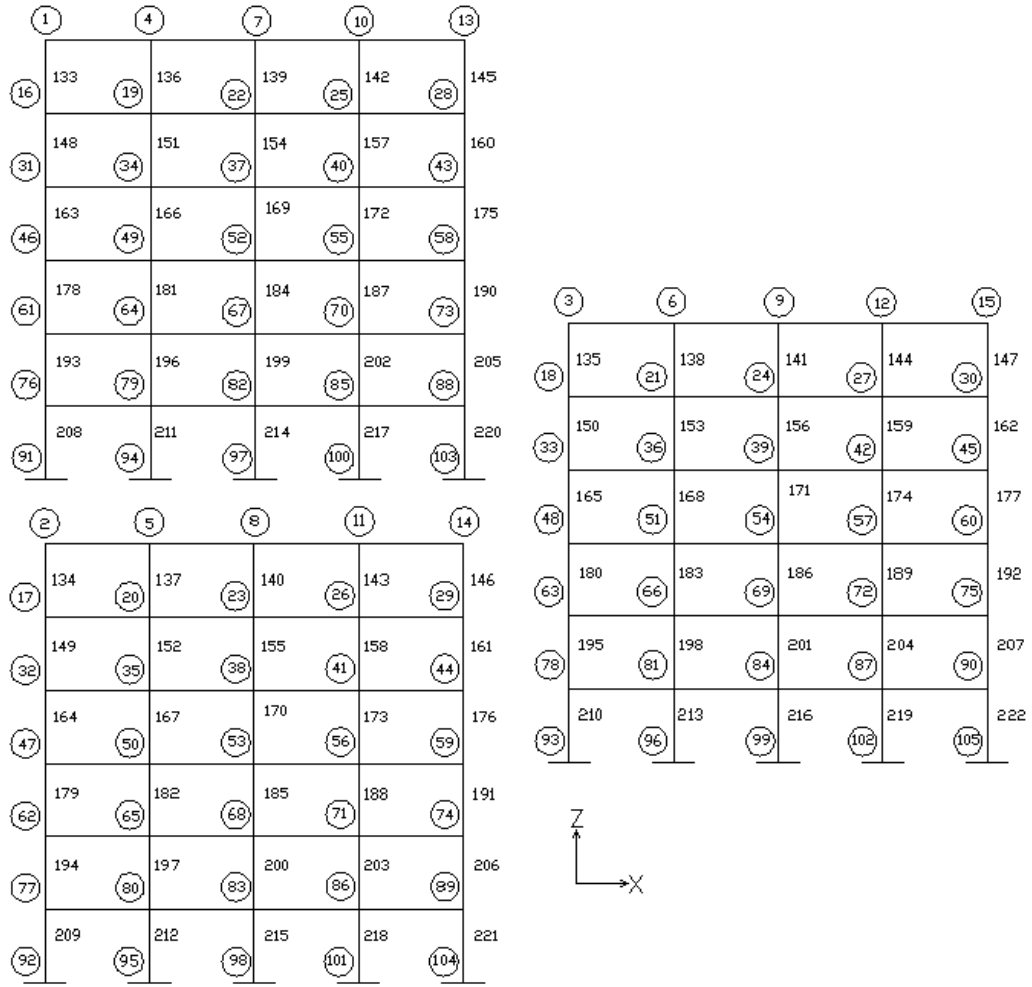
EK A: Kolon ve kirişlerin numaralandırılması.



Şekil A.1 : Eleman uçları (i-j) numaralandırılması.



Şekil A.2 : Kirişlerin numaralandırılması



Şekil A.3 : Kolonların numaralandırılması

EK B: Sonuç tabloları.

Tablo B.1 : Taşıyıcı sistem modelinde kolonlar için X doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.

Kolon No	Eleman Uçları		Yer (m)	N(KN)	θ_p (rad)	L_p (m)	χ_p (1/m)	MN		GV		GÇ		MN	GV	GÇ
								θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)
	i	j		Normal Kuvvet	Plastik Dönme	Plastik Mafsallık Boyu	Plastik Eğrilik	Plastik Dönme	Akma Eğrilik	Plastik Dönme	Akma Eğrilik	Plastik Dönme	Akma Eğrilik	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik
155	23	38	0.000	-603.88	0.0025012	0.15	0.0166747	0.002398	0.011989	0.017221	0.086107	0.023253	0.116264	0.0286637	0.1027817	0.1329387
152	20	35	0.000	-636.22	0.0025599	0.15	0.017066	0.002275	0.011374	0.016393	0.081966	0.022149	0.110747	0.02844	0.099032	0.127813
158	26	41	0.000	-609.33	0.0025877	0.15	0.0172513	0.002376	0.011882	0.017075	0.085374	0.023059	0.115294	0.0291333	0.1026253	0.1325453
185	53	68	0.000	-1259.85	0.0452918	0.15	0.3019453	0.001676	0.005588	0.011095	0.036985	0.01471	0.049034	0.3075333	0.3389303	0.3509793
155	23	38	3.500	-604.01	0.0021021	0.15	0.014014	0.002397	0.011986	0.017218	0.086089	0.023248	0.116239	0.026	0.100103	0.130253
154	22	37	0.000	-325.58	0.0023329	0.15	0.0155527	0.005159	0.025793	0.026845	0.134227	0.041052	0.205259	0.0413457	0.1497797	0.2208117
156	24	39	0.000	-325.56	0.0023335	0.15	0.0155567	0.005159	0.025794	0.026845	0.134225	0.041051	0.205257	0.0413507	0.1497817	0.2208137
185	53	68	3.500	-1260.87	0.0449029	0.15	0.2993527	0.001675	0.005583	0.01109	0.036967	0.014704	0.049013	0.3049357	0.3363197	0.3483657
154	22	37	3.500	-325.67	0.0022373	0.15	0.0149153	0.005157	0.025786	0.026847	0.041054	0.205272	0.205272	0.0407013	0.0559693	0.2201873
156	24	39	3.500	-325.65	0.0022377	0.15	0.014918	0.005158	0.025788	0.026847	0.134234	0.041054	0.205269	0.040706	0.149152	0.220187
152	20	35	3.500	-638.43	0.0020009	0.15	0.0133393	0.002267	0.011334	0.016339	0.081693	0.022078	0.110391	0.0246733	0.0950323	0.1237303
217	85	100	3.500	-1060.46	0.0008521	0.3	0.0028403	0.002004	0.013362	0.012158	0.081056	0.016369	0.109129	0.0162023	0.0838963	0.1119693
219	87	102	3.500	-1060.49	0.0008517	0.3	0.002839	0.002004	0.013362	0.012158	0.081055	0.016369	0.109127	0.016201	0.083894	0.111966
158	26	41	3.500	-607.97	0.0020708	0.15	0.0138053	0.002382	0.011908	0.017112	0.08556	0.023108	0.115539	0.0257133	0.0993653	0.1293443
188	56	71	0.000	-1273.15	0.0448453	0.15	0.2989687	0.001657	0.005523	0.011027	0.036756	0.01463	0.048766	0.3044917	0.3357247	0.3477347
182	50	65	0.000	-1348.03	0.0444705	0.15	0.29647	0.001554	0.005181	0.010651	0.035504	0.014186	0.047286	0.301651	0.331974	0.343756
159	27	42	0.000	-309.4	0.0023149	0.2	0.0115745	0.004362	0.029079	0.02801	0.186736	0.041424	0.276158	0.0406535	0.1983105	0.2877325

Tablo B.1 : (devam)Taşıyıcı sitem modelinde kolonlar için X doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.

