

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME YAPILARIN STATİK İTME ANALİZİ İLE
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

Burak YÖN

Tez Yöneticisi:
Prof. Dr. Yusuf CALAYIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2007

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME YAPILARIN STATİK İTME ANALİZİ İLE
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

Burak YÖN

Tez Yöneticisi:
Prof. Dr. Yusuf CALAYIR

Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, 19.07.2007 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof Dr. Yusuf CALAYIR
Üye: Prof Dr. Aydın TURGUT
Üye: Prof. Ali Sayıl ERDOĞAN

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca, engin bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, özellikle tez çalışmam esnasında karşılaştığım güçlüklerde kıymetli zamanını benimle paylaşan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yusuf CALAYIR' a ve üzerimde emeği olan tüm öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Ayrıca, bu günlere ulaşmamı sağlayan, benden desteklerini hiç esirgemeyen sevgili aileme ve her zaman yanımda olan arkadaşlarıma da sonsuz teşekkür ederim.

Burak YÖN

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLOLAR LİSTESİ	VI
SİMGELER	VIII
KISALTMALAR.....	XII
ÖZET.....	XIII
ABSTRACT	XIV
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.2. Analizin Gelişimi ve Konuyla İlgili Yapılan Çalışmaların İncelenmesi	3
2.YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ.....	8
2.1. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışının Nedenleri	8
2.2.Malzeme Davranışının Doğrusal Olmaması.....	9
2.3.İdeal Malzemeler.....	11
2.3.1.Yapı Malzemelerinin Gerilme-Şekildeğiştirme Bağlılıları.....	12
2.4.İdeal Elasto-Plastik Malzemeden Yapılmış Çubuklar	13
2.4.1.Betonarme Çubuklar.....	14
2.5. Doğrusal Olmayan Şekil değiştirmelerin Belirli Kesitlerde Toplandığının Varsayılması Hali.....	17
2.5.1. Doğrusal Olmayan Analizde Plastik Mafsallık Hipotezi.....	17
2.5.1.1. Plastik Mafsallık Hipotezinin Esasları.....	22
3. YAPI SİSTEMLERİNİN PERFORMANSA DAYALI SİSMİK TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	24
3.1. Statik İtme Analizinin Tanımı ve Amacı.....	25
3.2.Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	26
3.2.1. Kesit Hasar Sınırları	27
3.2.2. Kesit Hasar Bölgeleri	27
3.2.3. Deprem Performans Tanımları	27
3.2.4. Deprem Etki Seviyeleri	30
3.2.5. Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesinde Hedeflenen Deprem Performans Seviyeleri.....	30
3.2.6. Göreli Kat Ötelemesinin Sınırlandırılması	31
3.3. Analiz Yöntemleri	32
3.3.1. Doğrusal Elastik Analiz Yöntemleri.....	32

3.3.1.1. Yöntemlerin Uygulanabilmesi İçin Gerekli Şartlar	32
3.3.1.2. Doğrusal Elastik Analiz Yöntemleriyle Betonarme Yapı Elemanlarında Hasarın Değerlendirilmesi	33
3.3.2. Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri	35
3.3.2.1. Yapısal Modelleme	36
3.3.2.2. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizinde Performans Hedefleri	37
3.3.2.3. ATC ve FEMA'ya Göre Performans Seviyeleri	37
3.3.2.4. ATC ve FEMA'ya Göre Yapısal Elemanların Performans Seviyeleri ve Aralıkları	38
3.3.2.5. ATC ve FEMA'ya Göre Yapısal Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri ve Aralıkları	40
3.3.2.6. ATC ve FEMA'ya Göre Yapı Performans Seviyeleri	41
3.4. Basitleştirilmiş Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri	43
3.4.1. Kapasite Spektrum Yöntemi	43
3.4.1.1. Yatay Yük-Yerdeğiştirme Eğrisi	46
3.4.1.2. Kapasite Spektrum Yönteminin Teorik Oluşumu	48
3.4.1.3. Kapasite Spektrum Eğrisi	49
3.4.1.4. Sönümün Tahmini ve %5 Sönümlü Talep Spektrumunun İndirgenmesi	51
3.4.1.5. Kapasite Eğrisi ve İndirgenmiş Talep Spektrumunun Kesişimi	54
3.4.1.6. Performans Noktasının Kabul Kriterleri	55
3.4.1.7. Bina İçin Genel Kabul Kriterleri	55
3.4.1.8. Eleman İçin Genel Kabul Kriterleri	55
3.4.1.9. ATC ve FEMA'da Verilen Eleman Deformasyon Kapasiteleri	56
3.4.2. Deplasman Katsayıları Yöntemi	58
3.4.3. DBYBHY-2007'de Verilen Artımsal İtme Analizi Yöntemleri	62
3.4.3.1. Plastik Davranışın İdealleştirilmesi	62
3.4.3.2. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	64
3.4.3.3. Kesitteki Birim Şekildeğiştirme Taleplerinin Belirlenmesi	69
3.4.3.4. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri	69
4. MEVCUT BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	71
4.1. Binalardan Bilgi Toplanması	71
4.1.1. Binalardan Toplanacak Bilginin Kapsamı	71
4.1.2. Bilgi Düzeyleri	71
4.1.2.1. Betonarme Binalarda Sınırlı Bilgi Düzeyi	72
4.1.2.2. Betonarme Binalarda Orta Bilgi	72
4.1.2.3. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi	73

5. SAP2000’le STATİK İTME (PUSHOVER) ANALİZİ.....	75
5.1.SAP2000’de Eleman Tanımlanması.....	77
6. BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE SAYISAL BİR ÖRNEK.....	79
6.1. İncelenen Taşıyıcı Sistem Modeli	79
6.2. Taşıyıcı Sistem Modelinin Boyutlandırılması.....	81
6.2.1. Malzeme Özellikleri.....	81
6.2.2. Deprem Karakteristikleri.....	82
6.2.3. Boyutlamada Esas Alınan Yüklemeler.....	82
6.2.4. Taşıyıcı Sistem Modelinde Yapılan Varsayımlar.....	82
6.2.5. Boyutlamada Esas Alınan Deprem Yüklemelerinin Hesaplanması	82
6.2.6. Taşıyıcı Sistemin Boyutlandırılmasında Esas Alınan Yük Kombinasyonları.....	85
6.2.7. Boyutlandırılan Taşıyıcı Sistem Modelinin Performans Değerlendirmesi ve Eleman Hasar Durumunun Belirlenmesi	85
6.2.8. Düğüm Noktalarına Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Bulunması ve Olası Mafsal Atamaları	86
6.2.9. SAP2000 Analiz Programına Göre Elde Edilen Performans Noktaları	90
6.2.10.Yapısal Elemanların Eğrilik Talepleri ve Deprem Performans Seviyelerinin Belirlenmesi.....	94
6.2.11. Sistemin İde Statik Programına Göre Deprem Performansının Belirlenmesi	98
6.2.12. Sayısal İncelemelere İlişkin Değerlendirmeler	105
7. SONUÇLAR.....	106
KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ	111

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 2.1 : İdeal Malzemeler
- Şekil 2.2 : Beton çeliğinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı
- Şekil 2.3 : $\sigma - \varepsilon$ Diyagramlarının idealleştirilmesi
- Şekil 2.4 : Betonarme çubuğun eğilmesinde dış basınç lifindeki $\sigma - \varepsilon$ diyagramı
- Şekil 2.5 : İdeal elasto-plastik malzemede $\sigma - \varepsilon$ diyagramı
- Şekil 2.6 : Betonarme kesitlerde $M - \chi$ diyagramı
- Şekil 2.7 : Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi)
- Şekil 2.8 : Düzlem çubuk elemanın eğilme momenti – eğrilik diyagramı
- Şekil 2.9 : Kiriş mesnet bölgesinde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler
- Şekil 2.10 : Kirişlerde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi
- Şekil 2.11 : Kolonlarda eğilme momenti-eğrilik ilişkisi
- Şekil 2.12 : İdealleştirilmiş bünye bağıntısı
- Şekil 2.13 : Plastik mafsal boyu
- Şekil 3.1 : Doğrusal olmayan teori ile kapasite eğrisinin elde edilmesi
- Şekil 3.2 : Kapasite eğrisinde performans seviyeleri ve aralıkları
- Şekil 3.3 : Performans seviyelerinin grafiksel gösterimi
- Şekil 3.4 : Basitleştirilmiş çok serbestlik dereceli eş modellerin şekilleri
- Şekil 3.5 : Talep spektrumunun spektral ivme-spektral yer değiştirme (ADRS) formatına dönüştürülmesi
- Şekil 3.6 : Statik itme eğrisinin oluşumu
- Şekil 3.7 : Statik itme/Kapasite eğrisinden tek serbestlik dereceli eş sistemin gelişiminin şematik çizimi
- Şekil 3.8a : Çevrimsel davranışın omurga eğrisinin gösterimi
- Şekil 3.8b : Analiz modelleri için idealleştirilmiş modeller
- Şekil 3.9 : Yatay etki spektrumundan kapasite spektrumunun elde edilmesi
- Şekil 3.10 : Kapasite spektrumu ve talep spektrumunun gösterilmesi
- Şekil 3.11 : Spektral azalma için sönümün elde edilmesi
- Şekil 3.12 : Talep spektrumun azaltılması
- Şekil 3.13 : Kapasite Spektrum Yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi
- Şekil 3.14 : Kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi
- Şekil 3.15 : Eğilme momenti-Plastik dönme bağıntıları
- Şekil 3.16 : Performans noktasının belirlenmesi ($T^{(1)} \geq T_B$)

Şekil 3.17	: Performans noktasının belirlenmesi ($T^{(1)} \leq T_B$)
Şekil 5.1	: Statik itme (pushover) veri giriş kutusu
Şekil 5.2	: Sap2000 çerçeve elemanının genelleştirilmiş kuvvet deplasman karakteristiği
Şekil 6.1	: Yapı sisteminin x - y düzlemindeki görünümü
Şekil 6.2	: Yapı sisteminin x - z düzlemindeki görünümü
Şekil 6.3	: Yapı sisteminin y - z düzlemindeki görünümü
Şekil 6.4	: Eşdeğer deprem yüklerinin bulunması
Şekil 6.5	: x - z yönünde katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri
Şekil 6.6	: y - z yönünde katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri
Şekil 6.7	: x - z yönünde ölü yükler
Şekil 6.8	: y - z yönünde ölü yükler
Şekil 6.9	: x - z yönünde hareketli yükler
Şekil 6.10	: y - z yönünde hareketli yükler
Şekil 6.11	: Kolon ve kiriş uçlarındaki olası mafsallar
Şekil 6.12	: Deprem 1'e göre performans noktaları
Şekil 6.13	: Deprem 2'ye göre performans noktaları
Şekil 6.14	: Deprem 3'e göre performans noktaları
Şekil 6.15	: Deprem 4'e göre performans noktaları
Şekil 6.16	: Deprem 5'e göre performans noktaları
Şekil 6.17	: Deprem 6'ya göre performans noktaları
Şekil 6.18	: Deprem 7'ye göre performans noktaları
Şekil 6.19	: Deprem 8'e göre performans noktaları
Şekil 6.20	: PushExp statik itmesi sonucu oluşan plastik mafsallar
Şekil 6.21	: PushExp statik itme eğrisi
Şekil 6.22	: PushExp için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı
Şekil 6.23	: PushExn için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı
Şekil 6.24	: PushEyp için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı
Şekil 6.25	: PushEyn için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı
Şekil 6.26	: 0.9PushExp için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı
Şekil 6.27	: 0.9PushExn için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı
Şekil 6.28	: 0.9PushEyp için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı
Şekil 6.29	: 0.9PushEyn için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1	: Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri
Tablo 3.1	: Deprem etki seviyeleri
Tablo 3.2	: Farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri (TDY-2007)
Tablo 3.3	: Katlar arası yer değiştirmenin kat yüksekliğine oranının sınırı
Tablo 3.4	: Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)
Tablo 3.5	: Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)
Tablo 3.6	: Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)
Tablo 3.7	: Yapısal elemanların performans seviyeleri
Tablo 3.8	: Yapısal olmayan performans seviyeleri
Tablo 3.9	: Yapı performans seviyeleri
Tablo 3.10	: Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V
Tablo 3.11	: Yapı davranış türü
Tablo 3.12	: κ Düzeltme katsayısının bulunması
Tablo 3.13	: Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V
Tablo 3.14	: Betonarme kirişler için plastik mafsallı dönmeleri radyan olarak
Tablo 3.15	: Betonarme kolonlar için plastik mafsallı dönmeleri radyan olarak
Tablo 3.16	: Betonarme perdeler için plastik mafsallı dönmeleri radyan olarak
Tablo 3.17	: C_0 modal katılım katsayı değerleri
Tablo 3.18	: C_m efektif kütle çarpanı değerleri
Tablo 4.1	: Binalar için bilgi düzeyi katsayıları
Tablo 6.1	: Seçilen kirişlerin ve kolonların donatı alanları
Tablo 6.2	: Sisteme etkiyen eşdeğer deprem yükleri
Tablo 6.3	: Sisteme etki eden yük ve statik itme kombinezonları
Tablo 6.4	: SAP2000 programına göre sistemin performans noktalarının tablosu
Tablo 6.5	: x deprem doğrultusundaki orta kirişlerin 1. ve 2. açıklıklarının eğrilik talepleri ve deprem performans seviyeleri
Tablo 6.6	: x deprem doğrultusunda orta aks kolonlarının eğrilik talepleri ve deprem performans seviyeleri
Tablo 6.7	: y deprem doğrultusunda orta kirişlerin 1. ve 2. açıklıklarının eğrilik talepleri ve deprem performans seviyeleri
Tablo 6.8	: y deprem doğrultusunda orta aks kolonlarının eğrilik talepleri ve deprem performans seviyeleri

Tablo 6.9	: x yönündeki periyot ve kütleler
Tablo 6.10	: x yönündeki periyot ve modal katılım oranları
Tablo 6.11	: Taban kesme kuvveti – Tepe noktası yer değiştirme değerleri
Tablo 6.12	: PushExp için modal yer değiştirme ve modal ivme değerleri
Tablo 6.13	: PushExp'nin tepe noktası yatay yer değiştirme taleplerinin belirlenmesi
Tablo 6.14	: SAP2000 ve İde statik programlarından elde edilen performans sonuçlarının karşılaştırılması

SİMGELER

$A(T_1)$	: T_1 periyot değerindeki spektral ivme katsayısı
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
a_1	: Birinci moda ait modal ivme
$a_1^{(i)}$	: (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
a	: Modal yer değiştirme
A_c	: Kolonun brüt kesit alanı
A_s	: Boyuna donatı alanı
b	: Kesit genişliği
b_w	: Kirişin gövde genişliği
C_{R1}	: Birinci moda ait spektral yer değiştirme oranı
D	: Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği, modal yer değiştirme
d	: Yer değiştirme
d_1	: Birinci moda ait modal yer değiştirme
$d_1^{(i)}$	: (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yer değiştirme
$d_1^{(p)}$	: Birinci moda ait modal yer değiştirme talebi
E	: Elastisite modülü, deprem yükü
E_c	: Betonun elastisite modülü
EI_o	: Çatlamamış kesit eğilme rijitliği
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
f_{ctk}	: Beton karakteristik çekme dayanımı
f_{ctm}	: Mevcut betonun çekme dayanımı
f_{yk}	: Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı
F	: Toplam yatay yük
$F_1(M,N,T)$	: Malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı doğrusal olmayan fonksiyonlar
F_i	: Kütlelerin toplandığı varsayılan noktalara etkiyen eşdeğer deprem yükleri
g	: Sabit yük
g_i	: Binanın i' inci katındaki toplam sabit yük
G	: Sabit yük
G_i	: i' inci kattaki sabit yükler toplamı
H_i	: Yapının i' inci katının temel seviyesinden yüksekliği

I	: Kesitin atalet momenti, yapı önem katsayısı
K	: Yapı tipi katsayısı
$K_1(\chi, \varepsilon, \gamma)$	: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını şekil değiştirmelere bağlı olarak ifade eden fonksiyon
$K_1(M, N, T)$	: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını kesit zorlarına bağlı olarak ifade eden fonksiyon
L_o	: Çatlama
L_1	: Plastik şekil değiştirmenin başlangıcı
L_2	: Kırılma
l_p	: Plastik mafsalsal boyu
M	: Eğilme momenti
M_{x1}	: x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hâkim) moda ait etkin kütle
n	: Hesap yüküne ait boyutsuz normal kuvvet, hareketli yük katılım katsayısı
N	: Normal kuvvet, binanın kat adedi
N_d	: Düşey yükler altında kolonda oluşan aksel basınç kuvveti
$P-\Delta$	: Yük parametresi – yer değiştirme
$P-\Delta_l$	: Yük parametresi – şekil değiştirme
Q	: Hareketli yük
q_i	: Binanın i' inci katındaki toplam hareketli yük
Q	: Hareketli yük
r	: Etki/kapasite oranı
R	: Yapı davranış katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
$R_a(T_1)$	: T_1 periyot değerindeki deprem yükü azaltma katsayısı
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
S	: Yapı dinamik katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_{ae1}	: Birinci moda ait elastik spektral ivme
S_d	: Spektral yer değiştirme
S_{de1}	: Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme
S_{di1}	: Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yer değiştirme
$S(T_1)$	: T_1 periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değeri
t	: Kesite etkiyen düzgün sıcaklık değişmesi

$T_1^{(1)}$	: Başlangıçtaki ($i = 1$) itme adımında birinci (hâkim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
T_0	: Zemin hâkim periyodu
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
T_A	: Spektrum karakteristik periyodu
T_B	: İvme spektrumundaki karakteristik periyot
T_e	: Etkin doğal periyot
u_n	: Tepe noktası yer değiştirmesi
$u_{xN1}^{(i)}$	: Binanın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yer değiştirme
$u_{xN1}^{(p)}$	: Binanın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yer değiştirme talebi
V	: Kesme kuvveti
V_b	: Taban kesme kuvveti
V_t	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$V_{x1}^{(i)}$	: x deprem doğrultusunda (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hâkim) ait taban kesme kuvveti
w_i	: Binanın i ' inci katının toplam ağırlığı
W	: Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
X	: Birim dönme (eğrilik)
χ_p	: Kesitin eğilme momentine karşı gelen birim dönme
Δ	: Yer değiştirme
ΔF_N	: Ek eşdeğer deprem yükü
Δ	: Yatay yer değiştirme
ε	: Birim boy değişmesi
ε_c	: Beton birim şekil değiştirmesi
ε_{cg}	: Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi
ε_{cu}	: Beton ezilme birim kısalması
ε_e	: Akma şekil değiştirmesi
ε_s	: Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
ε_{su}	: Donatı çeliğinin kopma uzaması
ε_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
ϕ_p	: Plastik eğrilik talebi
ϕ_t	: Toplam eğrilik talebi

ϕ_u	: Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik
ϕ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
Φ_{xN1}	: Binanın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
Γ_{x1}	: x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
η_{bi}	: i' inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
λ	: Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı
θ_p	: Plastik dönme talebi
μ	: Süneklik oranı, mekanik donatı oranı
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ_{sm}	: Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı
σ	: Gerilme
σ_e	: Akma gerilmesi
σ_p	: Orantı sınırı
σ_k	: Kopma gerilmesi
$\omega_1^{(1)}$	: Başlangıçtaki (i = 1) itme adımında birinci (hâkim) titreşim moduna ait doğal açısal frekans
ω_B	: İvme spektrumundaki karakteristik periyoda karşı gelen doğal açısal frekans
δ	: Yer değiştirme

KISALTMALAR

ADRS	: Acceleration Displacement Response Spectrum
ABYYHY' 98	: 1998 Türk Deprem Yönetmeliği
DBYBHY' 07	: 2007 Türk Deprem Yönetmeliği
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
ATC 40	: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings
BSSC	: Building Seismic Safety Council
CG	: Can Güvenliği
CP	: Collapse Prevention
EERC-UCB	: Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FEMA 273, 356,440	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
IO	: Immediately Occupancy
KSY	: Kapasite Spektrum Yöntemi
LS	: Life Safety
MN	: Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
SAP2000	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
SEAOC Vision 2000	: Structural Engineers Association of California
TDY'07	: 2007 Türk Deprem Yönetmeliği

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BETONARME YAPILARIN STATİK İTME ANALİZİ İLE PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Burak YÖN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2007, Sayfa: 111

Bu çalışmada; betonarme yapıların doğrusal olmayan statik itme analizi ile yapısal performanslarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Sayısal uygulama olarak, kat planları ve kat yüksekleri aynı olan üç boyutlu, beş katlı betonarme çerçeveli bir sistem göz önüne alınmıştır. Bu yapı sistemi, yüksek sünekliğe sahip yapı koşullarını sağlayacak şekilde TS500 ve DBYBHY-2007 kurallarına uygun olarak tasarlanmıştır. İncelenen yapı sistemi deprem etkisinin de dikkate alındığı değişik yük kombinezonları için SAP2000 ve İde Statik yapı analiz programlarıyla çözülmüştür. Tepki büyüklükleri olarak; yer değiştirme ve dayanım talepleri ile yapısal elemanların hasar seviyeleri değerlendirilmiştir. Ayrıca her iki programdan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapısal Performans, Statik İtme Analizi, Plastik Mafsal, Doğrusal Olmayan Davranış

ABSTRACT

Masters Thesis

DETERMINATION OF PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES USING PUSHOVER ANALYSIS

Burak YÖN

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

2007, Pages: 111

In this study, it is aimed to determine structural performance of reinforced concrete structures by using nonlinear static pushover analysis method. For numerical application, three dimensional five-story reinforced concrete frame system with the same story plans and story heights is considered. This structure system is designed to satisfy high-ductility structure conditions in TS500 and DBYBHY-2007. The investigated structure system is analyzed with SAP2000 and Ide Static structural analysis programs for different load combinations including earthquake effects. As response quantities, displacement and strength demands, and damage levels of structural elements are evaluated. The results of both program solutions are also compared.