Kolon No	Eleman Uçları		Yer (m)	N(KN)	θ_p (rad)	L_p (m)	χ_p (1/m)	MN		GV		GÇ		MN	GV	GÇ
								θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)
	i	j		Normal Kuvvet	Plastik Dönme	Plastik Mafsall Boyu	Plastik Eğrilik	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik
157	25	40	0.000	-309.39	0.0023143	0.2	0.0115715	0.004362	0.029079	0.02801	0.186735	0.041425	0.276165	0.0406505	0.1983065	0.2877365
153	21	36	0.000	-353.1	0.0018637	0.2	0.0093185	0.003909	0.026057	0.027689	0.184595	0.037015	0.246764	0.0353755	0.1939135	0.2560825
151	19	34	0.000	-352.94	0.0018621	0.2	0.0093105	0.00391	0.026068	0.0277	0.184669	0.037029	0.246862	0.0353785	0.1939795	0.2561725
184	52	67	0.000	-734.8	0.0452809	0.15	0.3018727	0.002401	0.009606	0.015916	0.063664	0.021464	0.085855	0.3114787	0.3655367	0.3877277
186	54	69	0.000	-734.77	0.0452806	0.15	0.3018707	0.002401	0.009606	0.015917	0.063666	0.021464	0.085858	0.3114767	0.3655367	0.3877287
182	50	65	3.500	-1348.66	0.0446816	0.15	0.2978773	0.001554	0.005178	0.010648	0.035493	0.014182	0.047273	0.3030553	0.3333703	0.3451503
188	56	71	3.500	-1272.36	0.0447156	0.15	0.298104	0.001658	0.005527	0.011031	0.03677	0.014635	0.048782	0.303631	0.334874	0.346886
184	52	67	3.500	-734.84	0.0452274	0.15	0.301516	0.002401	0.009605	0.015915	0.063661	0.021463	0.08585	0.311121	0.365177	0.387366
186	54	69	3.500	-734.81	0.0452267	0.15	0.3015113	0.002401	0.009605	0.015916	0.063663	0.021463	0.085854	0.3111163	0.3651743	0.3873653
213	81	96	3.500	-1268.94	0.0006876	0.3	0.002292	0.00165	0.011	0.010977	0.073178	0.014558	0.097056	0.013292	0.07547	0.099348
211	79	94	3.500	-1268.21	0.0006867	0.3	0.002289	0.001651	0.011007	0.01098	0.073202	0.014563	0.097084	0.013296	0.075491	0.099373
161	29	44	0.000	-441.68	0.0015233	0.15	0.0101553	0.003439	0.017195	0.023275	0.116377	0.031208	0.156041	0.0273503	0.1265323	0.1661963
170	38	53	0.000	-933.53	0.0009908	0.15	0.0066053	0.002303	0.007676	0.013941	0.046469	0.018722	0.062405	0.0142813	0.0530743	0.0690103
159	27	42	3.500	-306.83	0.0012023	0.2	0.0060115	0.00439	0.029265	0.027957	0.186382	0.041713	0.278087	0.0352765	0.1923935	0.2840985
157	25	40	3.500	-306.81	0.0012016	0.2	0.006008	0.00439	0.029266	0.027957	0.186379	0.041715	0.278103	0.035274	0.192387	0.284111
153	21	36	3.500	-356.93	0.0007213	0.2	0.0036065	0.00387	0.025802	0.027425	0.182832	0.036669	0.24446	0.0294085	0.1864385	0.2480665
151	19	34	3.500	-356.76	0.0007187	0.2	0.0035935	0.003872	0.025813	0.0274360	0.18291	0.036684	0.244562	0.0294065	0.1865035	0.2481555

Tablo B.1 : (devam)Taşıyıcı sitem modelinde kolonlar için X doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.

							MN		GV		GÇ		MN	GV	GÇ	
				N(KN)	θ _p (rad)	L _p (m)	χ _p (1/m)	θ _p (rad)	χ _y (1/m)	θ _p (rad)	χ _y (1/m)	θ _p (rad)	χ _y (1/m)	χ _t (1/m)	χ _t (1/m)	χ _t (1/m)
Kolon No	Eleman Uçları		Yer (m)	Normal Kuvvet	Plastik Dönme	Plastik Mafsals Boyu	Plastik Eğrilik	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Plastik Dönme	Alana Eğriliği	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik
	i	j														
210	78	93	3.500	-243.99	0.0006155	0.2	0.0030775	0.005072	0.033815	0.026742	0.178283	0.040927	0.272844	0.0368925	0.1813605	0.2759215
208	76	91	3.500	-236.72	0.0006124	0.2	0.003062	0.005159	0.034391	0.026613	0.17742	0.040719	0.271459	0.037453	0.180482	0.274521
161	29	44	3.500	-443.34	0.0009330	0.15	0.00622	0.003421	0.017107	0.023191	0.115953	0.031102	0.155512	0.023327	0.122173	0.161732
170	38	53	3.500	-933.52	0.0008531	0.15	0.0056873	0.002303	0.007676	0.013941	0.046469	0.018722	0.062406	0.0133633	0.0521563	0.0680933
199	67	82	3.500	-943.42	0.0006769	0.15	0.0045127	0.002279	0.007569	0.013803	0.04601	0.018541	0.061802	0.0120817	0.0505227	0.0663147
201	69	84	3.500	-943.41	0.0006767	0.15	0.0045113	0.002279	0.007596	0.013803	0.04601	0.018541	0.061803	0.0121073	0.0505213	0.0663143
199	67	82	0.000	-943.43	0.0008848	0.15	0.0058987	0.002279	0.007596	0.013803	0.046009	0.01854	0.061802	0.0134947	0.0519077	0.0677007
201	69	84	0.000	-943.43	0.0008845	0.15	0.0058967	0.002279	0.007596	0.013803	0.046009	0.01845	0.061802	0.0134927	0.0519057	0.0676987
167	35	50	0.000	-1008.39	0.0009091	0.15	0.0060607	0.00213	0.0071	0.012961	0.043203	0.017428	0.058093	0.0131607	0.0492637	0.0641537
187	55	70	0.000	-665.17	0.0442132	0.25	0.1768528	0.002618	0.017454	0.01736	0.11573	0.023374	0.155826	0.1943068	0.2925828	0.3326788
189	57	72	0.000	-665.19	0.442125	0.25	0.17685	0.002618	0.017453	0.017359	0.115727	0.023373	0.155822	0.194303	0.292577	0.332672
173	41	56	0.000	-935.12	0.0009841	0.15	0.0065607	0.002299	0.007663	0.013919	0.046396	0.018692	0.062307	0.0142237	0.0529567	0.0688677
183	51	66	0.000	-819.56	0.0432762	0.25	0.1731048	0.002154	0.014361	0.01436	0.095731	0.019398	0.129321	0.1874658	0.2688358	0.3024258
181	49	64	0.000	-819.26	0.0432764	0.25	0.1731056	0.002155	0.014366	0.014364	0.095763	0.019404	0.129363	0.1874716	0.2688686	0.3024686
191	59	74	3.500	-1067.93	0.0439732	0.15	0.2931547	0.001679	0.006714	0.012369	0.049476	0.016492	0.065969	0.2998687	0.3426307	0.3591237
209	77	97	3.500	-903.68	0.0002194	0.15	0.0014627	0.00241	0.008032	0.01477	0.049232	0.019812	0.066042	0.0094947	0.0506947	0.0675047
187	55	70	3.500	-660.04	0.0434746	0.25	0.1738984	0.002636	0.017571	0.01748	0.116535	0.023533	0.156889	0.1914694	0.2904334	0.3307874

Tablo B.1 : (devam)Taşıyıcı sitem modelinde kolonlar için X doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.

Kolon No	Eleman Uçları		Yer (m)	N(KN)	θ_p (rad)	L_p (m)	χ_p (1/m)	MN		GV		GÇ		MN	GV	GÇ
								θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)
	i	j						Plastik Dönme	Akma Eğriligi	Plastik Dönme	Akma Eğriligi	Plastik Dönme	Akma Eğriligi	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik
189	57	72	3.500	-660.06	0.0434742	0.25	0.1738968	0.002636	0.0171571	0.01748	0.116531	0.023533	0.156885	0.1914678	0.2904278	0.3307818
183	51	66	3.500	-821.07	0.0434945	0.25	0.173978	0.00215	0.014335	0.14335	0.095568	0.019366	0.129105	0.188313	0.269546	0.303083
181	49	64	3.500	-820.77	0.0434935	0.25	0.173974	0.002151	0.01434	0.01434	0.095601	0.019372	0.129148	0.188314	0.269575	0.303122
169	37	52	0.000	-527.59	0.0006168	0.15	0.004112	0.003413	0.013652	0.021617	0.08647	0.028916	0.115662	0.017764	0.090582	0.119774
171	39	54	0.000	-527.53	0.0006167	0.15	0.0041113	0.003413	0.013653	0.02162	0.086479	0.028918	0.115674	0.0177643	0.0905903	0.1197853
171	39	54	3.500	-527.42	0.0006783	0.15	0.004522	0.003414	0.013656	0.021624	0.086495	0.028924	0.115695	0.018178	0.091017	0.120217
169	37	52	3.500	-527.48	0.0006780	0.15	0.00452	0.003414	0.013654	0.021622	0.086486	0.028921	0.115684	0.018174	0.091006	0.120204
190	58	73	0.000	-703.28	0.0433863	0.2	0.2169315	0.002029	0.013528	0.014624	0.097493	0.019795	0.131964	0.2304595	0.3144245	0.3488955
192	60	75	0.000	-703.29	0.0433858	0.2	0.216929	0.002029	0.013528	0.014624	0.097492	0.019794	0.131961	0.230457	0.314421	0.34889
162	30	45	0.000	-265.72	0.0003447	0.2	0.0017235	0.00482	0.032134	0.027159	0.181058	0.04156	0.27707	0.0338575	0.1827815	0.2787935
160	28	43	0.000	-265.71	0.0003443	0.2	0.0017215	0.00482	0.032135	0.027159	0.181057	0.04156	0.277068	0.0338565	0.1827785	0.2787895
190	58	73	3.500	-703.61	0.0434796	0.2	0.217398	0.002028	0.013521	0.014617	0.09745	0.019786	0.131906	0.230919	0.314848	0.349304
192	60	75	3.500	-703.63	0.0434792	0.2	0.217396	0.002028	0.013521	0.014617	0.097447	0.019785	0.131902	0.230917	0.314843	0.349298
179	47	62	0.000	-616.18	0.0430335	0.15	0.28689	0.003113	0.012453	0.020145	0.080578	0.026999	0.107996	0.299343	0.367468	0.394886
149	17	32	0.000	-308.44	0.0001832	0.15	0.0012213	0.005396	0.02698	0.026525	0.132624	0.040565	0.202823	0.0282013	0.1338453	0.2040443
162	30	45	3.500	-265.83	-0.0001583	0.2	-0.0007915	0.004819	0.032126	0.027161	0.181072	0.041564	0.277091	0.0313345	0.1802805	0.2762995
160	28	43	3.500	-265.82	-0.0001589	0.2	-0.0007945	0.004819	0.032127	0.027161	0.181071	0.041563	0.27709	0.0313325	0.1802765	0.2762955

Tablo B.1 : (devam)Taşıyıcı sitem modelinde kolonlar için X doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.