Key Words: Structural Performance, Pushover Analysis, Plastic Hinge, Nonlinear Behavior

1. GİRİŞ

Aktif bir deprem kuşağının içinde bulunan ülkemizde; depreme karşı dayanıklı bina tasarımı büyük önem arz etmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı yani performans dayalı tasarım, yapıların deprem esnasındaki doğrusal olmayan davranışlarının tespit edilerek gerçek güvenlik derecelerinin belirlenmesiyle yapılmaktadır. Ayrıca, ülkemizin mevcut yapı stokunda yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların deprem güvenlikleri belirlenerek bu yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir.

Son yıllarda özellikle kentsel alanlarda meydana gelen depremlerde yapılardaki hasarların büyük oluşu ve çok fazla can kaybına neden olması, depreme dayanıklı yapı tasarımında hasar kontrolünün de göz önüne alınması gerektiğini göstermiştir. Bu gereksinimi karşılamak amacıyla, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings - ATC 40 [3] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA 273, 356 [4] raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının geliştirilmesi amacıyla ATC 55 [5] projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 [6] taslak raporu hazırlanmıştır. Bu çalışmaların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC) [7], American Society of Civil Engineers (ASCE) [8] ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) [9] tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır.

Depremlerde meydana gelen yapısal hasarın, yönetmeliklerin tanımladığı eşdeğer deprem yükleri altında yapısal elemanların mevcut dayanım kapasitelerinin aşılması ile doğrudan ilgili olmadığı, hasarın temel nedeninin sünek davranması öngörülen yapı elemanlarının şekil değiştirme kapasitelerinin aşılması ile ilgili olduğu daha önceden bilinmektedir. [1] Geleneksel yapı tasarım yöntemleri can güvenliğini sağlamak için (dayanım, düktilite, kullanılabilir hasar kontrolü, kayma limiti) gibi belirli ölçütlere sahiptir. Bugünkü tasarım yönetmeliklerinde sözü edilen performans dayalı tasarım, depreme maruz kalan herhangi bir yapıda meydana gelen hasarların belirlenen performans seviyeleriyle karşılanması şeklinde açıklanan daha genel bir tasarım felsefesidir. Bu felsefeye göre, geleneksel kuvvete dayalı tasarımın yerini alması için performans (deprem güvenliğine) dayalı tasarım ve değerlendirme ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. Meydana gelen gelişmeler çerçevesinde giderek daha yaygın olarak benimsenen bu yaklaşım, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde ve yeni yapıların deprem tasarımında, şekil değiştirmeye göre tasarım ilkesinin esas alınması öngörmektedir. Bu noktada temel sorun, kaçınılmaz olarak doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınmasını zorunlu kılan bu yaklaşımın, geleneksel

olarak doğrusal davranışa koşullandırılmış biçimde gelişen mühendislik pratiğine sokulmasında ortaya çıkmaktadır. İşte bu sorunu açmak üzere önerilen basitleştirilmiş çözüm Doğrusal Olmayan Statik Yöntem'dir. Bu yöntemin temel aracı ise Statik İtme Analizi (Pushover Analysis)'dir. Kritik kesitlerdeki doğrusal olmayan davranışın genellikle plastik mafsalları hipotezi ile modellendiği bu analizde, analiz sırasında değişmeyen (invariant) bir dağılıma göre veya her adımda değiştirilen (adaptive) dağılımlara göre sisteme etki ettirilen yatay yüklerin genliği adım adım arttırılmakta ve her adımda iç kuvvetler, yer değiştirmeler ve plastik şekil değiştirmeler hesaplanmaktadır. İtme analizinin sonucunda elde edilen global itme eğrisi (pushover curve), taban kesme kuvvetinin en üst kattaki yatay yer değiştirmeye göre doğrusal olmayan değişimini göstermektedir. Ancak Doğrusal Olmayan Statik Yöntem'in esas amacı, verilen bir deprem etkisi altında sistemde oluşan maksimum yer değiştirmelere ve özellikle maksimum plastik şekil değiştirmelere ilişkin deprem talebinin belirlenmesi, daha sonra bu talep değerlerinin, seçilen performans düzeyleri için tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması ve böylece yapısal performansın değerlendirilmesidir [1].

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada betonarme yapıların performans değerlendirmesinin yapılması amaçlanmıştır. Bunun için kat planları aynı olan üç boyutlu, beş katlı betonarme çerçeveli bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yapının deprem performansının belirlenmesi için daha sonraki bölümlerde tanımlanacak yöntemlerden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü ile İtme Analizi Yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek; söz konusu yapı sisteminin deprem performansları ve deprem güvenlikleri belirlenmiştir. Seçilen betonarme çerçeveli sistem, TS 500 ve DBYBHY-2007 kurallarına uygun, sünekliği yüksek yapı koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Yapının performansı belirlenirken 50 yıllık süreç içinde aşılma olasılığı %10 (yaklaşık 475 yıllık süreçte tekrarlayan) olarak tanımlanan tasarım deprem etki seviyesi seçilmiştir.

Çalışmada aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

- a) Seçilen yapı sisteminin değerlendirilmesi için doğrusal olmayan hesap yöntemleri incelenmiştir.
- b) Sayısal analiz için taşıyıcı sistem modeli tasarlanmıştır.
- c) Bu sistemin, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü ile İtme Analizi Yöntemine göre deprem performansı tespit edilmiştir.
- d) Çalışmada varılan sonuçlar değerlendirilmiştir.

1.2. Analizin Gelişimi ve Konuyla İlgili Yapılan Çalışmaların İncelenmesi

Günümüzde performansa dayalı tasarım gelişme ve değişme süreci içindedir. Son yönetmeliklere göre inşa edilen yapılar depremler esnasında can güvenliği açısından nispeten iyi performans göstermesine rağmen; yapının hasar seviyesi, kullanım azalması sebebiyle oluşan ekonomik kayıplar ve onarım maliyetinin beklenmedik derecede yüksek olması yönetmeliklerde değişikliğe ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır [2].

Performansa dayalı tasarım, geleneksel sismik tasarım yöntemlerini önemli artırımlarla kapsayan yeni güçlü bir yaklaşımdır. Bir limit durum performans amacının şekli olabilmektedir. İlk olarak hedef deplasman tek serbestlik dereceli sistemi ifade eden modele tepki parametresi olarak uygulanmıştır. Deplasman açısından yapısal tepki, dönmeyle oluşan hasar miktarı ile ilgili olduğu varsayılan şekil değiştirmeye dayalı limit durumla açıklanabilir. Hasar seviyesi bakımından bir yapının tanımlanan performans seviyesi için şekil değiştirme ve deformasyon, hasarı gerilmeye göre daha iyi ifade etmektedir. Tasarımda kullanılabilir limit şekil değiştirmelerin kullanılması tutarlı bir değerlendirme sağlamaktadır. Kullanımın azalmasıyla ilişkili olan maliyetleri ve ağır hasarlı yapıların yüksek onarım maliyetlerini azaltmak için, farklı performans seviyelerinin düşünülmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Performansa dayalı tasarım ile deplasmana dayalı tasarım birbiri yerine kullanılabilir. Bu durum, dönmenin yer değiştirme ve kaymayla ilişkilendirilebildiği fikrine dayanmaktadır. Bununla birlikte, hasar seviyesi yapısal hasarın birikim ve dağılımı, elemanların ve bileşenlerin hatalı modları, dönme seviyeleri, deprem sürekliliği ve ivme seviyeleri gibi birkaç farklı parametre tarafından etkilendiğinden dolayı bu varsayım oldukça basittir. Yapısal sistemlerin hasarını ilişkilendirmek için değişik yer hareketi karakteristiklerini hesaba katarak hasar indeksi vasıtasıyla bir prosedür yapılmıştır. Etkili tasarım ölçütü için hasar ve kayma arasındaki ilişki gerçek depremlerde yapıların performansına göre ayarlanmalıdır. Aslında yer değiştirmeye dayalı tasarım, performansa dayalı tasarımın bir alt kümesi olarak düşünülmektedir. Yer değiştirme veya kayma gibi tek bir tasarım parametresi yapısal veya yapısal olmayan sistemler için bütün performans hedeflerini yeterli derecede karşılamayabilir. Örneğin kısa periyotlu yapılar için eleman akma sonrası limit durumunu aştığında, kuvvete veya gerilmeye dayalı tasarım deplasmana dayalı tasarımdan daha uygundur. Performansa dayalı tasarım için genel yöntem değişik yaklaşımlar içerebilmektedir. Yaklaşımın birinde geleneksel kuvvete dayalı analiz yapılmaktadır. Analizin sonunda deformasyon miktarı ve hasar durumu elde edilmektedir. Elde edilen sonuçlar, hasar limitlerine göre kontrol edilebilmektedir [2]. Doğrusal olmayan itme analizinin gelişimi ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar aşağıda ifade edilmektedir. Bu çalışmalar yöntemin gelişmesi açısından önem arz etmektedir.

1994 yılında Lawson R.S. , Vance V. , Karwinkler H. tarafından doğrusal olmayan statik artımsal itme analiz yöntemlerinin hangi durumlarda ve nasıl kullanılması gerektiği konusunda detaylı bir çalışma yapılmıştır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin getirdiği sınırlamalar ve bu yöntemlerin uygulanmasında karşılaşılan temel sorunlar ve yatay yük dağılımına bağlı olarak analiz sonuçlarının değişimi üzerinde durulmuştur [34].

Bunun ardından 1995 yılında Moghadam A.S. , Tso W.K. tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yüksek katlı yapı sistemlerinde deprem esnasında büyük hasarlara neden olan burulma düzensizliğinin hasar seviyesine etkisini göstermek üzere, simetrik olmayan yapılarda doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin kullanımı üzerinde durulmuştur [35].

Tso W.K ve Moghadam A.S. 1996 yılında eksantrik çok katlı yapıların hasar potansiyellerinin belirlenmesi için basitleştirilmiş bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada yapıların deprem sırasındaki davranışlarında birinci mod etkilerinin hâkim olduğu kabul edilmiştir [36].

Kılar V. ve Fajfar P. 1997’de yaptıkları çalışmada, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artmakta olan yatay yükler etkisindeki yapıların doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi için bir yöntem geliştirmiştir. Yöntemde yapıların düzlemsel makro elemanlardan oluştuğu kabul edilmiştir. Her bir düzlemsel makro eleman için doğrusallaştırılmış taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi dikkate alınmıştır. Buna göre adım adım işlem yapılarak tüm yapı sistemi için toplam taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi hesaplanmıştır [37].

Krawinkler H. ve Seneviranta G.D.P.K. tarafından 1998’de yapılan çalışmada, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin dayandığı temel ilkeler özetlenmiş, yöntemlerin hassasiyeti değerlendirilmiştir [38].

Sasaki K.K. , Freeman S.A. ve Paret T.F. tarafından 1998’de yüksek mod etkilerine bağlı olarak yapıların göçme mekanizmalarının belirlenmesine yardımcı olacak, yüksek mod esaslı doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem kullanılmakta olan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin kolaylıklarını devam ettirerek, bu analizlerin yüksek mod etkilerinin de kapsayacak şekilde genişletilmiş halidir [39].

Moghadam A.S. ve Tso W.K. 1998 yılında, yüksek mod ve burulma etkilerini de dikkate alacak şekilde doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi geliştirilmiştir [40].

1998 yılında Faella G. ve Kılar V. tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yapıların sismik analizi için kullanılan üç boyutlu doğrusal olmayan statik artımsal itme

analizlerin kabul edilebilirliğine araştırmak üzere, doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi sonuçları ile kıyaslanmıştır [41].

1999 yılında Kim S.D. , Hong W.K. ve Ju Y.K. tarafından, elastik ötesi bölgelerde elemanların değişen rijitliklerine bağlı olarak değişen mod şekilleri ile orantılı kuvvet dağılımlarını esas alan, bir dinamik elastik ötesi analiz yöntemi sunulmuştur. Bu yöntemde yapının elastik ötesi davranışa girmesiyle birlikte, yatay yüklerin dağılımı mod şekline göre değişmektedir [42].

Chopra A.K. ve Goel R.K. 2001 yılında, sabit yatay yük dağılımını esas alan mevcut doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerindeki temel kavramların ve hesap kolaylıklarının korunduğu, yapı dinamiği teorilerini esas alan bir elastik ötesi statik itme analizi yöntemi geliştirmiştir. Geliştirilen bu yüksek mod esaslı elastik ötesi artımsal itme analizinde (Modal Pushover Analysis, (MPA)), artan deprem yüklerine bağlı olarak oluşan sismik talep, her bir moda ait atalet kuvvetlerinin dağılımı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleri ile belirlenmektedir [43].

2001 yılında Kilar V. ve Fajfar P. tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yapıların sismik tasarımı ve değerlendirilmesinde kullanılmakta olan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin kabul edilebilirliği araştırılmıştır. Yapı sistemleri için elde edilen toplam taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisinin idealleştirilmesini esas alan analiz yöntemleri üzerinde durulmuştur [44].

2002 yılında Antoniou S. , Rovithakis A. ve Pinho R. tarafından doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin bazı kısıtlamalarını azaltmak üzere, yeni bir doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem, yapının elastik ötesi davranışının çeşitli kademelerinde, elemanların değişen rijitliklerine ve yapı sisteminin dinamik özelliklerine bağlı olarak, yapı sistemi yüksekliği boyunca yatay yük dağılımının değişimini dikkate almakta ve yüksek mod etkilerini içermektedir [45].

Almeida R. ve Carneiro-Barros R. tarafından 2003’de yapılan çalışmada, birinci doğal titreşim modu şekline göre yatay yük dağılımı uygulanması durumunda çok iyi sonuçlar veren, fakat yüksek mod etkilerinin önemli olduğu yapılarda bu hassasiyetini kaybeden doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerine alternatif olarak her modun katılımını içeren bir yatay yük dağılımı geliştirilmiştir [46].

2003 yılında Chintanapakdee C. ve Chopra A.K. tarafında yüksek mod esaslı doğrusal olmayan statik modal artımsal itme analizlerinin (Modal Pushover Analysis, (MPA)) hassasiyetini belirlemek için 3, 6, 9, 12, 15, 18 katlı çerçeveler kullanılmıştır. Yüksek mod esaslı statik itme analizleri ve California depremlerine ait kayıtlar kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilerek, kat ötelenmeleri hesaplanmış ve birbiri

ile kıyaslanmıştır. Çalışmada ilk iki veya üç mod etkisini dikkate alarak yapılan yüksek mod esaslı statik itme analizlerinin doğrusal olmayan dinamik analizler ile tutarlı sonuçlar verdiği gösterilmiştir [47].

Jan T.S. , Liu M.W. ve Kao Y.C. tarafından 2004 yılında, yüksek mod etkilerini de dikkate alan, çok katlı yapıların sismik taleplerini belirlemek için bir statik itme analiz yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem Taiwan şartnamesine göre güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesi ile tasarlanmış 2, 5, 10, 20 ve 30 katlı çerçeveler üzerinde uygulanmıştır. İki modun yeterli sonuçlar verdiği ve diğer yüksek mod etkilerinin ihmal edilebileceği, yapılan çalışmada vurgulanmaktadır. Buna göre sadece ilk iki modu dikkate alarak gerçekleştirilen statik itme analizler sonucunda seçilen yapılara ait yatay kat yer değiştirmeleri, göreceli kat ötelenmeleri ve plastik mafsallarda dönme değerleri elde edilmiştir. Yöntemin hassasiyeti üçgen yük dağılımı ile yapılan statik itme analizleri, yüksek mod esaslı statik itme analizleri ve doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar kıyaslanarak saptanmıştır [48].

Gelecekte sismik tasarımın çok yönlü performans hedeflerine ihtiyaç duyacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte performansa dayalı tasarımın uygulama yöntemleri konusunda farklı bakış açıları da gelişmektedir. Performansa dayalı tasarım kavramı için temel uzantılarıyla birlikte birkaç dokümana itibar edilmektedir. Bu dokümanlar SEAOC Vision 2000 [12], ATC-40 [3], FEMA 273 ve 274 [4] dir [2].

Bu çalışmalar ışığında çeşitli prosedürler oluşturulmuştur. Bu prosedürler aşağıda açıklanmıştır.

SEAOC Vision 2000 [12]'ün amacı önceden tahmin edilebilen sismik performansın yapıların tasarımında yol gösteren yönetmeliklerin iskeletini oluşturmak ve çok yönlü performans hedeflerini geliştirmektir. Doküman yapısal ve yapısal olmayan sistemler için performans seviyelerini göstermektedir.

ATC-40 dokümanında performansa dayalı tasarım, performans hedefinin sağlanmasına dayanan yapısal kriterin gösterildiği yöntemi işaret etmektedir. ATC-40 betonarme binalar için sınırlandırılmıştır ve kapasite spektrum yönteminin kullanılmasıyla uygulanmaktadır. Yönetmelik kapasite ve talep spektrumunun belirlenmesini öngörmektedir. Kapasite spektrumunu oluşturmak için, doğrusal olmayan statik itme analizi kullanılarak yapı üzerindeki bir noktanın kuvvet-yer değiştirme eğrisi belirlenmektedir. Kuvvetler ve yer değiştirmeler; spektral ivmeler ve tek serbestlik dereceli eş sistemi kullanan spektral yer değiştirmelere dönüştürülmektedir. Deprem talepleri oldukça yüksek sönümlenmiş elastik spektrum ile ifade edilmektedir. Performans noktasında sismik kapasite, ivme (dayanım) ve yer değiştirme (talep) tahminini sağlayan değere eşit varsayılmaktadır [2].

FEMA–273 dokümanı, olası yer hareketiyle ilişkili olan performans hedeflerinin değişimini sunmaktadır. Çok seviyeli performans için analiz ve tasarım yöntemleri doğrusal elastikten doğrusal elastik olmayan zaman tanımlı analize dağıtılmaktadır. FEMA–273 yapısal olmayan eleman ve sistemler için performans seviyelerini tanımlar ve farklı performans seviyelerinde değişik yanal yük direnimli yapısal sistemler için kayma limitlerini gösterir [2].

Yeni binaların tasarımı ve mevcut binaların geliştirilmesi için performansa dayalı sismik tasarımın oluşturulmasından sonra yeni tasarım yönetmelikleri ve ana hatların gelişimi için bir etki planı önerilmiştir. Etki planı taslak çalışmaları için performans amaçlarını, tasarım ana hatlarının gelişimini ve yorumunu, maliyet/yarar durumlarını tanımlamaya ihtiyaç duyulmaktadır [2].

2. YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

Yapılar elastik sınıra kadar olan yükler altında doğrusal davranış gösterirler. Sistemin doğrusal davranış gösterdiğini kabul eden hesap yöntemleri, yer değiştirmelerin çok küçük olduğunu varsayarak malzemeye ait gerilme-şekil değiştirme bağıntılarını doğrusal-elastik olarak kabul etmektedir. Fakat şiddetli deprem etkisinde ortaya çıkacak olan deprem kuvvetlerini yapıların doğrusal davranış sınırları içinde karşılaması mümkün değildir [32]. Bu kuvvetlerin artarak yapının taşıma gücüne yaklaşmasıyla elastik sınır aşılar ve yer değiştirmeler küçük sayılamayacak değerlere ulaşmaktadır. Bu sayede yapının ayakta kalabilmesi için doğrusal davranıştan çok doğrusal olmayan davranış önem kazanmaktadır. Herhangi bir yapının dış etkiler altında yapılan hesaplamalarında, yapı elemanlarında oluşan kuvvetler ile yer değiştirmeler arasında;

- Yapı sisteminin herhangi bir düğüm noktasında birleşen elemanların deplasmanları ile mesnetlerdeki geometrik şartlarından elde edilen geometrik uygunluk şartları,
- Malzemenin yükler altındaki davranışını gösteren gerilme - şekil değiştirme bağıntılarına bağlı olarak oluşan bünye denklemleri,
- Düğüm noktalarının dengesi ile elemanların dengesinden elde edilen denge denklemleri,

gibi şartlar vardır. Bu üç şarta bağlı olarak yapı analizlerinde gereken denklemler üretilmektedir [33].

2.1. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışının Nedenleri

Yapı analizleri yapılırken hesaplanan sistemlerin davranışında doğrusal olmamayı etkileyecek nedenler iyice irdelenmelidir. Yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki doğrusallığını engelleyen çeşitli sebepler vardır. Bunlar, malzeme özelliklerinin doğrusal olmaması nedeniyle bünye denklemlerinin doğrusal olmaması ve geometri değişimlerinden kaynaklanan denge denklemlerinin doğrusal olmamasıdır. Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri göz önüne alan teoriler tablo 2.1’de gösterilmektedir.

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	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

Yer değiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde denge denklemleri şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır. Geometrik uygunluk koşullarında, yer değiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde ise, geometrik süreklilik denklemlerinin de şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir.

Yer değiştirmelerin denge denklemlerindeki etkisinin ihmal edilemeyecek mertebeye ulaştığı sistemlerde, denge denklemleri şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır.

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

Malzemenin doğrusal olmayan davranışının ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerine etkisinin dikkate alındığı bu teori İkinci Mertebe Elasto-plastik Teori olarak adlandırılmaktadır.