Kolon No	Eleman Uçları		Yer (m)	N(KN)	θ_p (rad)	L_p (m)	χ_p (1/m)	MN		GV		GÇ		MN	GV	GÇ
								θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)
	i	j						Plastik Dönme	Akma Eğriligi	Plastik Dönme	Akma Eğriligi	Plastik Dönme	Akma Eğriligi	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik
191	59	74	0.000	-1070.82	0.0428758	0.15	0.2858387	0.001674	0.006695	0.012347	0.049388	0.016466	0.065864	0.2925337	0.3352267	0.3517027
179	47	62	3.500	-615.24	0.0429623	0.15	0.2864153	0.00312	0.012479	0.020176	0.080702	0.027038	0.108151	0.2988943	0.3671173	0.3945663
178	46	61	0.000	-175	0.0426077	0.2	0.2130385	0.005737	0.038248	0.026449	0.176328	0.040137	0.26758	0.2512865	0.3893665	0.4806185
180	48	63	0.000	-179.14	0.0425991	0.2	0.2129955	0.005743	0.038286	0.02646	0.176402	0.040149	0.267661	0.2512815	0.3893975	0.4806565
178	46	61	3.500	-174.5	0.0426634	0.2	0.213317	0.005736	0.038243	0.026448	0.17632	0.040136	0.267571	0.25156	0.389637	0.480888
180	48	63	3.500	-178.67	0.0426580	0.2	0.21329	0.005742	0.038282	0.026459	0.176393	0.040148	0.267651	0.251572	0.389683	0.480941
172	40	55	0.000	-483.83	0.0005917	0.25	0.0023668	0.003336	0.022242	0.023016	0.153437	0.030801	0.205341	0.0246088	0.1558038	0.2077078
174	42	57	0.000	-483.87	0.0005919	0.25	0.0023676	0.003336	0.02224	0.023014	0.153425	0.030799	0.205327	0.0246076	0.1557926	0.2076946
173	41	56	3.500	-925.34	0.0003716	0.15	0.0024773	0.002323	0.007745	0.014057	0.046856	0.018876	0.062919	0.0102223	0.0493333	0.0653963
214	82	97	3.500	-1069.36	0.0000107	0.15	7.133E-05	0.002003	0.006677	0.01226	0.040865	0.016499	0.054996	0.0067483	0.0409363	0.0550673
216	84	99	3.500	-1069.03	0.0000101	0.15	6.733E-05	0.002004	0.006679	0.012263	0.040877	0.016503	0.055012	0.0067463	0.0409443	0.0550793
167	35	50	3.500	-979.57	0.0000000	0.15	0	0.002194	0.007314	0.013322	0.044408	0.017904	0.059681	0.007314	0.044408	0.059681
167	35	50	0.000					0.004858	0.016192	0.022379	0.074598	0.033963	0.113209	0.016192	0.074598	0.113209

Tablo B.2 : Taşıyıcı sitem modelinde kirişler için X doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.

Kiriş No	Eleman Uçları		Yer (m)				MN		GV		GÇ		MN	GV	GÇ
				θ_p (rad)	L_p (m)	χ_p (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)
	i	j		Plastik Dönme	Plastik Mafsalsal Boy	Plastik Eğrilik	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik
71	47	50	5.000	-0.001017	0.3	-0.00339	0.00465	-21.2937	0.0222	-21.783	0.03403	-21.8683	-21.2937	-21.783	-21.8683
74	56	59	5.000	-0.0018906	0.3	-0.006302	0.00465	-21.2937	0.0222	-21.783	0.03403	-21.8683	-21.2937	-21.783	-21.8683
97	63	66	0.000	-0.0017563	0.3	-0.005854333	0.00477	17.8473	0.02273	17.967	0.03472	17.9725	17.8473	17.967	17.9725
89	61	64	0.000	-0.0017407	0.3	-0.005802333	0.00477	17.8473	0.02273	17.967	0.03472	17.9725	17.8473	17.967	17.9725
73	53	56	5.000	-0.0001170	0.3	-0.00039	0.00465	-21.2937	0.0222	-21.783	0.03403	-21.8683	-21.2937	-21.783	-21.8683
92	70	73	0.000	-0.0009111	0.3	-0.003037	0.00475	17.8363	0.0227	17.9649	0.03469	17.9716	17.8363	17.9649	17.9725
100	72	75	0.000	-0.0009110	0.3	-0.003036667	0.00475	17.8363	0.0227	17.9649	0.03469	17.9716	17.8363	17.9649	17.9725
75	48	51	5.000	-0.0011859	0.3	-0.003953	0.00478	-27.7181	0.0227	-27.9524	0.03467	-27.964	-27.7181	-27.9524	-27.964
67	46	49	5.000	-0.0011812	0.3	-0.003937333	0.00478	-27.7181	0.0227	-27.9524	0.03467	-27.964	-27.7181	-27.9524	-27.964
114	85	88	0.000	-0.0004404	0.3	-0.001468	0.00475	17.8363	0.0227	17.9649	0.03469	17.9716	17.8363	17.9649	17.9716
122	87	90	0.000	-0.0004402	0.3	-0.001467333	0.00475	17.8363	0.0227	17.9649	0.03469	17.9716	17.8363	17.9649	17.9716
75	48	51	0.000	-0.0013946	0.3	-0.004648667	0.00477	17.8462	0.02272	17.9664	0.03471	17.9724	17.8462	17.9649	17.9724
67	4-6	49	0.000	-0.0013761	0.3	-0.004587	0.00477	17.8462	0.02272	17.9664	0.03471	17.9724	17.8462	17.9649	17.9724
93	62	65	0.000	-0.0009725	0.3	-0.003241667	0.00477	17.8473	0.02273	17.967	0.03472	17.9725	17.8473	17.967	17.9725
34	27	30	5.000	0.0001157	0.3	0.000385667	0.00468	-16.7462	0.02232	-17.0509	0.03419	-17.0931	-16.7462	-17.0509	-17.0931
26	25	28	5.000	0.0001159	0.3	0.000386333	0.00468	-16.7462	0.02232	-17.0509	0.03419	-17.0931	-16.7462	-17.0509	-17.0931
119	78	81	0.000	-0.0001201	0.3	-0.000400333	0.00477	17.8473	0.02273	17.967	0.03472	17.9725	17.8473	17.967	17.9725

Tablo B.2 : (devam)Taşıyıcı sitem modelinde kirişler için X doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.

Kiriş No	Eleman Uçları		Yer (m)				MN		GV		GÇ		MN	GV	GÇ
				θ_p (rad)	L_p (m)	χ_p (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)
	i	j		Plastik Dönme	Plastik Mafsal Boyu	Plastik Eğrilik	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik
111	76	79	0.000	-0.0001067	0.3	-0.000355667	0.00477	17.8473	0.02273	17.967	0.03472	17.9725	17.8473	17.967	17.9725
78	57	60	0.000	0.0000358	0.3	0.000119333	0.00477	17.8462	0.02272	17.9664	0.03471	17.9724	17.8462	17.9664	17.9724
70	55	58	0.000	0.0000360	0.3	0.00012	0.00477	17.8462	0.02272	17.9664	0.03471	17.9724	17.8462	17.9664	17.9724
71	47	50	0.000	-0.0003073	0.3	-0.001024333	0.00479	17.8531	0.02277	17.9682	0.03476	17.9732	17.8531	17.9682	17.9732
98	66	69	0.000	-0.0000905	0.3	-0.000301667	0.00475	17.8363	0.0227	17.9649	0.03469	17.9716	17.8363	17.9649	17.9716
90	64	67	0.000	-0.0000906	0.3	-0.000302	0.00475	17.8363	0.0227	17.9649	0.03469	17.9716	17.8363	17.9649	17.9716
31	18	21	5.000	-0.0001649	0.3	-0.000549667	0.00468	-16.7462	0.02232	-17.0509	0.03419	-17.0931	-16.7462	-17.0509	-17.0931
23	16	19	5.000	-0.0001588	0.3	-0.000529333	0.00468	-16.7462	0.02232	-17.0509	0.03419	-17.0931	-16.7462	-17.0509	-17.0931
69	52	55	5.000	-0.0002237	0.3	-0.000745667	0.00478	-27.7181	0.0227	-27.9524	0.03467	-27.964	-27.7181	-27.9524	-27.964
77	54	57	5.000	-0.0002237	0.3	-0.000745667	0.00478	-27.7181	0.0227	-27.9524	0.03467	-27.964	-27.7181	-27.9524	-27.964
53	33	36	0.000	-0.0000587	0.3	-0.000195667	0.00477	17.8462	0.02272	17.9664	0.03471	17.9724	17.8462	17.9664	17.9724
45	31	34	0.000	-0.0000502	0.3	-0.000167333	0.00477	17.8462	0.02272	17.9664	0.03471	17.9724	17.8462	17.9664	17.9724
72	50	53	5.000	-0.0000007	0.3	-2.33333E-06	0.00465	-21.2937	0.0222	-21.783	0.03403	-21.8683	-21.2937	-21.783	-21.8683

Tablo B.3 : Taşıyıcı sistem modelinde kolonlar için Y doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.