2.2. Malzeme Davranışının Doğrusal Olmaması

Doğrusal olmayan analizlerde, yapı malzemelerinin gerçek gerilme - şekil değiştirme bağıntıları kullanılarak hesap yapılmaktadır. Malzemelerin gerçek gerilme - şekil değiştirme bağıntıları ise doğrusal davranış göstermediğinden yapı sistemlerinin hesabı da doğrusal olmamaktadır. Malzeme davranışının doğrusal özellik göstermediği yapı sistemlerinin öncelikle malzemenin gerilme - şekil değiştirme davranışının idealleştirilmesi gerekmektedir. Örneğin, betonun gerilme - birim şekil değiştirme eğrisini birçok değişken etkilemektedir. Deney sonuçları, gevrek bir malzeme olan betonun gerilme - birim kısalma diyagramının doğrusal olmadığını göstermiştir [30].

Betonun $\sigma - \varepsilon$ eğrisinin şekli ve maksimum birim kopma uzaması, beton mukavemetine göre değişmektedir. Beton mukavemetinin $\sigma - \varepsilon$ eğrisi üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla yapılan deneyler sonucunda;

- Farklı mukavemete sahip betonlar için elde edilen farklı $\sigma - \varepsilon$ eğrilerinin elastisite modülü olarak ifade edilen başlangıç eğimlerinin, beton kalitesi yükseldikçe arttığı,
- Yüksek mukavemetli betonların tepe noktalarının daha belirgin olduğu,
- Düşük mukavemetli betonların, yüksek mukavemetli olanlara oranla daha fazla süneklığe sahip olduğu,
- Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalmanın, beton mukavemetinden bağımsız olarak 0.002 mertebesinde olduğu,

sonuçları elde edilmiştir [30].

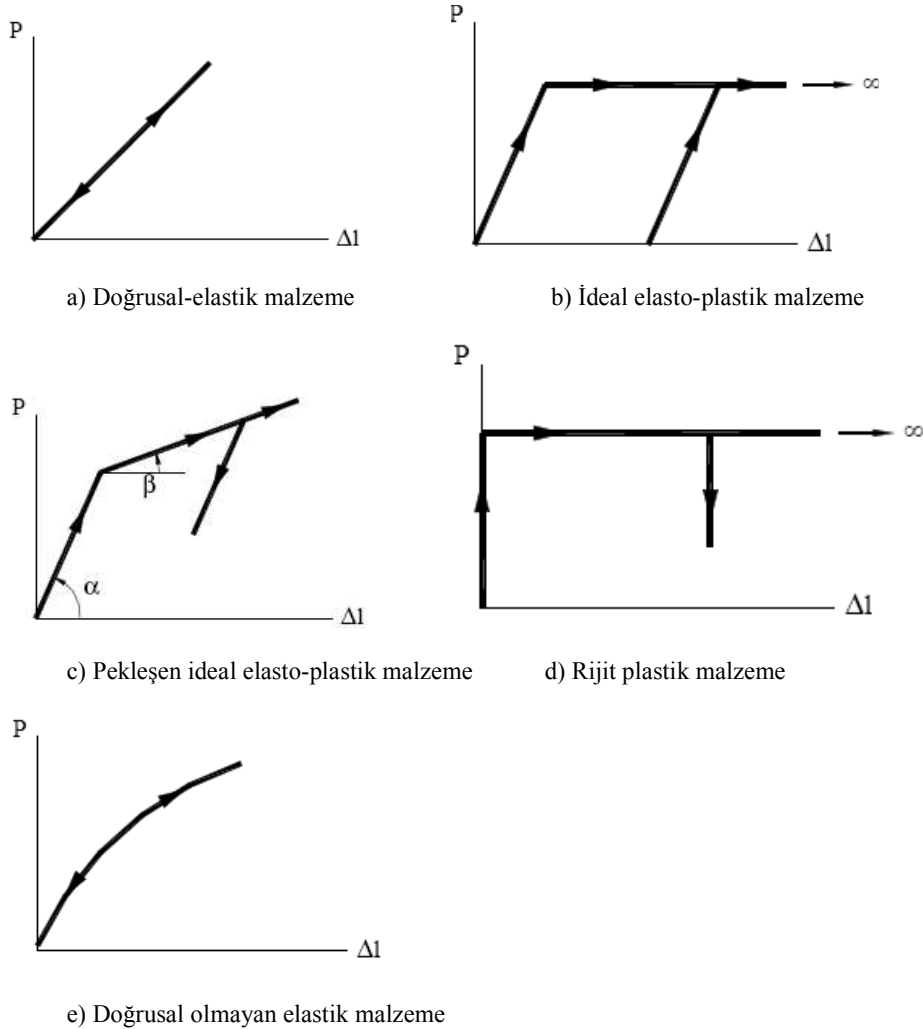
Aynı beton numunelerin farklı yükleme hızına maruz bırakılmaları $\sigma - \varepsilon$ eğrisinin özelliklerini farklı kılmaktadır. Bu konuda da birçok deneysel gözlem yapılmış ve yükleme hızı azaldıkça mukavemetin düştüğü, buna karşılık süneklığın önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle, betonun sabit ve ölü yükler altındaki davranışı ile deprem gibi ani gelen yüklemeler altındaki davranışı oldukça değişiktir. Beton basınç deneyinde, kırılmaya yakın bir noktada yük boşaltıldığı takdirde kalıcı bir şekil değiştirme elde edilmekte, numune tekrar yüklendiğinde, $\sigma - \varepsilon$ eğrisinin eğimi değişmektedir. İkinci yüklemede birinci tepe noktasına ulaşamamaktadır. Betonun kırılma anındaki birim kısalmasını, yükleme hızı, kesit boyutları, kesit geometrisi, yükün ekzantiritesi gibi birçok değişken etkilemektedir [30].

Betonun $\sigma - \varepsilon$ eğrisinin değişimini belirlemek için basınç deneyleri yapılmaktadır. Fakat bu deneyler tek eksenli deneyler olduğu için betonun şekil değiştirmesini net olarak veremez. Bunun için yanal basınçları dikkate alan deneyler yapıldığında gerçekçi sonuçlar elde edilebilir. Betonun davranışını doğrusallıktan uzaklaştıran başka iki etken de rötre ve sünmedir. Rötre ve sünme, betonda zamana bağlı şekil değiştirme meydana getirmektedir. Bunlar davranışı doğrudan etkileyen etkenlerdir.

Çeşitli yapı malzemelerinin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları ile düzlem ve uzay çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları aşağıda belirtilmiştir.

2.3. İdeal Malzemeler

Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek malzemelerin elastik ve plastik özelliklerinin göz önüne alınmasıyla tek eksenli gerilmeye göre bazı idealleştirmeler yapılabilir. Yapılan bazı idealleştirmelere göre ideal malzemeler şekil 2.1 de gösterilmiştir.



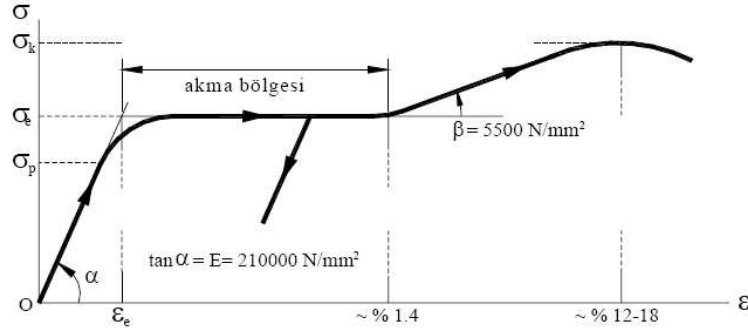
Şekil 2.1 İdeal Malzemeler

Burada (a) doğrusal elastik malzeme akma sınırına kadar doğrusal elastik davranış göstermektedir. (b) İdeal elasto-plastik malzemedeki akma sınırı kabul edilmektedir. Pratik uygulamalarda ise belirli bir akma sınırı belirlenmektedir. (c) Pekleşen elasto-plastik malzemedeki akma halinde gerilmeler sabit değildir, aksine artmaktadır. (d) Rijit plastik malzeme davranışını pekleşen elasto-plastik malzeme davranışına benzemektedir.

2.3.1. Yapı Malzemelerinin Gerilme-Şekildeğiştirme Bağlılıları

Beton çeliği ve eğilme etkisindeki betonun dış basınç lifinin gerilme-şekil değiştirme $\sigma - \varepsilon$ diyagramları ve bu diyagramlara ait bazı sayısal değerler aşığıda verilmiştir.

a) Beton Çeliği

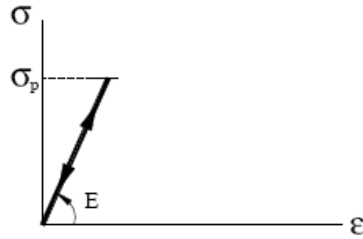


Şekil 2.2 Beton çeliğinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı

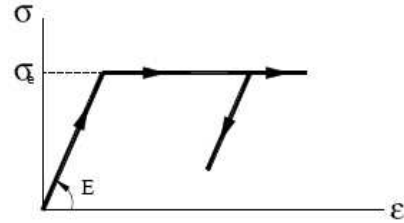
Bu diyagramı tanımlayan σ_k kopma gerilmesi, σ_e akma gerilmesi ve ε_e akma şekil değiştirmesinin S420 beton çeliği için aldığı değerler aşığıda verilmiştir:

S420 beton çeliği : $\sigma_k = 500 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_e = 420 \text{ N/mm}^2$ ($\varepsilon_e = 0.002$)

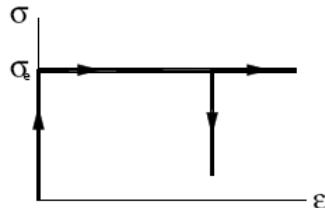
Betonarme çeliği şekil 2.3'deki gibi idealleştirilmektedir.



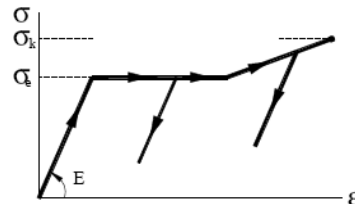
a) Doğrusal-elastik malzeme



b) İdeal elasto-plastik malzeme



c) Rijit plastik malzeme

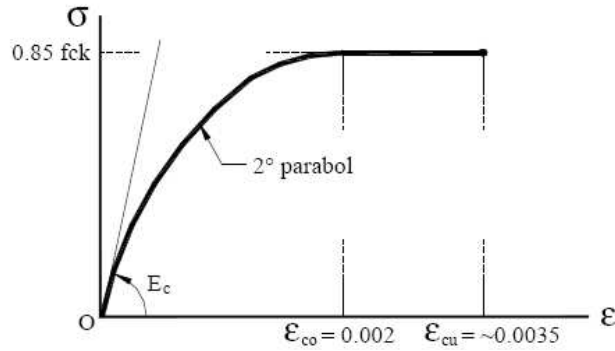


d) Pekleşen ideal elasto-plastik malzeme

Şekil 2.3 $\sigma - \varepsilon$ Diyagramlarının idealleştirilmesi

b) Beton

Beton basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı ise nispeten düşük olan gevrek bir yapı malzemesidir. Değişik beton dayanımlarına bakıldığında düşük dayanıma sahip betonların büyük şekil değiştirme kapasitesine sahip olduğu, yani sünek davranış gösterdiği görülmüştür. En büyük gerilmenin sargısız betonda basınç kısılması ε_{cu} 0.002–0.0025 değerlerinde ve en büyük kısılmanın da sargılı ve fretli betonda 0.003'den başlayarak 0.005'e kadar arttığı görülmektedir. Bu artışın sebebi betonun çevresinde sargıdan dolayı meydana gelen yanal basınç etkisidir. Örnek olarak betonarme bir malzemenin eğilmesinde dış basınç lifindeki $\sigma - \varepsilon$ bağıntısı şekil 2.4'da gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Betonarme çubuğun eğilmesinde dış basınç lifindeki $\sigma - \varepsilon$ diyagramı

Bu diyagramda f_{ck} karakteristik basınç dayanımını, E_c ise

$$E_c = 3250\sqrt{f_{ck}} + 14000 \text{ MPa} \quad (2.1)$$

formülü ile hesaplanan beton elastisite modülünü göstermektedir.

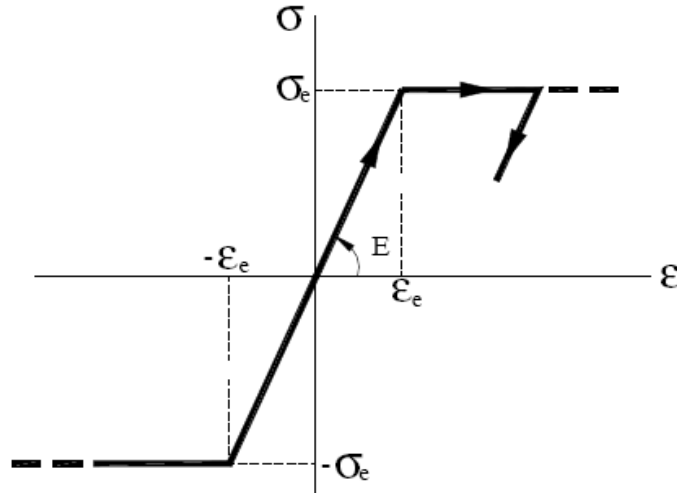
2.4. İdeal Elasto-Plastik Malzemeden Yapılmış Çubuklar

Bu bölümde, ideal elasto-plastik malzemeden yapılmış çubuklarda kesit zorları ile şekil değiştirmeler arasındaki bağıntılar ve akma koşulları hakkında bilgi verilecektir. Uygulamada, yapı çeliği genellikle ideal elasto-plastik malzeme olarak idealleştirilebilmektedir. İdeal elasto-plastik malzemenin tanımı uyarınca, $\sigma - \varepsilon$ diyagramının

$$0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e \quad \text{için} \quad \sigma = E\varepsilon \quad (2.2)$$

$$\varepsilon \leq \varepsilon_e \leq \infty \quad \text{için} \quad \sigma = \sigma_e \quad (2.3)$$

şeklinde iki doğru parçasından oluştuğu, çekme ve basınç yüklemeleri altında malzemenin aynı özellikleri gösterdiği göz önünde tutulacaktır, şekil 2.5. Burada E elastisite modülünü, σ_e ise akma gerilmesini göstermektedir. Ayrıca, dik kesitin şekil değiştirdikten sonra da düzlem kaldığı (Bernoulli - Navier hipotezi) ve kesme kuvvetinin eğilme ve uzama şekil değiştirmelerine etkisinin ihmal edilebileceği varsayımları yapılmaktadır [11].



Şekil 2.5 İdeal elasto-plastik malzemedeki $\sigma - \varepsilon$ diyagramı

2.4.1. Betonarme Çubuklar

Bu kısımda eğilme momenti ve normal kuvvet (bileşik eğilme) etkisindeki betonarme çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları ile akma (kırılma) koşulları incelenerek bu bağıntı ve koşulların nasıl idealleştirilebileceği açıklanacaktır. Basit eğilme ($M \neq 0, N = 0$) etkisindeki çubuklar, incelenen genel durumun özel bir halini oluşturmaktadır [11].

a) Varsayımlar ve Esaslar

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

- Dik kesitler şekil değiştirdikten sonra da düzlem kalmaktadır.
- Beton ve donatı arasında tam aderans bulunmaktadır.
- Çatlamış betonun çekme dayanımı ihmal edilmektedir.
- Betonun $\sigma - \varepsilon$ diyagramı için şekil 2.4 da verilen parabol dikdörtgen modeli esas alınmıştır.

- Beton çeliğinin $\sigma - \varepsilon$ diyagramı için ideal elasto-plastik malzeme varsayımı yapılmaktadır [11].

b) Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisindeki Çubuklar

b1) Eğilme Momenti – Birim Dönme ($M - \chi$) Bağıntısı

Sabit normal kuvvet ($N = N_0$) altında, artan eğilme momenti ile zorlanan betonarme bir kesitte M eğilme momenti ile χ birim dönmesi (eğriliği) arasındaki bağıntı üç bölgeden oluşmaktadır, şekil 2.6. Bu bölgeleri sınırlayan L_0 , L_1 ve L_2 noktalarına karşı gelen durumlar aşağıda açıklanmıştır.

L_0 : 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

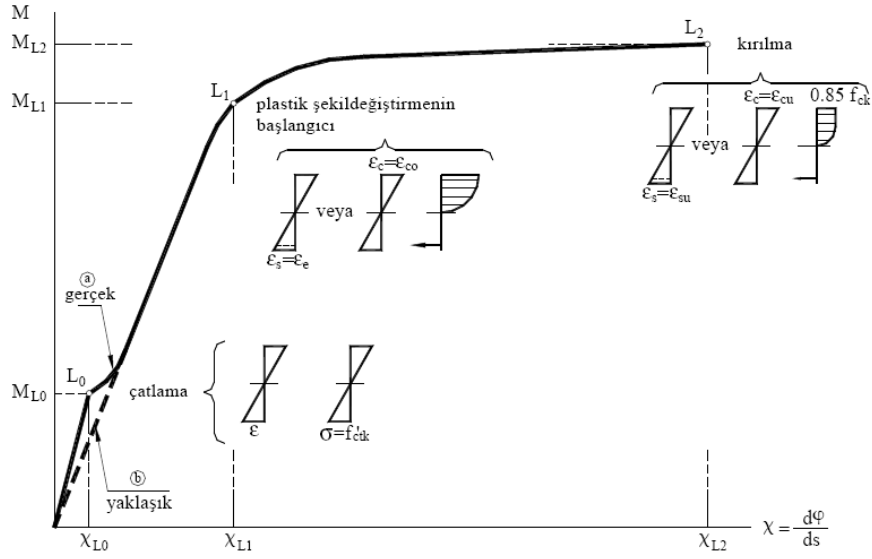
$$f'_{ctk} = 0,70 \sqrt{f_{ck}} \text{ N/mm}^2 \quad (2.4)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

L_0 çatlama noktasına karşı gelen M_{L_0} momentinin hesabında beton kesitin homojen olduğu varsayılmakta ve betonun $\sigma - \varepsilon$ 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 $\varepsilon_{cu} = 0.002$ birim kısalmasında, çelikte ise ε_e akma sınırında başladığı göz önünde 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 donatısına bağlı olarak artmaktadır. Betonarme kesitlerin boyutlandırılmasında, çekme donatısının kopması yerine, genellikle çelikteki birim uzamanın $\varepsilon_{su} = 0.01$ değeri ile sınırlandırılması esas alınır.



Şekil 2.6 Betonarme kesitlerde $M - \chi$ diyagramı

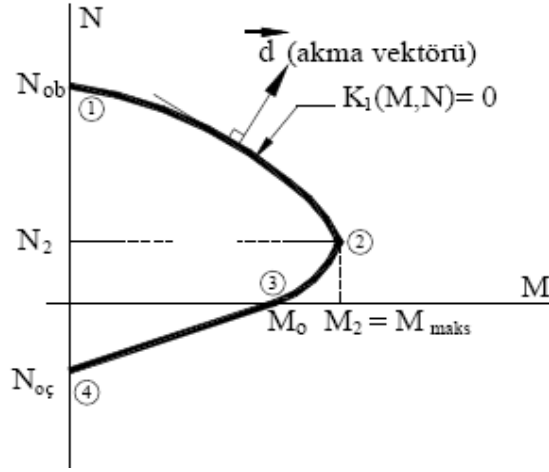
Betonun çekme dayanımının ihmal edildiği durumlarda, $M - \chi$ bağıntısının çatlamadan önceki bölümü yaklaşık olarak (b) eğrisi ile temsil edilmektedir. Betonarme kesitlerin taşıma gücüne göre boyutlandırılmasında, betonun ve çeliğin karakteristik dayanımları malzeme güvenlik katsayılarına bölünerek küçültülür. Buna karşılık, betonarme sistemlerin dış yükler altındaki davranışlarının incelenmesinde malzeme güvenlik katsayılarının kullanılmasına ve çelikteki birim uzamanın $\varepsilon_{su} = 0.01$ değeri ile sınırlandırılması gerekmez [11].

b2) Akma Koşulu (Karşılıklı Etki Diyagramı)

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki betonarme bir kesitte taşıma gücünü ifade eden karşılıklı etki diyagramı şekil 2.7 de gösterilmektedir. 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 aktığı) ifade etmektedir. Bu nedenle, karşılıklı etki diyagramına akma eğrisi de denilmektedir.

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

bağıntısı ile tanımlanan akma eğrisi N normal kuvvetinin çeşitli değerleri için hesaplanan $M_{L2} = M_p$ eğilme momentleri yardımı ile elde edilebilir [11].



Şekil 2.7 Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi)

2.5. Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmelerin Belirli Kesitlerde Toplandığının Varsayılması Hali

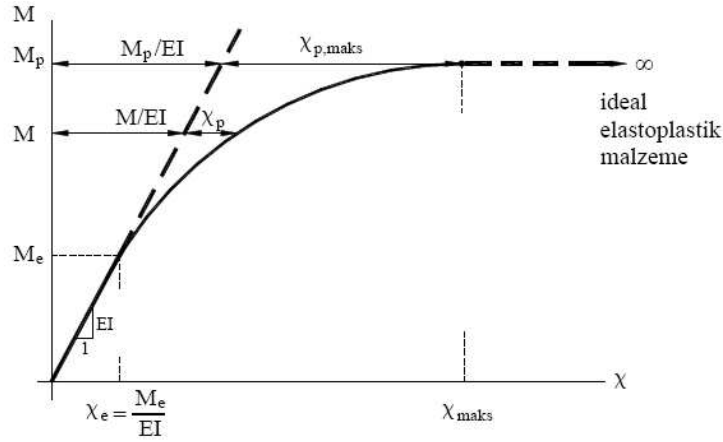
Malzeme bakımından doğrusal olmayan ve yeterli düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsallık (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, sistemin diğer bölümlerinin ise doğrusal-elastik davrandığı varsayımı yapılabilir [11].