								MN		GV		GÇ		MN	GV	GÇ
				N(KN)	θ_p (rad)	L_p (m)	χ_p (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)
Kolon No	Eleman Uçları		Yer (m)	Normal Kuvvet	Plastik Dönme	Plastik Mafsallık Boyu	Plastik Eğrilik	Plastik Dönme	Akma Eğrilik	Plastik Dönme	Akma Eğrilik	Plastik Dönme	Akma Eğrilik	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik
	i	j														
155	23	38	0.000	-60.387	0.0391677	0.2	0.1958385	0.00239	0.015934	0.017169	0.114459	0.023935	0.159563	0.2117725	0.3102975	0.3554015
156	24	39	0.000	-37.855	0.0383104	0.2	0.191552	0.003793	0.025287	0.02665	0.177666	0.03678	0.245202	0.216839	0.369218	0.436754
158	26	41	0.000	-62.274	0.0387947	0.2	0.1939735	0.002318	0.01545	0.016679	0.111191	0.023261	0.155075	0.2094235	0.3051645	0.3490485
152	20	35	0.000	-62.273	0.0387931	0.2	0.1939655	0.002318	0.015451	0.016679	0.111192	0.023262	0.155079	0.2094165	0.3051575	0.3490445
161	29	44	0.000	-37.971	0.0385719	0.2	0.1928595	0.003781	0.025209	0.026575	0.177164	0.036679	0.244526	0.2180685	0.3700235	0.4373855
149	17	32	0.000	-37.984	0.0385679	0.2	0.1928395	0.00378	0.0252	0.026566	0.177109	0.036668	0.244452	0.2180395	0.3699485	0.4372915
153	21	36	0.000	-38.456	0.0375596	0.15	0.250397333	0.004059	0.020296	0.025903	0.129513	0.035732	0.178662	0.270693333	0.379910333	0.429059333
159	27	42	0.000	-38.439	0.0375605	0.15	0.250403333	0.004062	0.020308	0.025912	0.129562	0.035747	0.178736	0.270711333	0.379965333	0.429139333
156	24	39	3.500	-38.272	0.0374290	0.2	0.187145	0.003751	0.025005	0.026381	0.175874	0.036419	0.242793	0.21215	0.363019	0.429938
153	21	36	3.500	-38.506	0.0377027	0.15	0.251351333	0.004052	0.02026	0.025874	0.129368	0.035688	0.178442	0.271611333	0.380719333	0.429793333
159	27	42	3.500	-38.489	0.0377040	0.15	0.25136	0.004054	0.020272	0.025883	0.129417	0.035703	0.178517	0.271632	0.380777	0.429877
155	23	38	3.500	-60.714	0.0375010	0.2	0.187505	0.002377	0.015848	0.017082	0.113879	0.023815	0.158768	0.203353	0.301384	0.346273
161	29	44	3.500	-38.050	0.0373501	0.2	0.1867505	0.003773	0.025155	0.026524	0.176824	0.03661	0.244069	0.2119055	0.3635745	0.4308195
149	17	32	3.500	-38.063	0.0373471	0.2	0.1867355	0.003772	0.025146	0.026515	0.176768	0.036599	0.243996	0.2118815	0.3635035	0.4307315
152	20	35	3.500	-62.501	0.0372040	0.2	0.18602	0.002309	0.015394	0.016622	0.110811	0.023183	0.154552	0.201414	0.296831	0.340572
158	26	41	3.500	-62.502	0.0372052	0.2	0.186026	0.002309	0.015394	0.016621	0.110809	0.023183	0.15455	0.20142	0.296835	0.340576
162	30	45	3.500	-24.212	0.0366340	0.15	0.244226667	0.005426	0.027129	0.025532	0.127662	0.03 906	0.195299	0.271355667	0.371888667	0.439525667

Tablo B.3 : (devam)Taşıyıcı sitem modelinde kolonlar için Y doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.

Kolon No	Eleman Uçları		Yer (m)	N (KN)				MN		GV		GÇ		MN	GV	GÇ
				Normal Kuvvet	Plastik Dönme	Plastik Mafsal Boyu	Plastik Eğrilik	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)
	i	j						Plastik Dönme	Akma Eğriligi	Plastik Dönme	Akma Eğriligi	Plastik Dönme	Akma Eğriligi	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik
162	30	45	0.000	-24.212	0.0362431	0.15	0.241620667	0.005426	0.027129	0.025532	0.127662	0.03906	0.195299	0.268749667	0.369282667	0.436919667
150	18	33	0.000	-24.345	0.0362324	0.15	0.241549333	0.005427	0.027137	0.025555	0.127775	0.039094	0.19547	0.268686333	0.369324333	0.437019333
150	18	33	3.500	-24.345	0.0366208	0.15	0.244138667	0.005427	0.027137	0.025555	0.127775	0.039094	0.19547	0.271275667	0.371913667	0.439608667
154	22	37	0.000	-25.750	0.0362578	0.2	0.181289	0.005168	0.034453	0.026801	0.178675	0.041008	0.273386	0.215742	0.359964	0.454675
154	22	37	3.500	-25.741	0.0359702	0.2	0.179851	0.005169	0.03446	0.0268	0.178663	0.041005	0.273368	0.214311	0.358514	0.453219
157	25	40	3.500	-26.429	0.0354805	0.15	0.236536667	0.005452	0.02726	0.025896	0.129479	0.039612	0.198062	0.263796667	0.366015667	0.434598667
151	19	34	3.500	-26.427	0.0354790	0.15	0.236526667	0.005452	0.02726	0.025895	0.129477	0.039612	0.19806	0.263786667	0.366003667	0.434586667
157	25	40	0.000	-26.406	0.0355735	0.15	0.237156667	0.005452	0.027259	0.025892	0.129458	0.039606	0.19803	0.264415667	0.366614667	0.435186667
151	19	34	0.000	-26.405	0.0355718	0.15	0.237145333	0.005452	0.027259	0.025891	0.129457	0.039606	0.198028	0.264404333	0.366602333	0.435173333
160	28	43	3.500	-13.359	0.0345041	0.15	0.230027333	0.005294	0.026468	0.024318	0.121592	0.036875	0.184374	0.256495333	0.351619333	0.414401333
148	16	31	3.500	-13.358	0.0345014	0.15	0.230009333	0.005294	0.026468	0.024318	0.121592	0.036875	0.184374	0.256477333	0.351601333	0.414383333
160	28	43	0.000	-13.351	0.0347730	0.15	0.23182	0.005294	0.026468	0.024318	0.121591	0.036875	0.184373	0.258288	0.353411	0.416193
148	16	31	0.000	-13.350	0.0347703	0.15	0.231802	0.005294	0.026468	0.024318	0.121591	0.036875	0.184373	0.25827	0.353393	0.416175