2.5.1. Doğrusal Olmayan Analizde Plastik Mafsallık Hipotezi

Betonarme kesitlerde moment etkisi altında dönme meydana gelmektedir. Yeterli sünekliliğe sahip betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik ($M - \chi$) ilişkileri incelendiğinde, bu bağıntılarının esas olarak iki farklı bölgeden oluştuğu gözlenmektedir. Birinci bölgede, eğilme momentinin düşük değerleri için, moment eğrilik bağıntısı yaklaşık olarak doğrusal-elastik kabul edilmektedir. Bu bölgede, kesitteki beton ve çelik doğrusal davranış bölgesinde kaldığı için moment-eğrilik bağıntısı da benzer davranış göstermektedir. Fakat kesitte gerilmelerin artmasına paralel olarak çekme bölgesinde beton çatlar ve donatı akar. Kesitteki gerilmelerin artmasıyla birlikte, betonda ve çelik de doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin kesitin davranışında hâkim olmaya başlaması, kesitin eğilme momenti-eğrilik bağıntısının doğrusal davranışı sona erer. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde, eğri yataya yakın olmaktadır. Plastik davranışın hâkim olduğu bu bölgede, kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük artışlar meydana gelirken kesit dönmeleri ve eğrilik hızlı bir şekilde artmakta ve eğriliğin sınır değerine erişmesi ile kesitte güç tükenmesi meydana gelmektedir [29].

Betonarme kolon ve kiriş gibi elemanlarda eğilme momenti elemanın eksen boyu boyunca değişir. Kritik kesitin bulunduğu sınırlı bölgenin dışındaki kesitler güç tükenmesine erişmez. Bazı kesitlerde momentin küçük olması sebebiyle çekme bölgesinde çatlama oluşmaz. Küçük moment değerlerinde moment ile eğrilik doğrusal davranış gösterirler. Ancak, kesitte meydana gelen çatlakların kesitin atalet momentini azaltmasından dolayı eğrilik çatlak kesitlerinde büyüdüğü görülmektedir. Mesnede yakın bölgelerde eğilme momenti büyük olduğu için elastik davranış ötesi plastik dönmeler daha etkili olur [15].

Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan μ süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsalları verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, plastik mafsalları (plastik kesit) hipotezi adı verilir. Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren sistemlerde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsalları hipotezi yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir [11]. Gerçek eğilme momenti – eğrilik bağıntısı Şekil 2.8 de verilen düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramının, toplam eğilmeleri ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri Şekil 2.9, 2.10 ve 2.11 de gösterilmektedir.

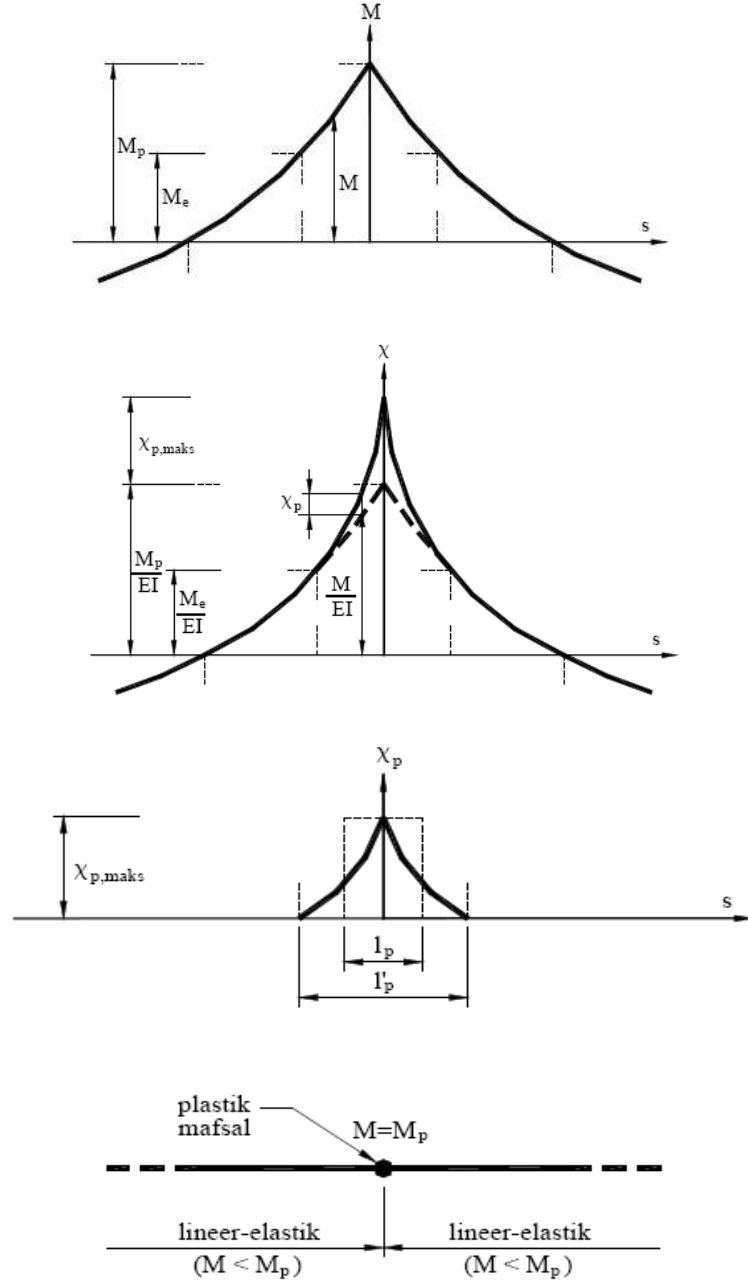


Şekil 2.8 Düzlem çubuk elemanın eğilme momenti – eğrilik diyagramı

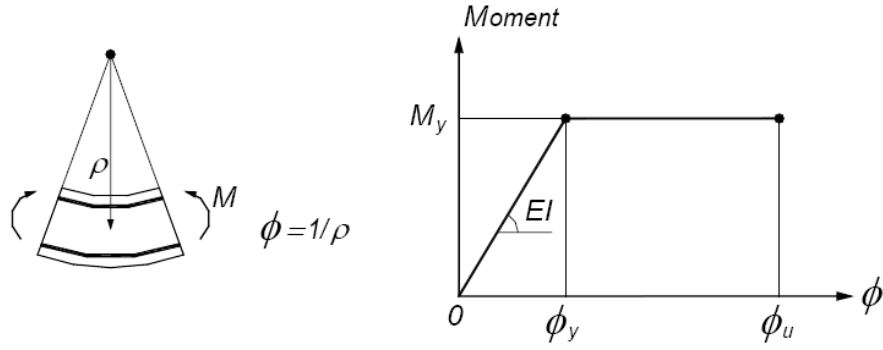
Plastik mafsalları hipotezinde, çubuk elemanı üzerinde l'_p uzunluğundaki bir bölgeye yayılan doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmelerin

$$\varphi_p = \int_{l'_p} \chi_p ds \quad (2.6)$$

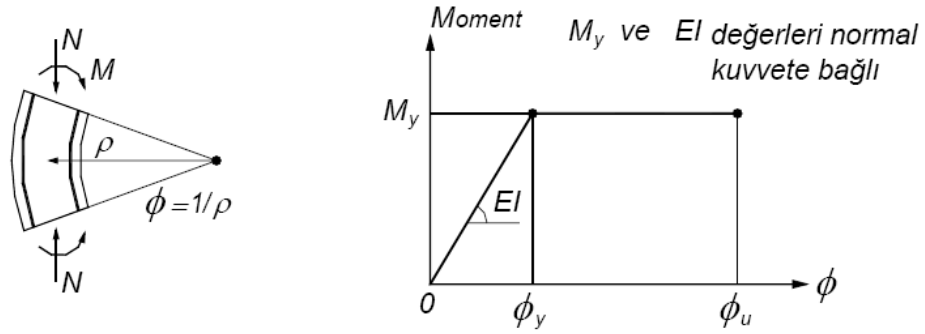
plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada, φ_p plastik mafsalın dönmesini göstermektedir.



Şekil 2.9 Kiriş mesnet bölgesinde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler



Şekil 2.10 Kirişlerde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi



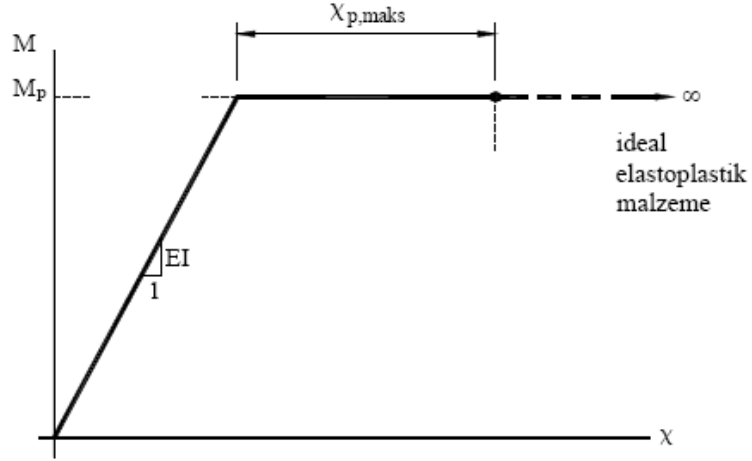
Şekil 2.11 Kolonlarda eğilme momenti-eğrilik ilişkisi

Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti – eğrilik bağıntısının iki doğru parçasıyla idealleştirilmesi ile mümkün olmaktadır.

$$M \leq M_p \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (2.7)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \quad (2.8)$$

Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısı, biri yatay olmak üzere iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir. Bu iki nokta kesin bir nokta ile birbirinden ayrılmasına rağmen, çekme donatısının akmaya erişmesi ve betondaki birim kısalmanın ϵ_{cu} sınır değerine ulaşması, bu iki doğrusal davranışı birbirinden ayıran nokta olarak kabul edilebilmektedir [11].



Şekil 2.12 İdealleştirilmiş bünye bağıntısı

Dış yüklerin artmasıyla plastik mafsalsın dönmesi de artarak dönme kapasitesi adı verilen bir sınır değere eşit olunca, meydana gelen büyük plastik şekil değiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelir. Plastik mafsals dönmelerinin yapı sisteminin bir veya daha çok kesitinde dönme kapasitesine ulaşması ile yapı kullanılamaz hale gelir. Diğer bir deyişle yapı göçer.

Dönme kapasitesi

$$maks \int_{l_p} \chi_p ds \quad (\chi_p \rightarrow \chi_{p, maks}) \quad (2.9)$$

eğilme momenti diyagramının şekline ve $M - \chi$ bağıntısına bağlı olarak belirlenir. Dönme kapasitesinin yaklaşık olarak hesabı

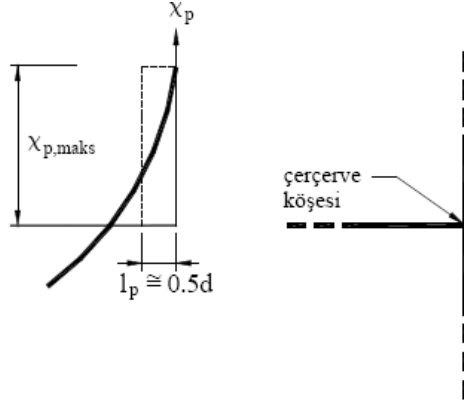
Dönme kapasitesi

$$maks \varphi_p = l_p \chi_{p, maks} \quad (2.10)$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada l_p plastik bölge uzunluğunu (plastik mafsals boyu) göstermektedir ve yaklaşık olarak

$$l_p \cong 0,5 d \quad (2.11)$$

(d : en kesit yüksekliği) formülü ile hesaplanır.



Şekil 2.13 Plastik mafsalsal boyu

Plastik mafsalsal dönmelerini etkileyen çeşitli etkenler aşağıda verilmiştir. Bunların en önemlileri

- Betonarme betonu ve beton çeliğinin $\sigma - \varepsilon$ 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 en kesit boyutları,
- Eğilme momenti diyagramının şekli,
- Yapı elemanının normal kuvvetinin büyüklüğüdür.

Çelik yapı sistemlerinin dönme kapasitesi betonarme yapı sistemlerine göre daha büyük değerler almaktadır. Diğer taraftan, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme (performance based design and evaluation) yöntemlerinde, dönme kapasitesinin belirlenmesinde yapıdan beklenen performans düzeyi de etkili olmaktadır.

2.5.1.1. Plastik Mafsalsal Hipotezinin Esasları

1) Bir kesitte plastik mafsalsal oluşması için o kesitteki eğilme momentinin M_p plastik moment değerine eşit olması gerekir. Kesitteki eğilme momenti $M_p = M'$ ye eşit olunca taşıyabileceği en büyük moment değerine ulaşmış demektir. Bundan sonra kesit daha fazla moment taşıyamaz ve serbestçe döner. Kesitte oluşan φ_p plastik dönmesi $maks \varphi_p$ 'ye ulaşınca dönme kapasitesine erişir ve kesit kullanılamaz duruma gelir.

2) Plastik mafsallar genellikle taşıyıcı elemanların uç kısımlarında ve orta noktalarında oluşur. Fakat sistemin stabilitesini etkileyen mafsallar uç noktalardaki mafsallardır. Uç noktalar arasında kalan sistem ise doğrusal - elastik olarak davranır.

3) Bilindiđi gibi dűşey taşıyıcı elemanlar (kolonlar ve perdeler) normal kuvvet etkisi kadar eğilme momenti etkisi altındadır. Yönetmeliklerde bu elemanların boyutlandırılmasında sadece normal kuvvet etkisinin alınmasını yasaklamıştır. Bu yüzden bu elemanlarda plastik mafsall hesabı yapılırken kesite M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment M_p' değeri esas alınır.

3. YAPI SİSTEMLERİNİN PERFORMANSA DAYALI SİSMİK TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Performansa dayalı sismik tasarımın temel kavramı, depremlerde güvenilir performansa sahip binaları tasarlama yeteneğini mühendislere kazandırmaktır. Ayrıca bu kavram binalar için belirlenen riskleri tahmin etme konusunda ve temel can güvenliğini sağlarken binaların ihtiyaçlarını karşılayan performans seviyesini seçmek için mühendislere fırsat vermektedir.

Performansa dayalı sismik tasarım performans hedeflerinin kavramını kullanmaktadır. Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans, performans hedefi (performance objective) olarak tanımlanır. Yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri ile tanımlanmaktadır. Bir yapı için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna çok seviyeli performans hedefi denir.

Performans seviyeleri (performance levels); verilen bir yapı için meydana gelen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılamamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir. Yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Dolayısıyla her yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin bir birleşimi olarak belirlenir [11].

İkinci bir tanım olarak performans seviyesi bir binanın depremden sonra kabul edilebilir hasar seviyesini tayin edebilme olarak da ifade edilebilmektedir. Diğer bir deyişle performans seviyesi mal sahibinin ekonomik ve güvenlik amaçlarını gerçekleştirmesi için binanın tasarlanmasında, çeşitli seçenekler sunmaktadır. En büyük depremlerde bile binanın kullanıma hazır durumda kalmasını gerektiren tek performans hedefi son derece yüksek maliyetlere neden olacaktır. Aksine, sadece can güvenliğini sağlayan bir tasarım da ekonomik maliyeti yeterli derecede koruyamayabilir.

Mevcut yönetmelikler, binanın performansını hasar gördükten sonra değerlendiremezler. Bunun yerine, depremlerde önce can güvenliğini sağlayan tasarımı belirleyerek minimum güvenlik standardı şartını elde etmektedirler. Bazı durumlarda, bina düzensizlikleri çok önemli ise veya yüksek performans seviyeleri arzu edilirse yönetmelikler gerekli güvenliği sağlamayabilirler.

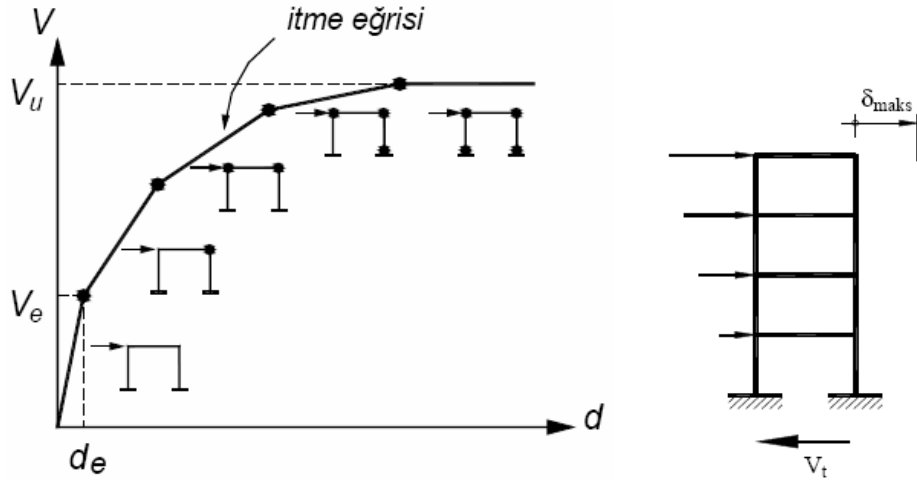
Performansa dayalı tasarımın yapılırken Statik İtme (Pushover) Analizinden faydalanılmaktadır. Bu analiz yapıların yatay yükler etkisindeki davranış özelliklerinin ve

performanslarının tespitine yönelik olarak yapılmaktadır. Analiz genel olarak yapıda adım adım attırılan yanal yüklerin etkisinde rijitlik ile dayanım değişiminin yapı elemanlarındaki doğrusal elastik olmayan davranışları dikkate alınarak hesaplandığı ve bu hesapların belli performans değerleri için ifade edildiği sayısal bir inceleme yöntemidir [11].

3.1. Statik İtme Analizinin Tanımı ve Amacı

Statik itme analiz; mevcut binaların performanslarının değerlendirilmesi, güçlendirilme yapılacak binaların tasarımlarının yapılması ve yeni yapılacak yapıların tasarımında mühendislere fikir vermesi bakımından büyük kolaylık sağlayan yeni bir yöntemdir. Analiz; yapının hedef deplasmana ulaşınca kadar sabit yükseklik dağılımıyla adım adım artan yanal kuvvetlere maruz bırakılmasıyla yapılan yaklaşık bir yöntemidir [13].

Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinde, yapı sistemleri iki veya üç boyutlu analitik modellerle temsil edilmektedir. Yapıların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri, yapının deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinde, yapı dinamik atalet kuvvetlerini temsil etmek üzere, kat seviyelerine etki eden yatay yükler ile zorlanmaktadır. Yatay yüklerin uygulanması esnasında, yapıda düşey yükler de yer almaktadır. Statik yatay yükler, her adımda aralarındaki oran sabit kalacak şekilde yapı belirli bir yer değiştirme veya göçme durumuna erişinceye kadar arttırılır ve yapıya ait yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi belirlenir. Statik itme analiz olarak da bilinen doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi, yapının elastik ötesi deformasyon yeteneği ve hasar durumunu belirlemek üzere, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerden ibarettir. Arttırılan yatay yüklerin etkisiyle kesitlerin biri veya birkaçı taşıma kapasitelerine erişmekte ve bu kesitlerde plastik mafsallar oluşmaktadır. Plastik mafsallar oluşan kesitler, taşıma güçlerinde değişme olmaksızın dönmeye devam etmektedir. Plastik mafsallar arasında sistem, doğrusal-elastik davranmaktadır. Yatay yükler arttırılmaya devam edilerek, yapının bir bölümünü veya tamamını mekanizma durumuna getiren göçme yüküne (limit yük) ulaşılmaktadır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinden elde edilen tipik bir yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi şekil 3.1 de verilmektedir [28].



Şekil 3.1 Doğrusal olmayan teori ile kapasite eğrisinin elde edilmesi

Kapasite eğrisi (pushover eğrisi, itme eğrisi) olarak adlandırılan yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi sayesinde yapıda veya elemanlarda oluşabilecek hasar, kısmi veya toptan göçme durumları elde edilebilmektedir. Yapının zayıf elemanları ve bunların oluşma yerleri, yapı sisteminin göçmesine ait limit yük ve göçme anındaki yer değiştirme değeri, yapı sisteminin ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir. Ayrıca belirli bir deprem tehlike seviyesi için, yapının kendisinden istenen performans seviyesini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilebilmektedir [28].

3.2. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesi yapılırken farklı kriterler dikkate alınmaktadır. Dayanıma (kuvvete) dayalı değerlendirme olarak bilinen doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinde, yapının sünekliğinin göz önüne alınarak belirlenen yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri, doğrusal teoriye göre hesaplanan elastik deprem yüklerinin etkileriyle karşılaştırılır. Bu karşılaştırma DBYBHY-2007’de verilen etki/kapasite oranlarına göre yapılır. Bunun sonucunda binadan beklenen performans hedefinin ne ölçüde sağlandığı belirlenir.