Tablo B.4 : Taşıyıcı sistem modelinde kirişler için Y doğrultusunda toplam eğrilik isteminin elde edilmesi.

Kiriş No	Eleman Uçları		Yer (m)				MN		GV		GÇ		MN	GV	GÇ
				θ_p (rad)	L_p (m)	χ_p (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	θ_p (rad)	χ_y (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)	χ_t (1/m)
	i	j		Plastik Dönme	Plastik Mafsal Boyu	Plastik Eğrilik	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Plastik Dönme	Akma Eğriliği	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik	Toplam Eğrilik
84	53	52	6.000	-0.0011839	0.3	-0.003946333	0.00474	17.8253	0.02268	17.9635	0.03467	17.9709	17.8253	17.9635	17.9709
81	51	50	0.000	-0.0009990	0.3	-0.00333	0.00516	-23.299	0.02397	-23.4779	0.03673	-23.479	-23.299	-23.4779	-23.479
85	57	56	0.000	-0.0009975	0.3	-0.003325	0.00516	-23.299	0.02397	-23.4779	0.03673	-23.479	-23.299	-23.4779	-23.479
83	54	53	6.000	-0.0007160	0.3	-0.002386667	0.00474	17.8253	0.02268	17.9635	0.03467	17.9709	17.8253	17.9635	17.9709
106	68	67	6.000	-0.0003974	0.3	-0.001324667	0.00473	17.8114	0.02267	17.9617	0.03466	17.9709	17.8114	17.9617	17.9701
105	69	68	6.000	-0.0001233	0.3	-0.000411	0.00475	22.0576	0.02271	22.1868	0.03471	22.193	22.0576	22.1868	22.193
40	23	22	0.000	-0.0000840	0.3	-0.00028	0.00509	-21.2358	0.02328	-21.4116	0.03531	-21.424	-21.2358	-21.4116	-21.424
38	20	19	0.000	-0.0005231	0.3	-0.001743667	0.00509	-21.2358	0.02328	-21.4116	0.03531	-21.424	-21.2358	-21.4116	-21.424
42	26	25	0.000	-0.0005229	0.3	-0.001743	0.00509	-21.2358	0.02328	-21.4116	0.03531	-21.424	-21.2358	-21.4116	-21.424
62	38	37	6.000	0.0000000	0.3	0.00000	0.00474	17.8253	0.02268	17.9635	0.03467	17.9709	17.8253	17.9635	17.9709
62	38	37	0.000	0.0000000	0.3	0.00000	0.00474	17.8253	0.02268	17.9635	0.03467	17.9709	17.8253	17.9635	17.9709

Tablo B.5 : TSM için kolonların X doğrultusunda kesit hasar bölgeleri

Kolon No	Eleman Uçları		Yer (m)					Hasar Durumları	Kat No
				θ_p (rad)	MN	GV	GÇ		
	i	j		Plastik Dönme	θ_p (rad)	Plastik Dönme	θ_p (rad)	Plastik Dönme	
155	23	38	0.000	0.0025012	0.002398	0.017221	0.024007	BHB	5
152	20	35	0.000	0.0025599	0.002275	0.016393	0.02287	BHB	5
158	26	41	0.000	0.0025877	0.002376	0.017075	0.023808	BHB	5
185	53	68	0.000	0.0452918	0.001676	0.011095	0.01525	GB	3
155	23	38	3.500	0.0021021	0.002397	0.017218	0.024003	MHB	5
154	22	37	0.000	0.0023329	0.005159	0.026845	0.041052	MHB	5
156	24	39	0.000	0.0023335	0.005159	0.026845	0.041052	MHB	5
185	53	68	3.500	0.0449029	0.001675	0.01109	0.015243	GB	3
154	22	37	3.500	0.0022373	0.005157	0.026847	0.041055	MHB	5
156	24	39	3.500	0.0022377	0.005158	0.026847	0.041054	MHB	5
152	20	35	3.500	0.0020009	0.002267	0.016339	0.022794	MHB	5
217	85	100	3.500	0.0008521	0.002004	0.012158	0.017004	MHB	1
219	87	102	3.500	0.0008517	0.002004	0.012158	0.017003	MHB	1
158	26	41	3.500	0.0020708	0.002382	0.017112	0.023857	MHB	5
188	56	71	0.000	0.0448453	0.001657	0.011027	0.015168	GB	3
182	50	65	0.000	0.0444705	0.001554	0.010651	0.014715	GB	3
159	27	42	0.000	0.0023149	0.004362	0.02801	0.042719	MHB	5
157	25	40	0.000	0.0023143	0.004362	0.02801	0.04272	MHB	5
153	21	36	0.000	0.0018637	0.003909	0.027689	0.03818	MHB	5
151	19	34	0.000	0.0018621	0.00391	0.0277	0.038195	MHB	5
184	52	67	0.000	0.0452809	0.002401	0.015916	0.022201	GB	3
186	54	69	0.000	0.0452806	0.002401	0.015917	0.022201	GB	3
182	50	65	3.500	0.0446816	0.001554	0.010648	0.014711	GB	3
188	56	71	3.500	0.0447156	0.001658	0.011031	0.015172	GB	3
184	52	67	3.500	0.0452274	0.002401	0.015915	0.0222	GB	3
186	54	69	3.500	0.0452267	0.002401	0.015916	0.0222	GB	3
213	81	96	3.500	0.0006876	0.00165	0.010977	0.015093	MHB	1
211	79	94	3.500	0.0006867	0.001651	0.01098	0.015098	MHB	1
161	29	44	0.000	0.0015233	0.003439	0.023275	0.032205	MHB	5
170	38	53	0.000	0.0009908	0.002303	0.013941	0.019442	MHB	4
159	27	42	3.500	0.0012023	0.00439	0.027957	0.042775	MHB	5
157	25	40	3.500	0.0012016	0.00439	0.027957	0.042774	MHB	5
153	21	36	3.500	0.0007213	0.00387	0.027425	0.037825	MHB	5
151	19	34	3.500	0.0007187	0.003872	0.027436	0.03784	MHB	5
210	78	93	3.500	0.0006155	0.005072	0.026742	0.040927	MHB	1
208	76	91	3.500	0.0006124	0.005159	0.026613	0.040719	MHB	1
161	29	44	3.500	0.0009330	0.003421	0.023191	0.032091	MHB	5
170	38	53	3.500	0.0008531	0.002303	0.013941	0.019442	MHB	4
199	67	82	3.500	0.0006769	0.002279	0.013803	0.019254	MHB	2
201	69	84	3.500	0.0006767	0.002279	0.013803	0.019254	MHB	2
199	67	82	0.000	0.0008848	0.002279	0.013803	0.019254	MHB	2
201	69	84	0.000	0.0008845	0.002279	0.013803	0.019254	MHB	2
167	35	50	0.000	0.0009091	0.00213	0.012961	0.018101	MHB	4