Yer değiştirmeye ve şekil değiştirmeye dayalı değerlendirmeler doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemleriyle yapılmaktadır. Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, önceden belirlenen deprem etkisi altında ele alınan binanın talep edilen yer değiştirme değerine ulaştığında, yapı elemanlarında meydana gelen plastik mafsallara göre beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. İki yöntem içinde deprem yönetmeliğimiz, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır. Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanlarının sünek ve

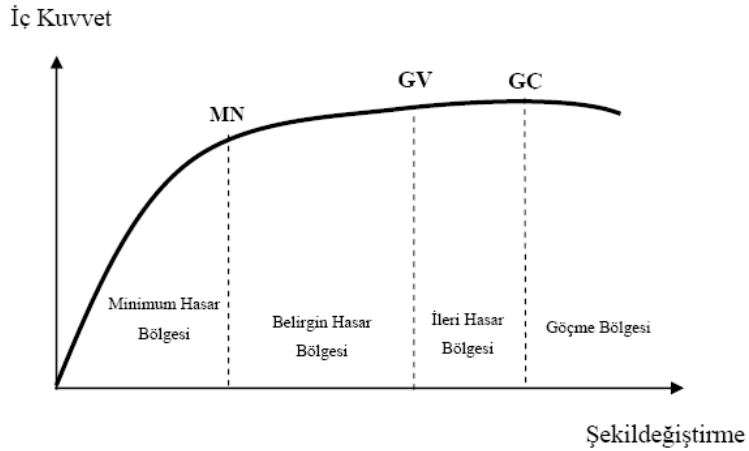
gevrek davrandığı göz önüne alınarak elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaştıkları belirlenmelidir.

3.2.1. Kesit Hasar Sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmaktadır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik davranışın sona erdiği sınır değeridir. 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.

3.2.2. Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitleri MN hasar sınırına ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, Hasar sınırları MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ' yi aşan elemanların ise Göçme Bölgesi'nde yer aldığı kabul edilmektedir. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2 Kapasite eğrisinde performans seviyeleri ve aralıkları

3.2.3. Deprem Performans Tanımları

Yapıların deprem güvenliği, belirlenen deprem etkisine maruz kalan yapıda oluşması beklenen hasarların durumuna göre belirlenir. Bunun için dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Depremde hasar gören yapıların deprem sonrası performansları yine aynı hasar durumlarına göre değerlendirilir.

Hemen Kullanım Seviyesi: Belirlenen deprem etkisine maruz kalan yapısal elemanlarda oluşan hasar yok denecek kadar azdır. Yapı elemanları deprem öncesi sahip oldukları rijitlik ve dayanım özelliklerini hemen hemen korumaktadırlar. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmamıştır. Yani yapı elastik sınırlar içinde kalmıştır. Çok az sayıda elemanda (özellikler kırışlerde) akma sınırı aşılmış olabilir. Çatlamaların oluştuğu yapısal olmayan elemanların hasarları onarılabılır düzeylerdedir. Hemen kullanım seviyesinde herhangi bir katta, belirlenen her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kırışlerin 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.

Can Güvenliği Seviyesi: Belirlenen deprem etkisine maruz kalan yapıda bazı yapısal elemanlar da hasar görülür. Hasar gören bu elemanlar deprem öncesi sahip olduğu yatay rijitliklerini ve dayanımlarını önemli ölçüde korumaktadırlar. Düşey yüklerin taşınması konusunda herhangi bir problem söz konusu değildir. Dolgu duvarlar can güvenliğini tehlikeye sokacak kadar hasar görmemiştir. Bu duvarların yıkılması söz konusu değildir. Yapıda meydana gelen az miktardaki kalıcı ötelenmeler ve şekil değiştirmeler minimum düzeydedir. Can güvenliği seviyesinin belirlenmesinde aşağıdaki yol izlenir. Buna göre 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) kırışler hariç olmak üzere, kırışlerin en fazla %30'u ileri hasar bölgesine geçebilir.

(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.

(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.

Göçme Öncesi Performans Seviyesi: Yapısal elemanların önemli bir kısmında hasar görülür. Taşıyıcı elemanlarda bazıları deprem öncesi sahip oldukları rijitliklerinin ve dayanımlarının çok

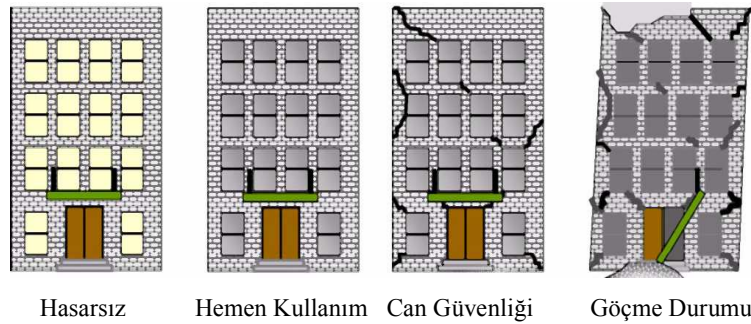
önemli bir kısmını kaybetmiştir. Düşey taşıyıcı elemanlar ancak düşey yükleri taşıyabilmektedir. Yapıda eksenel kapasitelerine ulaşmış taşıyıcı elemanlara rastlanabilir. Yapısal olmayan elemanların hemen hemen hepsi hasar görmüştür. Hatta dolgu duvarların bazıları can güvenliğini tehlikeye sokacak kadar hasarlıdır veya yıkılmıştır. Yapıda geri dönüşü olmayan ötelemeler oluşmuştur. Bu performans seviyesine göre gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne 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.

(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.

(c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

Göçme Durumu: Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır. Yapı artık göçme durumuna gelmiştir. Düşey elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyen elemanlar düşey yükleri taşıyabilmektedir, ancak yatay rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Yapıda belirgin kalıcı ötelenmeler oluşmuştur. Yapı tamamen göçmüştür veya yıkılmanın eşiğindedir. Daha sonra meydana gelebilecek artçı depremler altında bile yıkılma olasılığı yüksektir. Taşıyıcı olmayan elemanların hasarı ve kat rölatif yer değiştirmeleri gibi hususlar kontrol edilmez.



Şekil 3.3 Performans seviyelerinin grafiksel gösterimi

3.2.4. Deprem Etki Seviyeleri

Yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesinde öncelikli olarak öngörülen performans hedefinin hangi deprem etki seviyesine karşı geldiği belirlenmelidir. Performansa dayalı tasarımın yapılabilmesi için farklı seviyede deprem hareketleri belirlenmiştir. Genel olarak deprem etki seviyeleri 50 yıl içerisinde aşılma olasılıkları ve benzer büyüklükte depremlerin oluşumu göz önüne alınarak dönüş periyoduna göre ifade edilmektedir.

a) Servis (Kullanım) Depremi (SE): 50 yıl içinde aşılma olasılığı %50 olan deprem hareketidir. Bu depremin etkisi tasarım depremi'nin 0.5 katı civarındadır. Yaklaşık dönüş periyodu ortalama 75 yıldır ve yapının ömrü boyunca bir kez veya daha fazla meydana gelmesi olasıdır.

b) Tasarım Depremi (DE): 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan deprem hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu yaklaşık 475 yıldır ve yapının ömrü boyunca meydana gelme olasılığı düşüktür. 2007 Türk Deprem Yönetmeliği tarafından yapıların sismik tasarımında esas alınan depremdir.

c) En Büyük Deprem (ME): 50 yılda aşılma olasılığı % 2, dönüş periyodu yaklaşık 2475 yıl olan bir depremdir. Bu depremin etkisi tasarım depreminin yaklaşık olarak 1.50 katıdır.

Tablo 3.1 Deprem etki seviyeleri

Deprem Etki Seviyeleri	Esas Alınan Zaman Aralığı (yıl)	Ortalama Dönüş Periyodu (yıl)
%50	50	75
%20	50	225
%10	50	475
%2	50	2475

3.2.5. Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesinde Hedeflenen Deprem Performans Seviyeleri

Performans hedefi, belirli bir deprem etkisine maruz kalan bir binanın, bu deprem etkisini hangi hasar seviyesi ile karşıladığının belirlenmesi şeklinde ifade edilmektedir. Bir bina için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri seçmek mümkündür. Buna çok seviyeli performans hedefi denir. DBYBHY-2007'ye göre yeni yapılacak, mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde esas alınacak çok seviyeli performans hedefleri Tablo 3.2' de verilmiştir.

Tablo 3.2 Farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri (TDY–2007)

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

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

Mevcut veya güçlendirilecek yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesinde seçilecek deprem etkileri ve bu deprem etkilerine karşılık gelen performans seviyeleri Tablo 3.2’de verilmektedir. Yapıların doğrusal elastik hesap yöntemleri ile performans seviyeleri belirlenirken, yapının kullanım amacı ve türüne göre bir performans seviyesi hedeflenmelidir. Örneğin, kullanım amacı ve türü hastane olarak tasarlanmış yapılar için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisi altında (tasarım depremi) Hemen Kullanım (HK) durumu performans seviyesi olarak seçilmelidir. Doğrusal elastik hesap yöntemlerine göre yapı performansının belirlenmesi için, betonarme kirişler, betonarme kolonlar ve betonarme perde elemanları için sırasıyla Tablo 3.4, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’da verilen, etki/kapasite (r_s) oranları kullanılır. Buna göre elemanların hasar bölgeleri belirlenerek yapının performans seviyesine karar verilir.

3.2.6. Göreli Kat Ötelemesinin Sınırlandırılması

Doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesapta her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katındaki kolon veya perdelerin göreli kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için Tablo 3.3’de verilen değeri aşmayacaktır. Tablo 3.3’de δ_{ji} i’inci katta j’inci kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasında yer değiştirme farkı olarak hesaplanan göreli kat ötelemesini, h_{ji} ise ilgili elemanın yüksekliğini göstermektedir. Herhangi bir deprem doğrultusu için yapının her bir katındaki göreli ötelenme miktarı aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 3.3 Katlar arası yer değiştirmenin kat yüksekliğine oranının sınırı

Görelî kat Ötelemesi Oranı	Performans Seviyesi		
	MN	GV	GÇ
Katlar arası yer değiştirme/ kat yüksekliği (δ_i / h_i)	0.01	0.03	0.04

Burada

δ_i : Katlar arası yer değiştirme miktarı

h_i : Kat yüksekliği

3.3. Analiz Yöntemleri

Sismik performans değerlendirmesinde, yapının farklı bileşenlerindeki kuvvet ve yer değiştirme taleplerini değerlendirmek için yapının matematiksel modelinin analizi gerekmektedir. Yapının sismik performansını tahmin etmek için hem doğrusal elastik hem de doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri kullanılmaktadır [13].

3.3.1. Doğrusal Elastik Analiz Yöntemleri

Doğrusal elastik yöntemlerde yapı elemanlarının kapasiteleri elemanın taşıma kapasitelerine ve süneklik özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Buna karşılık, deprem talebi için elastik deprem etkileri altında doğrusal teoriye göre hesap yapılır. Elastik hesap yöntemleri Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi’ dir [14].

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi; yapısal sisteme bağlı kuvvet azaltma faktörü “ R ” ile zemine bağlı düzeltilmiş elastik tepki spektrumunu küçölterek elde edilen yanal kuvvetlere yapıyı maruz bırakarak yapılmaktadır. Bu yaklaşımda yapının gerçek dayanımının tasarım dayanımından büyük olduğu ve yapının enerjisini akmayla dağıtabildiği varsayılmaktadır [31].

Mod Birleştirme Yöntemi; tepki spektrumu için en az %90’lık kütle katkısına sahip olacak uygun mod sayısı belirlenmelidir. Düzgün geometrili sistemlerde genellikle birinci modun katkısı yeterli olmaktadır. Düzensiz sistemlerde diğer modların katkıları da dikkate alınmalıdır.

3.3.1.1. Yöntemlerin Uygulanabilmesi İçin Gerekli Şartlar

a) Eşdeğer deprem yüğü yöntemi, Bu yöntem bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8’i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Bu yöntemde, toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) hesabında, deprem yüğü azaltma

katsayısı $R_a=1$ olarak alınır ve denklemin sağı tarafı λ katsayısı ile çarpılır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 değerini almaktadır [14].

b) Mod Birleştirme Yöntemi; Bu yöntemin kullanılmasında $R_a=1$ alınacak, diğer bir deyişle, elastik deprem spektrumları azaltılmadan, aynen kullanılacaktır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu olan eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesaplanmasında, bu doğrultuda hâkim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınır.

3.3.1.2. Doğrusal Elastik Analiz Yöntemleriyle Betonarme Yapı Elemanlarında Hasarın Değerlendirilmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile hesap yapılırken yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesi için kiriş, kolon ve perde elemanların kritik kesitlerinin etki/kapasite oranları (r_s) cinsinden ifade edilen sayısal değerler kullanılmaktadır. Betonarme elemanların kırılma türleri eğilme ise “sünek” kesme ise “gevrek” olarak sınıflandırılır. Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranları bulunurken, sistemin sadece deprem yükleri altında eğilme momentleri hesaplanır. Ardından sistemin düşey yükler altında taşıdığı eğilme momenti ve kesitlerin taşıyabileceği taşıma momenti hesaplanır. Hesaplanan taşıma momentinden düşey yükler altındaki eğilme momenti çıkarılarak artık kapasite momenti bulunur. Elde edilen deprem eğilme momenti artık kapasite oranına bölünerek etki/kapasite oranı bulunur. Eğilme etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınır.

Etki/kapasite oranlarının sınır değerleri Tablo 3.4, 3.5 ve 3.6’da sünek ve gevrek kiriş, kolon ve perde elemanlar için ayrı ayrı verilmektedir. Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranları elemanlar için verilen ilgili sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde bulunduğuna karar verilmektedir. Eleman hasarını, elemanın en fazla hasarlı kesiti belirlemektedir.

Tablo 3.4 Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)

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

(1) V_e kesme kuvveti DBYBHY–2007 ye göre depremin yönü ile uyumlu olarak 7.5.2.2(a)' göre hesaplanacaktır.

Tablo 3.5 Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)

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

(1) N_K eksenel kuvveti DBYBHY–2007 deki Bilgilendirme Eki 7A'ya göre hesaplanacaktır.

(2) V_e kesme kuvveti DBYBHY–2007 ye göre depremin yönü ile uyumlu olarak 7.5.2.2(a)' göre hesaplanacaktır.

Tablo 3.6 Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)

Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
Perde Uç Bölgesinde Sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

Kırılma türü kesme olan gevrek kırış, kolon ve perdelerin etki/kapasite oranları bulunurken, kritik kesitlerdeki kesme kuvveti değerleri bulunur. Daha sonra TS-500'e göre kesitin özelliklerine göre taşıyabileceği kesme kuvveti değerleri bulunur. Kritik kesitlerden elde edilen kesme kuvveti TS-500'e göre elde edilen kesme kuvveti değerine bölünerek etki/kapasite

oranları bulunur. Kırılma türü basınç olan gevrek kolonların etki/kapasite oranları da, hesaptan elde edilen basınç kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan basınç dayanımına bölünmesi ile elde edilir. Kesit kesme kuvveti dayanımı ve basınç dayanımı hesabında, Tablo 4.1'de verilen bilgi düzeyi katsayısı ile çarpılmış mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılacaktır. Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranları, Tablo 3.4–3.5–3.6'da verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir. Tablo 3.4–3.5–3.6'daki ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır. Betonarme binalarda kolon ve perdelerin eksenel yükleri, düşey yükler ve söz konusu eleman için hesaplanan (r_s) katsayısı ile azaltılmış deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanacaktır. Eksenel yüklerin hesabı için ardışık yaklaşım gerekebilir.

3.3.2. Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri

Mühendisler doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerini yeni yapılarının tasarımının yanında mevcut binalar ve diğer yapıların değerlendirilmesi için de kullanmaktadırlar. Doğrusal elastik olmayan sismik yöntemlerin pratik hedefi gelecekte meydana gelebilecek depremlerde binanın davranışını tahmin etmektir. Bu durum, sismik değerlendirme ve tasarım için yeni bir teknik olan performans dayalı mühendisliğin çıkışıyla giderek önem kazanmaktadır. Performansa dayalı tasarım, güvenlik ve risk hakkında hüküm vermek için performans tahminini kullanmaktadır. Bu amaç için, yöntem ilk olarak yapısal ve yapısal olmayan birleşimlerin beklenen hasarına dayanarak performansı tanımlamaktadır. Yapısal hasar; doğrusal elastik olmayan davranış, geleneksel tasarım ve doğrusal elastik tekniklerini kullanan analiz yöntemlerini ifade ettiğinden dolayı üstü kapalı olarak performansı tahmin edebilmektedir. Aksine, doğrusal elastik olmayan sismik analiz yöntemlerinin hedefleri, deformasyonun büyüklüğünü doğrudan tahmin etmektir [4].

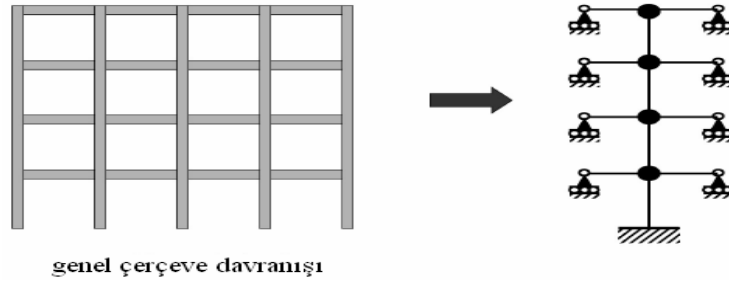
Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi, mühendisin bir yapı modeli geliştirdikten sonra herhangi bir yer hareketine maruz bıraktığı geleneksel doğrusal yöntemle benzetmektedir. Analiz sonuçları, benimsenen kritere dayanarak performansı belirlemek için kullanılan yapısal model içindeki mühendislik talep parametrelerinin tahminidir. Mühendislik talep parametreleri normalde, global yer değiştirmelerini (en üst nokta veya diğer referans noktası), kat ötelemelerini, katlara gelen kuvvetleri, bileşen hasarlarını ve bileşen kuvvetlerini kapsamaktadır.

Belirlenen bir deprem etkisi altında sünek davranış gösteren kesitte meydana gelen plastik şekil değiştirme talepleri ile gevrek davranış gösteren kesitte oluşan iç kuvvet taleplerinin hesaplanması doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin temel amacıdır. Hesaplar sonucunda elde edilen plastik şekil değiştirme talepleri, tanımlanan şekil değiştirme ve

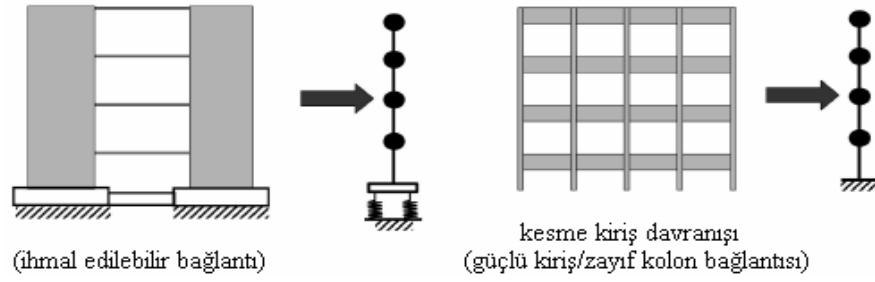
iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılır. Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri FEMA ve ATC de belirtilen Kapasite Spektrum Yöntemi, Deplasman Katsayısı Yöntemi'dir. 2007 Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir. Bu yöntemlerden Kapasite Spektrum Yöntemi, Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi daha ileride Basitleştirilmiş Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler konusunda ayrıntılı olarak verilecektir.

3.3.2.1. Yapısal Modelleme

Doğrusal elastik olmayan analiz için ayrıntılı olarak verilen yapısal modeller doğrusal elastik sonlu eleman modellerine benzemektedir. Bazı problemlerde, mühendisler ayrıntılı yapısal modelleri çok serbestlik dereceli eş modellere indirgemektedir. Bu yöntem yapının özelliklerini "kılçık" modeller şeklinde belirtmek için kullanılabilir. (Şekil 3.4) Bazı durumlarda model daha da basitleştirilebilir. Örneğin, değişik düşey eğilme elemanları arasındaki dönme bağıntısı ihmal edildiği zaman (konsol kesme duvarları veya çapraz bağlamasız çerçeveler) veya kat kesme mekanizmaları tahmin edilebildiğinde (güçlü kiriş, zayıf kolon çerçeveler) "çubuk" model olarak kullanılabilir. Basitleştirilmiş modelin amacı veri girişini azaltmaktır. Daha önemlisi, mühendis için geliştirilmiş bir simülasyon aracı sağlayabilir. Basitleştirilmiş modeller için olumsuz taraf ise ilave yaklaşımlar ve analizde belirsizliklerle karşılaşılmasıdır. Ayrıntılı yapısal modeller için bir diğer önemli basitleştirme "pushover" veya "kapasite eğrileri" olarak bilinen yöntemdir. Bu eğriler daha sonra anlatılacaktır.



a) Kılçık model



b) Eğilebilir kirişin çubuk modeli c) Kesme kirişin çubuk modeli

Şekil 3.4 Basitleştirilmiş çok serbestlik dereceli eş modellerin şekilleri

Bu modeller, ayrıntılı yapısal modele bir veya daha fazla yanal yük şekilleri uyguladıktan sonra global seviyede yapı için doğrusal olmayan kuvvet-deformasyon bağıntılarını elde etmek için toplam yükün büyüklüğünü artırarak yapılmaktadır. Yük vektörü genellikle yapı için ilk titreşim moduyla ilişkili olan bağlı ivmelerin yaklaşık gösterimidir. Deplasman Katsayıları Yönteminde global parametreler; taban kesme kuvveti ve en üst noktadaki yer değiştirmedir. Kapasite Spektrum Yönteminde, bu değerler spektral ivme ve spektral yer değiştirmeye dönüştürülür. Doğrusal olmayan statik yöntemler tek serbestlik dereceli bir sistemin davranışını göstermek için kuvvet-deformasyon bağıntılarını kullanmaktadır.

3.3.2.2. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizinde Performans Hedefleri

Performans hedefi, belirli bir deprem hareketi altında yapı için öngörülen performans seviyesi olarak ifade edilmektedir. Yapısal performans, deprem esnasında ve sonrasında binada yer alan insanların can güvenliklerinin sağlanması, yapının tekrar kullanımı için geçen sürenin uzunluğu, deprem sonrası olabilecek onarımın maliyeti vb. etkenlere bağlı olarak belirlenen, yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans seviyeleri ile tanımlanmaktadır. Yapı için birden fazla deprem etki seviyesi altında farklı performans hedefleri öngörülerek çok seviyeli performans hedefleri elde edilebilir. Yapının performans hedefinin belirlenmesinde, depremin etkisini tanımlayan Deprem Etki Seviyesi ve yapının performansını tanımlayan Yapı Performans Seviyesi iki önemli bileşen olarak ön plana çıkmaktadır.

3.3.2.3. ATC ve FEMA'ya Göre Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri, yapıda belirli bir deprem etkisi altında meydana gelmesi öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki fiziksel hasar miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında yapının kullanılabilirlik durumuna ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenmektedir. Yapı performans seviyeleri,

yapısal ve yapısal olmayan elemanlar için ayrı ayrı tanımlanan performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Yapısal performans seviyeleri, SP kısaltması ve buna takip eden numaraya sahiptir. Yapısal olmayan performans seviyeleri ise, NP kısaltması ve bunu izleyen harf gösteriminden oluşmaktadır. Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleşiminde oluşan yapı performans seviyeleri ise ilgili rakam ve harf şeklinde belirtilmektedir.

3.3.2.4. ATC ve FEMA'ya Göre Yapısal Elemanların Performans Seviyeleri ve Aralıkları

Bir yapının performans seviyesi, depremden sonra ortaya çıkması beklenen hasara ve bina içinde bulunanların can güvenliği ile depremden sonra binanın hizmet verebilmesine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Hedeflenen performans seviyesi yapısal olan ve olmayan elemanlar için ayrı ayrı ifade edilir.

Tablo 3.7 Yapısal elemanların performans seviyeleri

Performans Seviyesi	Performans Aralığı	Tanım
SP-1		Hemen kullanım performans seviyesi
	SP-2	Hasar kontrollü performans aralığı
SP-3		Can güvenliği performans seviyesi
	SP-4	Sınırlı güvenli performans aralığı
SP-5		Göçmenin önlenmesi performans seviyesi
SP-6		Performansın dikkate alınmadığı durum

a) Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-1): Deprem sonrasında yapısal elemanlarda yok denecek kadar hasar meydana gelmiştir. Yapının taşıyıcı sistemleri deprem öncesi sahip oldukları dayanım ve kapasitelerinin hemen hemen hepsini korumaktadır. Yapısal hasardan dolayı yaralanma riski oluşmaz. Yapının depremde önce sahip olduğu kullanım durumu, deprem sonrasında da devam etmektedir.

b) Hasar Kontrollü Performans Aralığı (SP-2): Meydana gelen hasar Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-1) ile Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3) aralığındadır. Bu performans aralığında, hem can güvenliğinin sağlanması hem de hasar miktarının sınırlandırılması öngörülmektedir. Yeni yapılacak yapıların 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi yaklaşık olarak bu aralığa düşmektedir.

c) Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3): Deprem sonrasında yapıda önemli ölçüde yapısal hasar oluşmuştur. Fakat meydana gelen bu hasardan dolayı kısmen veya toptan göçmenin söz konusu değildir. Yapının taşıyıcı elemanlarında göçmeyi önleyecek bir ek kapasite mevcuttur. Yapıdaki taşıyıcı elemanlarda can güvenliğini tehdit edecek biçimde kırılma

veya düşme meydana gelmez. Deprem esnasında çeşitli nedenlerden dolayı küçük yaralanmalar olsa bile, yapısal hasardan dolayı hayati tehlike oluşturabilecek yaralanma riski çok düşüktür. Yapının depremden sonra kullanımı için çeşitli onarım ve güçlendirmeler gerekebilir. Meydana gelen hasardan dolayı yapılacak güçlendirmelerin maliyetleri iyi analiz edilmelidir. Çünkü bazı durumlarda güçlendirme maliyeti fazla olabilir. Yönetmelik esaslarına uygun olarak tasarlanan yeni yapıların, bu yapısal performans seviyesine ulaşmaması beklenir.

d) Sınırlı Güvenlikli Performans Aralığı (SP-4): Yapısal performans seviye olmayıp, deprem sonrası yapıdaki hasarın Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi (SP-3) ile Göçmenin Önlenmesi Yapısal Performans Seviyesi (SP-5) arasında kalan yapısal performans aralığıdır. Bu aralıkta yapısal elemanların performansları can güvenliğini sağlamayabilir.

e) Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (SP-5): Bu performans seviyesinde, deprem sonrası yapısal elemanların önemli bir kısmı güç tükenmesi sınırına gelmiştir. Yapı ağır hasarlıdır. Yapının depremden önce sahip olduğu yatay rijitlik ve dayanımında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Yapının taşıyıcı elemanlarının taşıma kapasiteleri düşey yükleri ancak taşıyabilmektedir. Yapı içerisinde ve dışında yapısal elemanların göçme tehlikelerine bağlı olarak önemli oranda can güvenliği riski vardır. Artçı sarsıntılar yapının göçmesine neden olabilir. Yapının kullanılması için önemli bir güçlendirme yapılmalıdır. Fakat yapılacak güçlendirme genellikle ekonomik olmaz. Yapıların bu performans seviyesini en büyük deprem etkisi altında göstermesi istenir. Düşük bir deprem etkisi için bu performans seviyesinin dikkate alınması, ekonomik olarak akılcı değildir. Çünkü bu performans seviyesi yapının ömrü boyunca pek karşılaşmayacağı büyük depremler için verilmiştir.

f) Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (SP-6): Bir performans seviyesi olarak kabul edilmez. Sadece yapısal olmayan sismik değerlendirme ve güçlendirmenin gerektiği durumlarda kullanılabilir. Alışılmışın dışında da olsa, bazı durumlarda yapı gözden geçirilmeden yapısal olmayan sismik değerlendirme yapılmaktadır. Yapısal elemanlara ait hasarların dikkate alınmadığı durumdur.

3.3.2.5. ATC ve FEMA'ya Göre Yapısal Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri ve Aralıkları

ATC ve FEMA'ya göre yapısal olmayan elemanların performans seviyeleri ve aralıkları tablo 3.8'de verilmektedir.

Tablo 3.8 Yapısal olmayan performans seviyeleri

Performans Seviyesi	Tanım
N-A	Kullanıma Hazır Performans Seviyesi
N-B	Hemen Kullanım Performans Seviyesi
N-C	Can Güvenliği Performans Seviyesi
N-D	Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi
N-E	Düşünülmemeyen Performans Seviyesi

Yaygın olarak kullanılan dört performans seviyesi Kullanıma Hazır Performans Seviyesi, Hemen Kullanım Performans Seviyesi, Can Güvenliği Performans Seviyesi ve Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (sırasıyla N-A, N-B, N-C ve N-D) ve ayrıca ilave olarak Düşünülmemeyen Performans Seviyesi (N-E)' yi de içermektedir. (Tablo 3.8)

Bu performans seviyeleri tarafından açıklanan yapısal olmayan bileşenler; mimari bileşenler (bölme duvarlar, dış cephe kaplama malzemeleri ve tavan), mekaniksel ve elektriksel bileşenleri (sıhhi tesisat, yangın söndürme sistemleri ve aydınlatma sistemleri) içermektedir.

a) Kullanıma Hazır Performans Seviyesi (N-A): Depremden sonra yapısal olmayan elemanlarda kullanımı engelleyen bir durum söz konusu değildir. Bütün makine ve teçhizat çalışmaktadır.

b) Hemen Kullanım Performans Seviyesi (N-B): Yapısal olmayan elemanlarda hasar söz konusu değildir. Kullanımı engelleyen, ancak kolayca giderilebilen küçük bazı hasarlar beklenebilir.

c) Can Güvenliği Performans Seviyesi (N-C): Deprem sonrası taşıyıcı sistemde önemli sayılabilecek hasar olmasına karşılık, binanın yerel veya toptan göçmesi söz konusu değildir. Binada bu duruma ulaşmayı önleyecek bir ek kapasite kalmıştır. Muhtemel yaralanmalar olmasına rağmen, can güvenliğini tehlikeye sokacak yaralanmalar azdır. Yapısal olmayan sistemler, makine ve teçhizat onarım ve yenileme olmadan çalışmayabilir.

d) Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (N-D): Bu seviyede yaygın yapısal olmayan hasar beklenmektedir. Ancak parapet, dış yığma duvar, cephe kaplaması veya ağır tavan gibi büyük parçaların düşmesi sonucu bir yaralanma söz konusu değildir.

3.3.2.6. ATC ve FEMA'ya Göre Yapı Performans Seviyeleri

Yapısal performans seviyeleri ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleşimi, yapı için toplam sınır hasar durumunu tanımlayan yapı performans seviyesini oluşturmaktadır. Yapı performans seviyesi, yapısal elemanlara ait performans seviyelerinin SP-1, SP-3 vb. şeklindeki kodlamalarından sadece rakam kısmı ve yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyelerinin NP-A, NP-B vb. şeklindeki kodlamalarından harf kısmı alınarak 1-B (S1+NB), 3-C (S3+NC) şeklinde belirlenmektedir. Tablo 3.9'da yapı performans seviyelerini tanımlayan olası birleşim durumları görülmektedir. Tabloda isimlendirilen seviyeler, genel olarak kullanılmakta olan performans seviyeleridir. Numaralandırılan ancak isimlendirilmeyen seviyeler ise, sık kullanılmayan diğer performans seviyelerini tanımlamaktadır. ATC-40 ve FEMA-356 'da tanımlanan ve yukarıdaki tabloda gösterilen yapı performans seviyelerinden en yaygın olarak kullanılan dört performans seviyesi (1-A, 1-B, 3-C, 5-E) ve bunlara ait açıklamalar aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.9 Yapı performans seviyeleri

Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri ve Alanları					
	S-1 Hemen Kullanım	S-2 Hasar Kontrolü	S-3 Can Güvenliği	S-4 Sınırlı Can Güvenliği	S-5 Göçmeyi Önleme	S-6 Düşünülmeyen
N-A Kullanıma Hazır	Kullanıma Hazır (1-A)	2-A	NR ¹	NR ¹	NR ¹	NR ¹
N-B Hemen Kullanım	Hemen Kullanım (1-B)	2-B	3-B	NR ¹	NR ¹	NR ¹
N-C Can Güvenliği	1-C	2-C	Can Güvenliği (3-C)	4-C	5-C	6-C
N-D Azaltılmış Tehlike	NR ¹	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E Düşünülmeyen	NR ¹	NR ¹	NR ¹	4-E	Göçmeyi Önleme (5-E)	NR ¹

a) Kullanıma Hazır Performans Seviyesi (1-A): Bu performans seviyesi yapının fonksiyonelliği ile ilgilidir. Yapısal elemanlara ait performans seviyelerinden Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-1) ile yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyelerinden Kullanıma Devam Performans Seviyesi (NP-A)'nın birleşiminden oluşmaktadır. Yapıda hasar yoktur, kullanımı etkilemeyecek veya kolaylıkla onarılabilecek düzeyde hasar söz konusudur.

Yapı deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korumaktadır. Benzer şekilde yapısal olmayan elemanlar ve sistemler ile ilgili hasar da yoktur veya bu elemanların işlevselliğini etkilemeyecek seviyededir. Deprem süresince can güvenliğini tehdit edebilecek yaralanma riski çok düşüktür ve yapının deprem sonrası kullanımı süreklilik göstermektedir. Çok şiddetli depremlerde, bu performans seviyesini elde etmek ekonomik açıdan oldukça maliyetli olmakla birlikte, hafif şiddetteki depremlerde tüm yapıların bu performans seviyesini sağlaması beklenmektedir.

b) Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B): Yapısal elemanlara ait performans seviyelerinden Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-2) ve yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyelerinden Hemen Kullanım Performans Seviyesi (NP-B)'nin birleşiminden oluşmaktadır. Az miktarda yapısal hasar oluşabilir. Yapı deprem öncesi rijitliğini ve dayanımını önemli ölçüde korumaktadır. Yapısal olmayan elemanlar güvenlidir ve genellikle çalışır durumdadır. Deprem sırasında yaralanma riski oldukça düşüktür. Yapının hemen kullanımı mümkün olmakla birlikte, birtakım küçük onarımlar da gerektirebilir. Büyük depremlerde çok önemli yapıların, orta büyüklüklü depremlerde ise tüm yapıların bu performans seviyesini sağlaması beklenmektedir.

c) Can Güvenliği Performans seviyesi (3-C): Yapısal elemanlara ait performans seviyelerinden Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3) ve yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyelerinden Can Güvenliği Performans Seviyesi (NP-C)'nin birleşiminden oluşmaktadır. Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda belirli miktarda hasar söz konusudur. Ancak bu hasardan dolayı can güvenliğinin tehlikeye girmesi oldukça düşük bir olasılıktır. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde kaybetmiştir. Yapının kısmi veya toptan göçmesine karşı sistemde ek bir kapasite bulunmaktadır. Yapıda onarım gereklidir ve onarılmadan kullanılması uygun değildir. Bu seviye, günümüzde yönetmeliklerin yeni yapılar için öngördüğü performans seviyesinden biraz düşük olarak tanımlanmıştır.

d) Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (5-E): Yapısal elemanlara ait performans seviyelerinden Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (SP-5) ve yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyelerinden Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (NP-E)'nin birleşiminden oluşmaktadır. Deprem sonrası yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında stabilitesini koruyabilmektedir. Yapı, dayanım ve rijitliğinin önemli bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Yapının artçı depremlere karşı göçme güvenliği kalmamıştır ve kullanılmaması gerekir. Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar önemli boyuttadır ve can güvenliği riski söz konusudur. Yapının onarılması pratik ve ekonomik bakımdan uygun değildir.

3.4. Basitleştirilmiş Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri

Deprem etkilerine maruz kalan yapıların performanslarının belirlenmesi amacıyla bazı doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde yapı sisteminin deprem kuvvetleri altındaki davranışını göstermek amacıyla yatay kuvvet-yatay yer değiştirme arasında malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre ilişkiler kurulmuştur. Elde edilen bu ilişkiye göre kapasite eğrisi adı verilen bir eğri elde edilir. Yapı elemanlarındaki yetersizlikler, oluşan zayıf elemanların yerleri, oluşmuş ve oluşabilecek kısmi veya toptan göçme mekanizmaları belirlenebilmektedir. Bu analizler sonucunda belirli bir deprem etkisine maruz kalabilecek yapıdan beklenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği kontrol edilebilmektedir.

Yapı performansının değerlendirmesinde kullanılan doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Bunlar kuvvete dayalı analiz ve yer değiştirmeye göre yapılan analizlerdir. Kuvvete dayalı analiz yapılırken, yapıdaki mevcut düşey yükler, P-delta etkileri göz önüne alınarak sabit olarak artırılan yatay yüklerle birlikte uygulanır. Yapıya etki eden yatay deprem yükleri yönetmeliklerde belirlenmiş değere ulaştığında, hem dayanım hem yer değiştirme hem de şekil değiştirmeler bakımından yapıdan istenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Yer değiştirme ve şekil değiştirmeye dayalı değerlendirme yöntemlerinde ise, önceden seçilen deprem yükü dağılımı, yapıdan istenen yer değiştirme talebine ulaşıncaya kadar arttırılır. Yapı istenen yer değiştirme değerine ulaştığında yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

Yer değiştirmeye dayalı performans kriterlerini esas alan ve doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi ile kapasite eğrisi belirlenen yapı sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ve açıklanan yöntemler Kapasite Spektrumu Yöntemi, Deplasman Katsayıları Yöntemi ve Artımsal Eşdeğer Statik İtme Analizi Yöntemi'dir.

3.4.1. Kapasite Spektrum Yöntemi

Performansa dayalı tasarım ve yapı mühendisliği için temel ilke; tasarım, analiz ve kontrol için yapı tasarımını etkili bir biçimde geliştirmektir. Performansa dayalı tasarımda temel parametreler kapasite, talep ve bunlara bağlı olarak elde edilen performans noktasıdır. Talep depremi temsil eder. Kapasite de yapının oluşan talebi karşılaması şeklinde ifade edilir. Performans ise istenen talebin kapasite tarafından ne oranda karşılandığının göstergesidir.

Talep (Deplasman): Bilindiği gibi deprem hareketi hem yatayda hem de düşeyde çok karmaşık deplasman şekilleri oluşturmaktadır. Bu kadar karmaşık hareketlerin hepsinin göz önünde

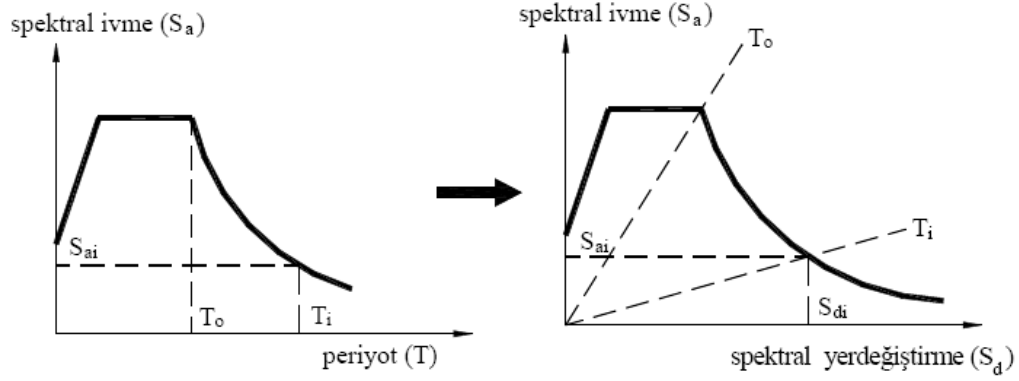
bulundurulması çok zordur. Statik İtme Analizi yapılırken depremin oluşturduğu talep doğrudan yapının talebi varsayılarak bir basitleştirme yapılır ve yapının talebi olarak kullanılır.

Kapasite: Bir yapının deprem talebini karşılaması olarak ifade edilen kapasite doğrudan yapı elemanlarının taşıma güçlerine bağlıdır. Yapı elemanları taşıma gücüne erişip akmaya başlayana kadar yapının talebi karşılama gücü vardır. Elemanın akmaya başladığı değer o elemanın kapasitesi olarak ifade edilmektedir. Yapının kapasitesi, statik itme analiz gibi doğrusal olmayan analizler yapılarak belirlenebilir. Bu analizde yapı belirli bir deplasmana ulaşınca kadar veya stabilitesini kaybedene kadar artırılarak yük verilir ve kapasitesi belirlenir.

Performans: Talep ve kapasitesinin belirlenmesinin ardından yapının performansı belirlenebilir. Belirlenen bu performans değeri ile yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının kabul edilebilir performans limitleriyle karşılaştırması yapılabilir.

Kapasite Spektrumu Yöntemi yapının yer değiştirme talebi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağlı olması temeline dayanmaktadır. Deprem etkisine maruz kalan bir yapıda elastik olmayan yer değiştirme ve şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Bu şekil değiştirmeler sonucunda yapının sönümü artar, dolayısıyla da karşılayabileceği deprem talebi azalır. Kapasite Spektrumu Yöntemi'nde, yatay kuvvetlerin artmasıyla yapıda oluşan elastik olmayan deformasyonlar oluşarak yapının sönümü artar. Bu sönüme bağlı olarak elastik talep spektrumu indirgenir ve ardışık bir yaklaşımlarla yapıya ait performans noktası belirlenmektedir. Ardından yapı performans noktasına kadar statik olarak itilerek kendisinden istenen performans hedefini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir. Kapasite Spektrumu Yöntemi'nde ilk yapılacak işlem seçilen deprem hareketine göre, talep spektrumu belirlenmesidir. %5 sönümlü elastik davranış spektrumundan yararlanılarak yapının talep spektrumu tanımlanır. Kapasite spektrumu ile karşılaştırılabilmek amacıyla %5 sönümlü elastik davranış spektrumu, Spektral İvme-Periyot (S_a, T) formatından, Denklem (3.1) ile spektral ivme-spektral yer değiştirme formatına $(S_d - S_d)$ (ADRS formatına) dönüştürülmektedir.