Tablo B.5 : (devamı)TSM için kolonların X doğrultusunda kesit hasar bölgeleri

Kolon No	Eleman Uçları		Yer (m)	Plastik Dönme	MN	GV	GÇ	Hasar Durumları	Kat No	
					θ_p (rad)	θ_p (rad)	θ_p (rad)			θ_p (rad)
	i	j								
187	55	70	0.000	0.0442132	0.002618	0.01736	0.024174	GB	3	
189	57	72	0.000	0.0442125	0.002618	0.017359	0.024173	GB	3	
173	41	56	0.000	0.0009841	0.002299	0.013919	0.019412	MHB	4	
183	51	66	0.000	0.0432762	0.002154	0.01436	0.020068	GB	3	
181	49	64	0.000	0.0432764	0.002155	0.014364	0.020075	GB	3	
191	59	74	3.500	0.0439732	0.001679	0.012369	0.017037	GB	3	
209	77	92	3.500	0.0002194	0.00241	0.01477	0.02057	MHB	1	
187	55	70	3.500	0.0434746	0.002636	0.01748	0.024338	GB	3	
189	57	72	3.500	0.0434742	0.002636	0.01748	0.024338	GB	3	
183	51	66	3.500	0.0434945	0.00215	0.014335	0.020035	GB	3	
181	49	64	3.500	0.0434935	0.002151	0.01434	0.020041	GB	3	
169	37	52	0.000	0.0006168	0.003413	0.021617	0.029882	MHB	4	
171	39	54	0.000	0.0006167	0.003413	0.02162	0.029885	MHB	4	
171	39	54	3.500	0.0006783	0.003414	0.021624	0.02989	MHB	4	
169	37	52	3.500	0.0006780	0.003414	0.021622	0.029887	MHB	4	
190	58	73	0.000	0.0433863	0.002029	0.014624	0.020441	GB	3	
192	60	75	0.000	0.0433858	0.002029	0.014624	0.020441	GB	3	
162	30	45	0.000	0.0003447	0.00482	0.027159	0.04156	MHB	3	
160	28	43	0.000	0.0003443	0.00482	0.027159	0.04156	MHB	5	
190	58	73	3.500	0.0434796	0.002028	0.014617	0.020432	GB	3	
192	60	75	3.500	0.0434792	0.002028	0.014617	0.020431	GB	3	
179	47	62	0.000	0.0430335	0.003113	0.020145	0.027909	GB	3	
149	17	32	0.000	0.0001832	0.005396	0.026525	0.040564	MHB	5	
162	30	45	3.500	-0.0001583	0.004819	0.027161	0.041564	MHB	5	
160	28	43	3.500	-0.0001589	0.004819	0.027161	0.041563	MHB	5	
191	59	74	0.000	0.0428758	0.001674	0.012347	0.017009	GB	3	
179	47	62	3.500	0.0429623	0.00312	0.020176	0.027952	GB	3	
178	46	61	0.000	0.0426077	0.005737	0.026449	0.040137	GB	3	
180	48	63	0.000	0.0425991	0.005743	0.02646	0.040149	GB	3	
178	46	61	3.500	0.0426634	0.005736	0.026448	0.040136	GB	3	
180	48	63	3.500	0.0426580	0.005742	0.026459	0.040148	GB	3	
172	40	55	0.000	0.0005917	0.003336	0.023016	0.031836	MHB	4	
174	42	57	0.000	0.0005919	0.003336	0.023014	0.031834	MHB	4	
173	41	56	3.500	0.0003716	0.002323	0.014057	0.0196	MHB	4	
214	82	97	3.500	0.0000107	0.002003	0.01226	0.017137	MHB	1	
216	84	99	3.500	0.0000101	0.002004	0.012263	0.017142	MHB	1	
167	35	50	3.500	0.0000000	0.002194	0.013322	0.018594	MHB	4	
167	35	50	0.000		0.004858	0.022379	0.033963		4	

Tablo B.6 : TSM için kirişlerin X doğrultusunda kesit hasar bölgeleri

						MN	GV	GÇ		
				θ_p (rad)	θ_p (rad)	θ_p (rad)	θ_p (rad)			
Kiriş No	Eleman Uçları		Yer (m)	Plastik Dönme	Plastik Dönme	Plastik Dönme	Plastik Dönme	Hasar Durumları	Kat No	
	i	j								
71	47	50	5.000	-0.001017	0.00465	0.0222	0.03403	MHB	3	
74	56	59	5.000	-0.001891	0.00465	0.0222	0.03403	MHB	3	
97	63	66	0.000	-0.0017563	0.00477	0.02273	0.03472	MHB	2	
89	61	64	0.000	-0.0017407	0.00477	0.02273	0.03472	MHB	2	
73	53	56	5.000	-0.0001170	0.00465	0.0222	0.03403	MHB	3	
92	70	73	0.000	-0.0009111	0.00475	0.0227	0.03469	MHB	2	
100	72	75	0.000	-0.0009110	0.00475	0.0227	0.03469	MHB	2	
75	48	51	5.000	-0.0011859	0.00478	0.0227	0.03467	MHB	3	
67	46	49	5.000	-0.0011812	0.00478	0.0227	0.03467	MHB	3	
114	85	88	0.000	-0.0004404	0.00475	0.0227	0.03469	MHB	1	
122	87	90	0.000	-0.0004402	0.00475	0.0227	0.03469	MHB	1	
75	48	51	0.000	-0.0013946	0.00477	0.02272	0.03471	MHB	3	
67	46	49	0.000	-0.0013761	0.00477	0.02272	0.03471	MHB	3	
93	62	65	0.000	-0.0009725	0.00477	0.02273	0.03472	MHB	2	
34	27	30	5.000	0.0001157	0.00468	0.02232	0.03419	MHB	5	
26	25	28	5.000	0.0001159	0.00468	0.02232	0.03419	MHB	5	
119	78	81	0.000	-0.0001201	0.00477	0.02273	0.03472	MHB	1	
111	76	79	0.000	-0.0001067	0.00477	0.02273	0.03472	MHB	1	
78	57	60	0.000	0.0000358	0.00477	0.02272	0.03471	MHB	3	
70	55	58	0.000	0.0000360	0.00477	0.02272	0.03471	MHB	3	
71	47	50	0.000	-0.0003073	0.00479	0.02277	0.03476	MHB	3	
98	66	69	0.000	-0.0000905	0.00475	0.0227	0.03469	MHB	2	
90	64	67	0.000	-0.0000906	0.00475	0.0227	0.03469	MHB	2	
31	18	21	5.000	-0.0001649	0.00468	0.02232	0.03419	MHB	5	
23	16	19	5.000	-0.0001588	0.00468	0.02232	0.03419	MHB	5	
69	52	55	5.000	-0.0002237	0.00478	0.0227	0.03467	MHB	3	
77	54	57	5.000	-0.0002237	0.00478	0.0227	0.03467	MHB	3	
53	33	36	0.000	-0.0000587	0.00477	0.02272	0.03471	MHB	4	
45	31	34	0.000	-0.0000502	0.00477	0.02272	0.03471	MHB	4	
72	50	53	5.000	-0.0000007	0.00465	0.0222	0.03403	MHB	3	