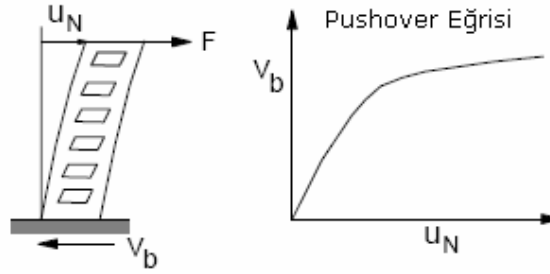
$$S_d = S_a \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (3.1)$$



Şekil 3.5 Talep spektrumunun spektral ivme-spektral yer değiştirme (ADRS) formatına dönüştürülmesi

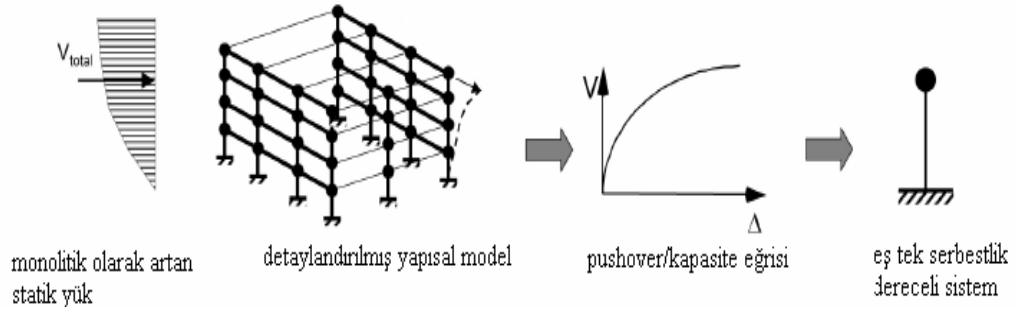
$$S_a - T \text{ spektrumu} \quad S_d = \frac{1}{4\pi^2} S_a T^2 \quad S_a - S_d \text{ spektrumu} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}}$$

Bu yöntemde yapılacak ikinci iş, yapıya ait kapasite eğrisinin elde edilmesidir. Kapasite eğrisi yapının yatay yük taşıma kapasitesini ifade etmektedir. Yapı düşey yükler ve sabit olarak artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre hesaplanarak limit duruma ulaşınca kadar izlenmektedir. Her yük değeri için, toplam taban kesme kuvveti (V_b) ve bu kuvvete karşılık gelen tepe noktası yer değiştirmesi (u_N) arasındaki ilişkinin belirlenmesi ile yapının kapasite eğrisi belirlenir.



Şekil 3.6 Statik itme eğrisinin oluşumu

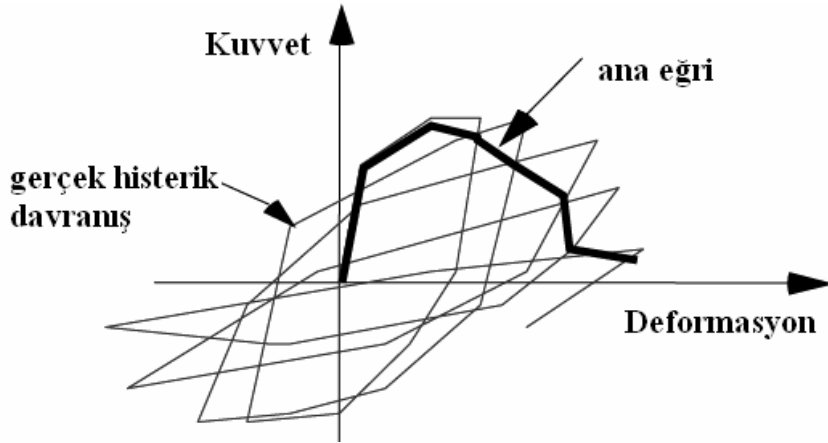
Yapının performans noktası Kapasite Spektrumu Yöntemi ile belirlenirken, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrisinin, talep spektrumu ile karşılaştırılmasının yapılabilmesi için spektral formata (ADRS formatına) dönüştürülmesi gerekmektedir. Fakat talep spektrumu tek serbestlik dereceli sistemi ifade ettiği için, çok serbestlik dereceli yapılar için belirlenen kapasite eğrisi eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmelidir.(Şekil 3.7)



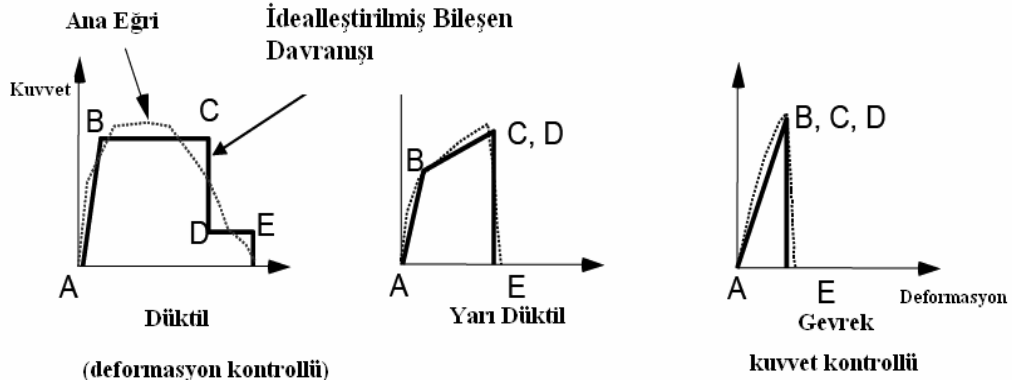
Şekil 3.7 Statik itme/Kapasite eğrisinden tek serbestlik dereceli eş sistemin gelişiminin şematik çizimi

3.4.1.1. Yatay Yük-Yerdeğiştirme Eğrisi

Deprem yükleri taşıyıcı sistemi tekrarlayan ve yön değiştiren biçimde zorlar. Örnek olarak bir taşıyıcı sistemde deprem yükünü temsil eden bir yatay yükün sisteme yön değiştirerek ve artarak uygulandığı göz önüne alındığında; toplam yük ile en üst kat yer değiştirmesi arasındaki ilişkinin şekil 3.8a'daki gibi oluştuğu kabul edilir. Burada çevrimsel eğrilerin en uç noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen eğri tüm davranışı temsil etmesi bakımından Omurga Eğrisi olarak isimlendirilir.



Şekil 3.8a Çevrimsel davranışın omurga eğrisinin gösterimi



Şekil 3.8b Analiz modelleri için idealleştirilmiş modeller

Deprem etkisi gibi dinamik bir etki sonucu ortaya çıkan bu eğrinin, deprem yükünü temsil eden bir yatay yükleme altında olabileceği söylenebilir. Sistemin doğrusal olmayan davranışını temsil eden ve deprem durumunda beklenen düşey yüklerin varlığı ile elde edilen bu eğri $V_b - \Delta_N$ Yatay Yük Yerdeğiştirme Eğrisi olarak adlandırılır. Sistem elemanlarının davranışına bağlı olarak bu eğri şekil 3.8b de verildiği gibi basitleştirilebilir. Şekildeki birinci eğri sünek, üçüncü eğri ise gevrek bir davranışa karşı gelmektedir. Yatay yük-yer değiştirme eğrisinin elastik bölgesinde davranış doğrusaldır. Ancak, betonda çatlama, donatıda akma ve bazı kesitlerin taşıma gücü değerlerine erişmesi sonucu ortaya çıkan plastik şekil değiştirmelerle sistemin davranışı yumuşar ve eğrinin eğimi azalır. Binalarda deprem etkilerinin oluşmasında birinci mod çok daha etkili olduğu için yatay yük dağılımında bu mod esas alınır. Çözümde yer değiştirmenin bina yüksekliğince değişiminde de birinci mod etkili olacağı için sadece en üst katın yer değiştirmesinin göz önüne alınması yeterlidir. Yatay yükün uygulanması sırasında yapıda $G+Q$ şeklindeki düşey yüklerin bulunduğu kabul edilerek ve yatay yük adım artırılarak taşıyıcı sistem çözümü yapılır. Her adımda kesitlerdeki plastik şekil değiştirmeler sonucu oluşan rijitlik değişimi göz önüne alınır. Plastik şekil değiştirmelerin belirli bir kesitte yoğunlaşması kabulüne dayanan plastik mafsallık kabulü kullanılarak çözüm basitleştirilebilir. Bu eğrilerin moment-eğrilik bağıntısı kesitin taşıyabileceği momente kadar doğrusal davranış gösterir. Daha sonra moment artışı olmadan kesitte dönmenin arttığı yani davranışının ideal elasto-plastik olduğu kabul edilir.

Ancak kolon kesitlerinde taşınabilecek momentin, normal kuvvete bağlı olduğunun göz önüne alınması gerekir. Bu durumda çözümleme sırasında yatay yük artırılırken, kolon ve kirişlerin uçlarındaki kritik kesitler kontrol edilerek, kesitin moment taşıma kapasitesine eriştikten sonraki yüklemelerde moment artmadan kesitin döndüğü kabul edilir.

3.4.1.2. Kapasite Spektrum Yönteminin Teorik Oluşumu

Kapasite Spektrum Yönteminin uygulanması için kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi gerekir. Meydana gelecek spektrum (ADRS) İvme-Deplasman Tepki-Spektrumu formatında olacaktır. Bu dönüşümü sağlayabilmek için iki temel denklem kullanılır.

$$S_a = \frac{V / W}{\alpha_1} \quad (3.2)$$

$$S_d = \frac{\delta_{maks}}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (3.3)$$

Yukarıda verilen denklem (3.2), (3.3)' deki α_1 , PF_1 terimleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.4)$$

$$PF_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.5)$$

Burada

- S_a : Spektral ivme
- S_d : Spektral yer değiştirme
- V_T : Toplam taban kesme kuvveti
- δ_{maks} : Yapının tepe noktası yer değiştirmesi
- PF_1 : Birinci moda ait modal katılım çarpanı
- α_1 : Birinci moda ait modal kütle çarpanı
- N : Yapının toplam kat adedi
- W : Yapının toplam ağırlığı
- w_i : i nolu katın ağırlığı
- g : Yerçekimi ivmesi

w_i / g_i : i nolu katın kütlesi

$\phi_{i,1}$: Birinci moda ait i nolu kattaki normalize edilmiş genlik değeri

$\phi_{tepe,1}$: Birinci moda ait en üst kattaki normalize edilmiş genlik değeri

3.4.1.3. Kapasite Spektrum Eğrisi

Bir deprem etkisi altında çok serbestlik dereceli bir sistemde j .modda meydana gelen taban kesme kuvveti ve bunların katlara olan dağılımı

$$M_j^* = \Gamma_j L_j = \frac{(L_j)^2}{M_j} = \frac{\left(\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj} \right)^2}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}^2} \quad V_{bj}^{st} = \sum_{n=1}^N s_{nj} = \Gamma_j L_j = M_j^* \quad (3.6)$$

$$V_{bj}(t) = M_j^* A_j(t) \quad f_{nj}(t) = s_{nj} A_j(t) = M_j^* \frac{m_n \phi_{nj}}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{ij}} A_j(t) \quad (3.7)$$

İvme için depreme ait spektrum değerleri kullanılarak bunların en büyük değerleri (spektral değerler) elde edilebilir. Deprem tesirinde yapıda önemli etkiyi birinci modun meydana getirdiği bilindiğinden, sadece bu mod göz önüne alınırsa

$$V_{b1} = g M_1^* S_{a1} = \alpha_1 W S_{a1} \quad \alpha_1 = \frac{M_1^*}{M} = \frac{M_1^* g}{W} \quad M = \sum_{i=1}^N m_i \quad (3.8)$$

$$W = \sum_{i=1}^N w_i = \sum_{i=1}^N m_i g \quad M_1^* = \frac{\left(\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1} \right)^2}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad \alpha_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i1} \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^N w_i \right) \left(\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i1}^2 \right)} \quad (3.9)$$

olarak yazılabilir. Bulunan taban kesme kuvvetinin katlara dağıtılması

$$f_{n1} = \alpha_1 W \frac{w_n \phi_{n1}}{\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i1}} S_{a1} \quad (3.10)$$

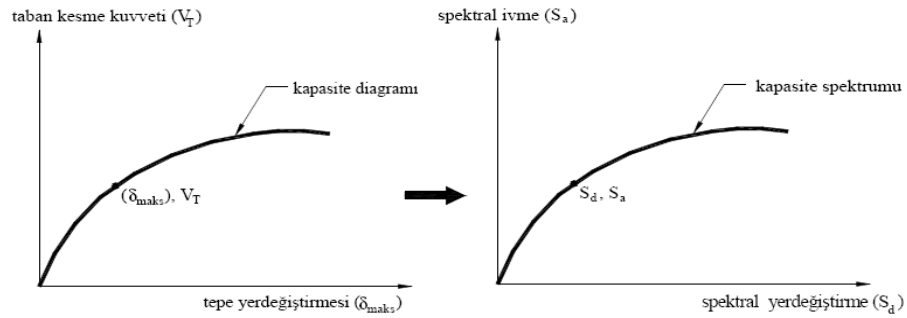
olarak yapılır. Tanımlanan bu yatay kuvvetler altında v_{n1} yatay kat yer değiştirmeleri ve en üst kat olan n . katın Δ_N yer değiştirmesi sistemin özellikleri kullanılarak bulunur.

$$v_{n1} = \Gamma_1 \phi_{n1} S_{d1} \quad \Delta_N = \Gamma_1 \phi_{N1} S_{d1} \quad \Gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad (3.11)$$

Burada S_{a1} ve S_{d1} birinci moda ait spektral ivme ve yer değıştirme değeri, Γ_1 birinci modda kütle katılım katsayısı ve ϕ_{N1} ise birinci modda en üst kata ait yer değıştirme değeri. Bundan sonra daima birinci mod söz konusu olacağı için bu indis yazılmadan ifadeler aşğıdaki gibi basitleştirilebilir.

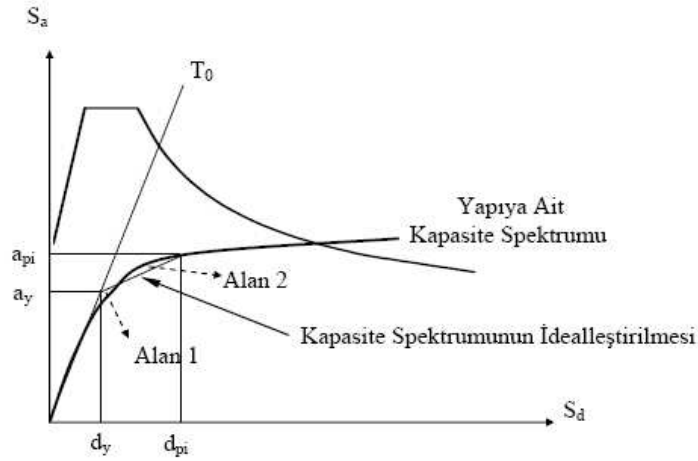
$$S_a = \frac{V_b}{\alpha_1 W} \quad S_d = \frac{\Delta_N}{\Gamma_1 \phi_{N1}} \quad (3.12)$$

Böylece bir sisteme etkiyen V_b taban kesme kuvveti ile Δ_N en üst katın yer değıştirmesi arasında mevcut olan bu bağıntı, yukarıdaki ifadeler kullanılarak $S_d - S_a$ düzleminde bir spektrum eğrisine dönüştürülebilir. Bulunacak $V_b - \Delta_N$ bağıntısı dolayısıyla $S_d - S_a$ eğrisi taşıyıcı sistemin geometrik boyutları yanında kesit kapasitelerine de bağı olacağı için Kapasite Spektrum Eğrisi olarak isimlendirilir.



Şekil 3.9 Yatay etki spektrumundan kapasite spektrumunun elde edilmesi

İtme analizi sonucunda elde edilen kapasite spektrumu, spektral ivme-spektral deplasman formatına dönüştürülmüş olan talep spektrumu ile aynı grafik üzerine çizilebilir. Bu işlemin ardından, eşit yer değıştirme kuralı çerçevesinde tahmini bir performans noktası seçilmektedir. Seçilen performans noktasına ait spektral ivme-spektral yer değıştirme koordinat değeri a_{pi} ve d_{pi} olarak şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10 Kapasite spektrumu ve talep spektrumunun gösterilmesi

Yapılan bu işlemlerden sonra kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi yapılmalıdır. Bu işlemin yapılmasının nedeni, spektral talebi azaltmak ve efektif sönüm değerini belirlemek içindir. İdealleştirmenin yapabilmesi için a_{pi} ve d_{pi} noktaları belirlenmelidir. Eşit yer değiştirme yaklaşımından faydalanarak tahmin edilen performans noktasına göre, kapasite spektrumu iki doğru parçası ile idealleştirilebilir. İdealleştirme işlemi yapılırken, kapasite spektrumu eğrisinin altında kalan alan (Alan 2) ile iki doğru parçası ile idealleştirilmiş eğrinin altında kalan alanın (Alan 1) eşit olmasına dikkat edilmelidir.

Burada

- a_y : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite spektrumunda, akma noktasına karşılık gelen spektral ivme değeri
- d_y : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite spektrumunda, akma noktasına karşılık gelen spektral yer değiştirme değeri
- a_{pi} : Tahmini performans noktasına ait spektral ivme değeri
- d_{pi} : Tahmini performans noktasına ait spektral yer değiştirme değeri

3.4.1.4. Sönümün Tahmini ve %5 Sönümlü Talep Spektrumunun İndirgenmesi

Kapasite ve elastik talep spektrumları, aynı spektral ivme – spektral yer değiştirme $S_a - S_d$ koordinat sisteminde ifade edildikten sonra, deprem etkileri altında yapı sisteminde oluşan doğrusal olmayan şekil değiştirmeler nedeniyle artan sönüm oranına bağlı olarak, elastik talep spektrumunun indirgenmesi gerekir [11]. İndirgeme işlemi yapılırken çevrimsel ve viskoz sönüm toplamının kritik sönüm oranı olarak tanımlandığı etkili sönüm yüzdesi esas alınır.

Betonarme yapılar için kullanılan viskoz sönüm genellikle %5'dir. Çevrimsel sönüm diye adlandırılan sönüm, kapasite spektrumunun içinde yer aldığı çevrim alanı ile ilgilidir. Bu sönüm eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilebilir. Kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile idealleştirilmesi sonucunda oluşan, etkili sönüm yüzdesi

$$\beta_{ef} = \kappa\beta_0 + 5 = \frac{63,7 \kappa (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} + 5 \quad (3.13)$$

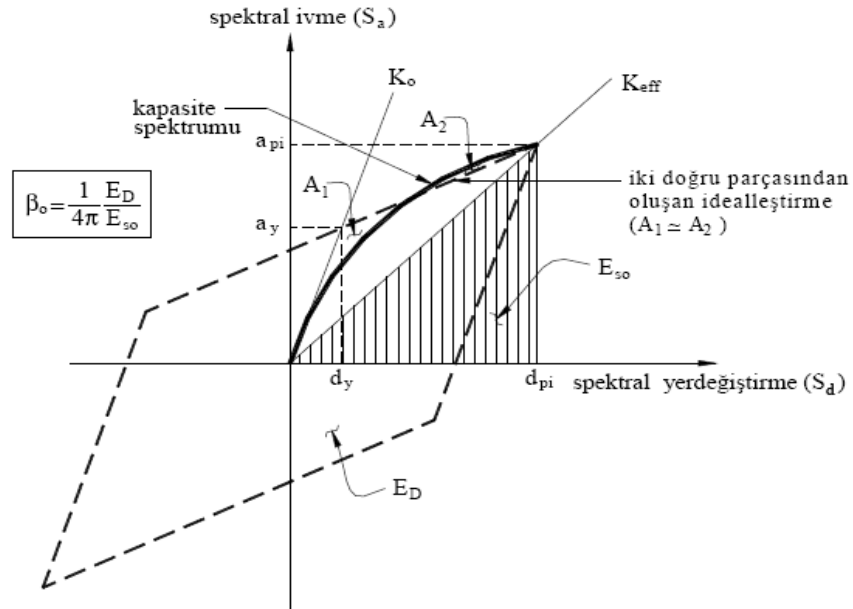
denklemleri ile yazılabilir.

Burada

β_{ef} : yüzde olarak ifade edilen etkili sönüm

β_0 : eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilen çevrimsel sönüm

κ : yapının taşıyıcı sisteminin davranışı ile depremin süresine bağlı olarak belirlenen ve değeri $0.33 \leq \kappa \leq 1$ arasında değişen bir katsayı



Şekil 3.11 Spektral azalma için sönümün elde edilmesi

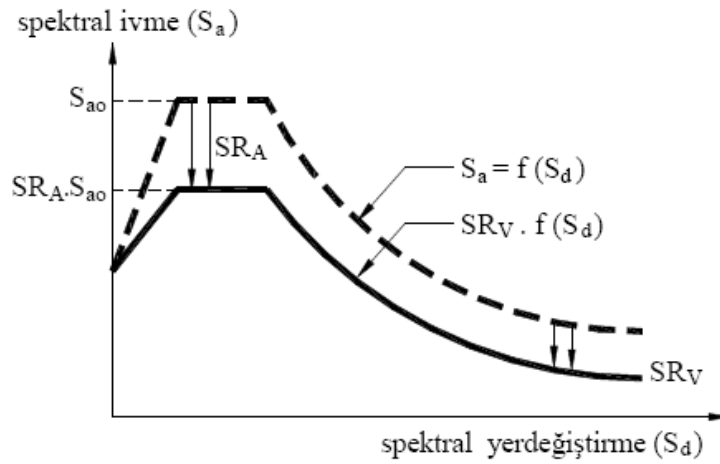
Etkili sönüm oranını hesaplayabilmek için, performans noktasının tahmin edilmesi gerekmektedir. $S_a - S_d$ koordinat sisteminde gösterilen elastik talep spektrumunun yatay kolunun ve azalan kısmının β_{ef} etkili sönüm oranına göre aşağıda verilen katsayılar ile azaltılması gerekmektedir.

$$SR_A = \frac{1}{2,12} [3,21 - 0,68 \ln(100 \beta_{ef})] \quad SR_V = \frac{1}{1,65} [2,31 - 0,41 \ln(100 \beta_{ef})] \quad (3.14)$$

Ancak bulunan değerlerin Tablo 3.10 de verilen minimum değerlerden büyük olması gerekir.