Tablo B.7 : TSM için kolonların Y doğrultusunda kesit hasar bölgeleri

						MN	GV	GÇ		
				θ_p (rad)	θ_p (rad)	θ_p (rad)	θ_p (rad)			
Kolon No	Eleman Uçları		Yer (m)	Plastik Dönme	Plastik Dönme	Plastik Dönme	Plastik Dönme	Hasar Durumları	Kat No	
	i	j								
155	23	38	0.000	0.0391677	0.00239	0.017169	0.023935	GB	5	
156	24	39	0.000	0.0383104	0.003793	0.02665	0.03678	GB	5	
158	26	41	0.000	0.0387947	0.002318	0.016679	0.023261	GB	5	
152	20	35	0.000	0.0387931	0.002318	0.016679	0.023262	GB	5	
161	29	44	0.000	0.0385719	0.003781	0.026575	0.036679	GB	5	
149	17	32	0.000	0.0385679	0.00378	0.026566	0.036668	GB	5	
153	21	36	0.000	0.0375596	0.004059	0.025903	0.035732	GB	5	
159	27	42	0.000	0.0375605	0.004062	0.025912	0.035747	GB	5	
156	24	39	3.500	0.0374290	0.003751	0.026381	0.036419	GB	5	
153	21	36	3.500	0.0377027	0.004052	0.025874	0.035688	GB	5	
159	27	42	3.500	0.0377040	0.004054	0.025883	0.035703	GB	5	
155	23	38	3.500	0.0375010	0.002377	0.017082	0.023815	GB	5	
161	29	44	3.500	0.0373501	0.003773	0.026524	0.03661	GB	5	
149	17	32	3.500	0.0373471	0.003772	0.026515	0.036599	GB	5	
152	20	35	3.500	0.0372040	0.002309	0.016622	0.023183	GB	5	
158	26	41	3.500	0.0372052	0.002309	0.016621	0.023183	GB	5	
162	30	45	3.500	0.0366340	0.005426	0.025532	0.03906	İHB	5	
162	30	45	0.000	0.0362431	0.005426	0.025532	0.03906	İHB	5	
150	18	33	0.000	0.0362324	0.005427	0.025555	0.039094	İHB	5	
150	18	33	3.500	0.0366208	0.005427	0.025555	0.039094	İHB	5	
154	22	37	0.000	0.0362578	0.005168	0.026801	0.041008	İHB	5	
154	22	37	3.500	0.0359702	0.005169	0.0268	0.041005	İHB	5	
157	25	40	3.500	0.0354805	0.005452	0.025896	0.039612	İHB	5	
151	19	34	3.500	0.0354790	0.005452	0.025895	0.039612	İHB	5	
157	25	40	0.000	0.0355735	0.005452	0.025892	0.039606	İHB	5	
151	19	34	0.000	0.0355718	0.005452	0.025891	0.039606	İHB	5	
160	28	43	3.500	0.0345041	0.005294	0.024318	0.036875	İHB	5	
148	16	31	3.500	0.0345014	0.005294	0.024318	0.036875	İHB	5	
160	28	43	0.000	0.0347730	0.005294	0.024318	0.036875	İHB	5	
148	16	31	0.000	0.0347703	0.005294	0.024318	0.036875	İHB	5	

Tablo B.8 : TSM için kirişlerin Y doğrultusunda kesit hasar bölgeleri

Kiriş No	Eleman Uçları		Yer (m)	θ_p (rad)	MN	GV	GÇ	Hasar Durumları	Kat No
					θ_p (rad)	θ_p (rad)	θ_p (rad)		
				Plastik Dönme	Plastik Dönme	Plastik Dönme	Plastik Dönme		
	i	j							
84	53	52	6.000	-0.0011839	0.00474	0.02268	0.03467	MHB	3
81	51	50	0.000	-0.0009990	0.00516	0.02397	0.03673	MHB	3
85	57	56	0.000	-0.0009975	0.00516	0.02397	0.03673	MHB	3
83	54	53	6.000	-0.0007160	0.00474	0.02268	0.03467	MHB	3
106	68	67	6.000	-0.0003974	0.00473	0.02267	0.03466	MHB	2
105	69	68	6.000	-0.0001233	0.00475	0.02271	0.03471	MHB	2
40	23	22	0.000	-0.0000840	0.00509	0.02328	0.03531	MHB	5
38	20	19	0.000	-0.0005231	0.00509	0.02328	0.03531	MHB	5
42	26	25	0.000	-0.0005229	0.00509	0.02328	0.03531	MHB	5
62	38	37	6.000	0.0000000	0.00474	0.02268	0.03467	MHB	4
62	38	37	0.000	0.0000000	0.00474	0.02268	0.03467	MHB	4

ÖZGEÇMİŞ

Burcu AKTEKİN, 1982 senesinde Trabzon’da doğdu. İlk ve orta öğretimini Gazi Mustafa Kemal Paşa İlkokulu ve Yamanevler İlköğretim Okulu’nda, lise öğretimini Kadıköy Kız Lisesi’nde tamamladı. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi’nde bir sene hazırlık okuduktan sonra, 2001 yılında Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde yüksek öğrenimine başlamış 2005’te tamamlamıştır. 2003 yılında aynı okulun İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne ikinci anadal olarak başlamış 2006’da tamamlamıştır. 2006 yılında aynı okulda Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programına başlamıştır. Halen öğrenimine devam etmektedir.