Tablo 3.10 Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V

	Yapı davranış türü A	Yapı davranış türü B	Yapı davranış türü C
SR_A	0.33	0.44	0.56
SR_V	0.50	0.56	0.67



Şekil 3.12 Talep spektrumunun azaltılması

Tablo 3.11 Yapı davranış türü

Deprem Süresi	Genel olarak yeni bina	Ortalama mevcut bina	Zayıf mevcut bina
Kısa	Tip A	Tip B	Tip C
Uzun	Tip B	Tip C	Tip C

Tablo 3.12 κ Düzeltme katsayısının bulunması

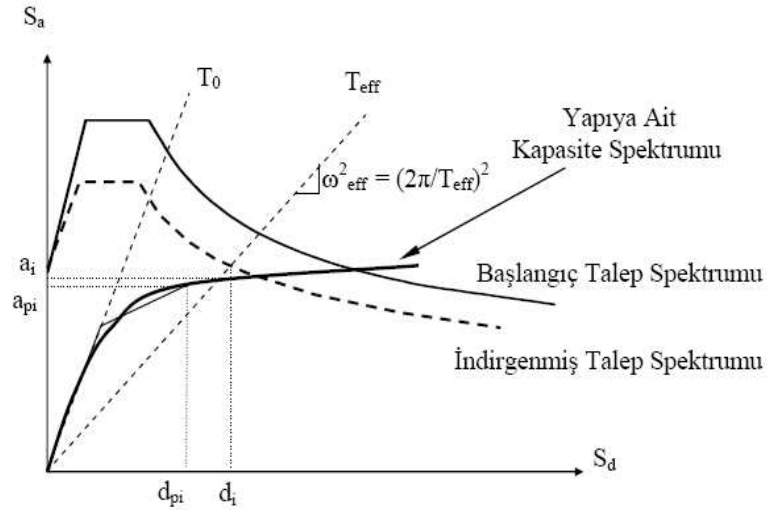
Yapı Davranış Türü	ξ_0 (yüzde)	κ
Tip A	≤ 16.25	1.0
	> 16.25	$1.13 - \frac{0.51(Sa_y Sd_i - Sd_y Sa_i)}{(Sa_i Sd_i)}$
Tip B	≤ 25	0.67
	> 25	$0.845 - \frac{0.446(Sa_y Sd_i - Sd_y Sa_i)}{(Sa_i Sd_i)}$
Tip C	Bütün değer	0.33

Tablo 3.13 Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V

	Yapı davranış türü A			Yapı davranış türü B			Yapı davranış türü C		
β_0	β_{ef}	SR_A	SR_V	β_{ef}	SR_A	SR_V	β_{ef}	SR_A	SR_V
0.0	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00
0.05	0.10	0.78	0.83	0.08	0.83	0.87	0.07	0.91	0.93
0.15	0.20	0.55	0.66	0.15	0.64	0.73	0.10	0.78	0.83
0.25	0.28	0.44	0.57	0.22	0.53	0.63	0.13	0.69	0.76
0.35	0.35	0.38	0.52	0.26	0.47	0.59	0.17	0.61	0.70
≥ 0.45	0.40	0.33	0.50	0.29	0.44	0.56	0.20	0.56	0.67

3.4.1.5. Kapasite Eğrisi ve İndirgenmiş Talep Spektrumunun Kesişimi

İndirgenen talep spektrumu ile kapasite eğrisi kesiştirilerek binanın performans noktası bulunabilir. Kapasite spektrumunda sönüm şekil 3.12 de gösterildiği gibi, elastik davranışın sona erdiği noktanın koordinatları yanında, aranan performans noktasının koordinatlarına bağlıdır. Bu durum ise, çözümün ancak bir ardışık yaklaşımla elde edilebileceğini göstermektedir. Şekil 3.13 de bu işlem gösterilmektedir. Önce göz önüne alınan bölgeye bağlı olarak %5 sönümlü Talep Spektrum Eğrisi oluşturulur. Daha sonra seçilen taşıyıcı sisteme ait yatay yük-yer değiştirme eğrisi çizilir ve bu eğri yukarıda açıklandığı gibi Kapasite Spektrum Eğrisine çevrilir. Geriye sadece performans noktasındaki sönümün elde edilmesi kalır. Bunun için ilk tahmin olarak bir performans noktası seçilir. Bu ilk tahmin elastik talep spektrumu eğrisi ile kapasite spektrum eğrisinin doğrusal kolunun uzatılıp kesişmesi ile bulunabilir. Eşit yer değiştirmelerin ortaya çıkacağı kabulü sonucu bulunan bu kesim noktası ile aynı yer değiştirmeye sahip olan kapasite spektrum eğrisi üzerindeki nokta ilk tahmin olarak kabul edilebilir. Böylece Sa_{pi} ve Sd_{pi} değerleri belirlenmiş olur. Daha sonra kapasite spektrum eğrisi iki doğru ile temsil edilir. Bu basitleştirmede, gerçek eğri değişimi kabul edilen iki doğrudan ibaret olan değişimin altında kalan alanların eşit olması esas alınır. Denklem 3.14 yardımıyla spektral azaltma katsayıları hesap edilir ve azaltılan talep spektrum eğrisi çizilerek, kapasite spektrum eğrisi ile kesim noktası koordinatları Sa_p ve Sd_p bulunur. Bulunan bu değerler ile kabul edilen Sa_{pi} ve Sd_{pi} değerlerinin yakınlığına göre gerekiyorsa sönüm değiştirilerek ardışık yaklaşım tekrarlanır veya sonuç kabul edilir [15].



Şekil 3.13 Kapasite Spektrum Yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi

3.4.1.6. Performans Noktasının Kabul Kriterleri

Performans noktasının bulunmasından sonra S_{a_p} ve S_{d_p} değerlerinden (3.10) ve (3.11) bağıntılarına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve en üst kat yer değiştirmesi hesap edilir. Binanın öngörülen performans seviyesinin koşullarını sağlayıp sağlamadığı, ilgili seviye için öngörülen sınırların kontrol edilmesiyle belirlenir. Eğer bu sınırlar sağlanmıyorsa, performans seviyesinin değiştirilmesi veya taşıyıcı elemanların dayanımlarının ve rijitliklerinin artırılması gerekir. Bu sınırlar, iki sınıfta toplanabilir [15].

3.4.1.7. Bina İçin Genel Kabul Kriterleri:

Binanın tümü için öngörülen kabul kriterleri olarak tanımlanmaktadır. Bina kabul kriterlerinin esas unsurları düşey yük kapasitesi, yatay yük kapasitesi ve katlar arası rölatif ötelemelerdir. Binanın performans noktasındaki toplam yatay yük kapasitesinin, ilerleyen yükleme adımlarında oluşan plastik mafsallarla %20 den daha fazla azalmaması gerekir. Bu suretle deprem etkisindeki yükleme çevrimleri sonucu oluşan dayanım azalması sınırlandırılır. Hasarın performans seviyelerine bağlı olarak sınırlandırılması için, binanın katlar arası yer değiştirmesinin sınırlandırılması yanında, ikinci mertebe etkilerinin de sınırlandırılması gerekir [15].

3.4.1.8. Eleman İçin Kabul Kriterleri

Yapı elemanları taşıyıcı olan ve olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır. Taşıyıcı olanlarda, birincil ve ikincil olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kapasite eğrisi üzerinde elde edilen performans noktasında her elemandaki gerilmeler ve şekil değiştirmelerin hesaplanarak kabul edilen performans noktasının şartlarını sağlayıp sağlamadığı ve ilgili sınır değerlerin altında

kalıp kalmadığı kontrol edilir. Eleman için gerekli olan kabul kriterleri, elemanın türüne ve elemanda güç tükenmesini meydana getirecek olan kritik etkinin türüne bağlıdır. Kiriş ve kolonlarda meydana gelecek plastik mafsallı dönmelerinin, kiriş-kolon birleşim bölgelerinde kesme kuvvetinden dolayı oluşacak kayma açısının ve perdelerdeki mafsallı dönmelerinin kabul sınırları göz önünde tutularak kontrol edilmesi öngörülmektedir. Bu sınırlar incelendiğinde, yapının ana elemanlarında ikincil elemanlara göre daha küçük plastik mafsallı dönmelerine izin verildiği ve sünekliğin büyük olduğu kuvvetli boyuna donatı bulunmayan etriyeli kesitlerde daha büyük dönmelere izin verildiği görülmektedir. Bu sınır dönmeler, performans noktasının hemen kullanım seviyesi gibi daha az hasara karşılık gelmesi durumunda daha küçüktür. Kesme kuvvetinin kritik olduğu ve sünek olmayan güç tükenmesi olabilecek kirişlerde sınır dönme açıları küçük tutulmuştur. Sık etriyenin bulunması durumunda ise sınır dönmeler büyütülmüştür [15].

3.4.1.9. ATC ve FEMA’da Verilen Eleman Deformasyon Kapasiteleri

Elemanlar için birincil hareketler: Yapısal stabilite performans seviyesindeki eleman deformasyon kapasitesi yanal yük kapasitesinin azalmaya başladığı deformasyon olarak tanımlanır.

Elemanlar için ikincil hareketler: Yapısal stabilite performans seviyesindeki eleman deformasyon kapasitesi düşey yük taşıma kapasitesinin bittiği deformasyon olarak tanımlanır. ATC-40 deformasyon kapasitelerinin hesaplanması için aşağıda verilen tablolardaki değerleri önermektedir.

Tablo 3.14 Betonarme kirişler için plastik mafsallı dönmeleri radyan olarak

Durumlar			Modelleme Parametresi			Kabul Kriterleri				
			Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları	Artık Güç Oranı	Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları					
					Eleman Tipi					
					Birincil		İkincil			
					Performans Seviyesi					
			a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP
Eğilme Etkisindeki Kirişler										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargı donatı durumu	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_{ck}}}$								
≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.025	0.05	0.2	0.005	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	Uygun	≥ 6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	Uygun	≤ 3	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	Uygun	≥ 6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	Uygun Değil	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	Uygun Değil	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Uygun Değil	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Uygun Değil	≥ 6	0.005	0.01	0.2	0.0	0.005	0.005	0.005	0.01

Tablo 3.15 Betonarme kolonlar için plastik mafsallı dönmeleri radyan olarak

Durumlar			Modelleme Parametresi			Kabul Kriterleri				
			Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları	Artık Güç Oranı	Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları					
					Eleman Tipi					
					Birincil		İkincil			
					Performans Seviyesi					
			a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP
Eğilme Etkisindeki Kirişler										
$\frac{P}{A_g f_{ck}}$	Sargı donatı durumu	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_{ck}}}$								
≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.015	0.03
≤ 0.1	Uygun	≥ 6	0.015	0.025	0.2	0.005	0.01	0.015	0.01	0.025
≥ 0.4	Uygun	≤ 3	0.015	0.025	0.2	0.0	0.005	0.015	0.01	0.025
≥ 0.4	Uygun	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
≤ 0.1	Değil	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.005	0.01	0.005	0.015
≤ 0.1	Değil	≥ 6	0.005	0.005	-	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
≥ 0.4	Değil	≤ 3	0.005	0.005	-	0.0	0.0	0.005	0.0	0.005
≥ 0.4	Değil	≥ 6	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

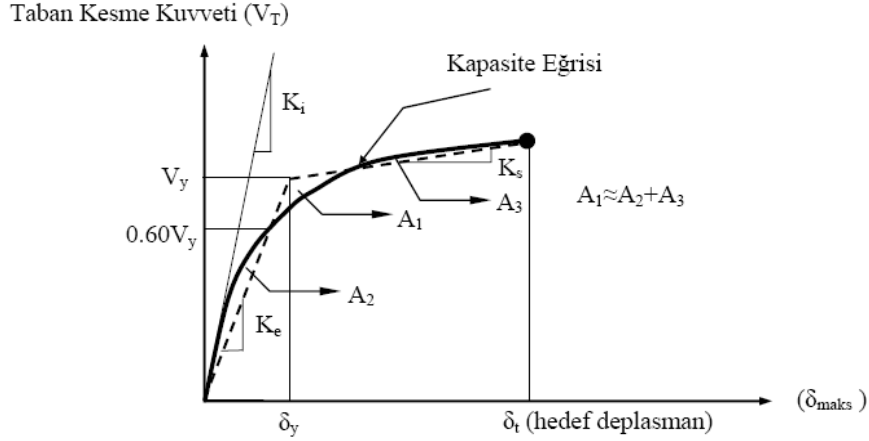
Tablo 3.16 Betonarme perdeler için plastik mafsal dönmeleri radyan olarak

Durumlar	Modelleme Parametresi			Kabul Kriterleri						
	Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları	Artık Güç Oranı	Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları							
			Eleman Tipi							
			Birincil		İkincil					
			Performans Seviyesi							
	a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP		
Eğilme Etkisindeki Kirişler										
$\frac{(A_s-A_s')f_y+P}{t_wf_{ck}}$	$\frac{V}{b_wd\sqrt{f_{ck}}}$	Perde uç donatısı								
≤ 0.1	≤ 3	Evet	0.015	0.02	0.75	0.005	0.01	0.015	0.015	0.02
≤ 0.1	≥ 6	Evet	0.01	0.015	0.40	0.004	0.008	0.01	0.01	0.015
≥ 0.25	≤ 3	Evet	0.009	0.012	0.6	0.003	0.006	0.009	0.009	0.012
≥ 0.25	≥ 6	Evet	0.005	0.01	0.3	0.001	0.003	0.005	0.005	0.01
≤ 0.1	≤ 3	Hayır	0.008	0.015	0.6	0.002	0.004	0.008	0.008	0.015
≤ 0.1	≥ 6	Hayır	0.006	0.01	0.3	0.002	0.004	0.006	0.006	0.01
≥ 0.25	≤ 3	Hayır	0.003	0.005	0.25	0.001	0.002	0.003	0.003	0.005
≥ 0.25	≥ 6	Hayır	0.002	0.004	0.20	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004

3.4.2. Deplasman Katsayıları Yöntemi

Deplasman Katsayıları Yöntemi'nde, Kapasite Spektrumu Yöntemi'ndeki gibi kapasite ve talep birbiriyle ilişkilidir. İki yöntem arasındaki temel farklılık ise deplasman katsayıları yönteminde, talep edilen yer değiştirme grafiksel değil de, doğrudan sayısal olarak belirlenmektedir. Yer değiştirme talebi sayısal olarak belirtildiğinden, kapasite eğrisi kapasite spektrumuna dönüştürülmez. Deplasman Katsayıları Yöntemi'nde, yer değiştirme talebi yapı sisteminin özelliklerine bağlı olarak belirtilmiş katsayılar kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu yöntemde önce yapının kapasite eğrisi belirlenir, yapabileceği maksimum deplasman yani hedef deplasman hesaplanır ve yapının performans noktası belirlenir. Deplasman katsayıları yönteminde ilk olarak taban kesme kuvveti ile tepe noktası yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisi belirlenirken, yapının birinci doğal titreşim periyoduna ve etkin olan modlara göre bir yatay yük dağılımı belirlenir. Sabit düşey yükler ve sabit bir oranla artan yatay yükler altında, doğrusal olmayan teoriye göre hesap yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisi belirlendikten sonra, bu eğrinin birincisinin eğimi elastik rijitliği (K_e), ikincisinin eğimi ise elasto-plastik rijitliği (K_s) gösteren iki doğru parçası ile kırıklı hale getirilir. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diyagramlarının altında kalan alanların eşit olması ve (K_e) eğimli doğrunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının (K_e) ve (K_s) eğimli doğruların kesiştiği noktanın ordinatının 0.60

$(0.60 V_y)$ katı olması koşullarına dikkat edilmelidir. Ancak iki doğrunun kesim noktası başlangıçta bilinmediğinden, bir deneme-yanılma yöntemi uygulanması gerekir [11].



Şekil 3.14 Kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi

Bu işlemler yapılırken, kapasite eğrisi üzerinde tahmini bir hedef deplasman δ_t belirlenerek, K_e doğrusu seçilmekte ve buna bağlı olarak V_y değeri hesaplanmaktadır. K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinat değeri kontrol edilmekte ve bu değer $0.60 V_y$ 'ye eşit oluncaya kadar K_e doğrusu için yeni değerler seçilerek işlemler tekrarlanmaktadır [7].

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3.15)$$

Burada

T_i : Dikkate alınan deprem kuvvetleri doğrultusunda yapının elastik dinamik analizi ve elemanların gerçek rijitlikleri (çatlamış kesit rijitlikleri) kullanılarak hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu

T_e : Yapının efektif periyot değeri

K_i : Yapının elastik yanal rijitliği

K_e : Yapının elastik efektif rijitliği

Yapı sisteminin T_e etkin doğal periyodu bulunduktan sonra, hedef yer değiştirme aşağıdaki formülle bulunmaktadır.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (3.16)$$

Burada

C_0 : Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yer değiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısıdır. Bu katsayı üç şekilde bulunabilmektedir.

- Deplasman kontrolünün yapıldığı noktaya (tepe noktası) ait birinci modal katılım çarpanı $(PF_1\phi_{tepe,1})$ olarak alınabilir.
- Deplasman kontrolünün yapıldığı noktada, hedef deplasmanına ulaşmış yapının deforme olmuş şekline ait şekil vektörü kullanılarak hesaplanan modal katılım çarpanı olarak alınabilir.
- Yapının taşıyıcı sistem özelliğine, kullanılan yatay yük dağılımına ve yapının kat adedine bağlı olarak Tablo 3.17’den belirlenebilir.

Tablo 3.17 C_0 modal katılım katsayı değerleri

Kat Sayısı	Kesme Tipi Yapılar		Diğer Yapılar
	Üçgensel Yük	Düzgün Yayılı Yük	Herhangi Bir Yük Dağılımı
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
+10	1.3	1.2	1.5

Tabloda kesme tipi olarak ifade edilen yapılar; tüm katlarda yüksekliğin artmasıyla birlikte katlar arası ötelenme miktarının azaldığı yapılar olarak tanımlanmaktadır.

C_1 : Doğrusal elastik yer değiştirmeyi, beklenen maksimum doğrusal elastik olmayan yer değiştirmeye dönüştüren düzeltme katsayısıdır.

$$C_1 = 1 + \frac{R - 1}{aT_e^2} \quad (3.17)$$

Bu denklemde T_e yapının efektif periyodunu ifade etmektedir. a katsayısı FEMA-356’da tanımlanan B,C ve D zemin sınıfları için sırasıyla 130,90 ve 60 olarak alınmaktadır. R değeri ise elastik olmayan dayanım talebinin akma dayanıma oranı olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki denklemle elde edilmektedir.

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} C_m \quad (3.18)$$

Denklem (3.18)'de, S_a yapının birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivme, V_y iki doğru parçası ile idealleştirilmiş kapasite eğrisinin akma dayanımı, C_m ise efektif kütle çarpanı olarak tanımlanmaktadır. C_m çarpanı yapının taşıyıcı sistemi ve kat adedine bağlı olarak Tablo 3.18'dan belirlenebilir. Birinci doğal titreşim periyodu bir saniyeden büyük yapılarda $C_m=1.00$ olarak kullanılabilir.

Tablo 3.18 C_m efektif kütle çarpanı değerleri

Kat Sayısı	Betonarme Çerçeve	Betonarme Perde	Betonarme Destek Payanda	Diğerleri
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0
≥ 3	0.9	0.8	0.8	1.0

Birinci doğal titreşim periyodu bir saniyeden büyük yapılarda $C_1=1.00$ olarak alınabilir.

C_2 : Çevrimsel enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısıdır. Aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left(\frac{R-1}{T} \right)^2 \quad (3.19)$$

Birinci doğal titreşim periyodu 0.7 saniyeden büyük yapılarda $C_2=1.00$ olarak alınabilir.

C_3 : ikinci mertebe etkileri nedeniyle artan yer değiştirmelerin etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısıdır.

$$C_3 = 1 + \frac{|a|(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (3.20)$$

Burada a akma sonrası rijitliğin elastik rijitliğe oranıdır.

3.4.3. DBYBHY-2007’de Verilen Artımsal İtme Analizi Yöntemleri

a) **Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi**, eşdeğer deprem yönteminde de belirtildiği gibi bodrum kat üzerindeki toplam kat sayısı 8’i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlilik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması gerekmektedir. Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde, deprem talebine (performans noktasına) kadar monolitik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında, doğrusal olmayan itme analizi yapılır. Analizde ardışık iki plastik mafsall oluşumu arasındaki her bir itme adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değerler ve son itme adımında deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

b) **Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi**, deprem talebine kadar her bir titreşim modunda monolitik olarak arttırılan modal yer değiştirmelere göre mod birleştirme yöntemi, ardışık iki plastik mafsall oluşumu arasındaki her bir itme adımında artımsal olarak uygulanır. Bu itme adımlarında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değerler ve son itme adımında deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır. Artımsal mod birleştirme yöntemi tüm binalara uygulanabilmektedir.

c) **Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi**, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak, sistemin hareket denklemi artımsal olarak entegre edilir. Her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem talebine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır. Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi tüm binalara uygulanabilir.

3.4.3.1. Plastik Davranışın İdealleştirilmesi

Doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modelinin (plastik kesit kavramı) kullanılması öngörülmüştür. Basit eğilme durumunda plastik mafsall hipotezine karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Basit

eğilme durumunda plastik mafsallık boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (l_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutunun (h) yarısına eşit olmaktadır.

$$l_p = 0.5h \quad (3.21)$$

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

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

b) Betonarme perdelerde, plastik kesitler her katta perde kesiminin alt ucuna konulabilir. U, T, L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır. Betonarme kesitlerin akma yüzeyleri uygun biçimde doğrusallaştırılarak, iki boyutlu davranış durumunda akma çizgileri, üç boyutlu davranış durumunda ise akma düzlemleri olarak modellenebilir. Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışlarının belirlenmesinde çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerlerden yararlanılabilir.

a) Kirişlerde $0.40EI_0$

b) Kolon ve perdelerde $N_d / (A_c f_{ck}) \leq 0.10$ olması durumunda: $0.40EI_0$

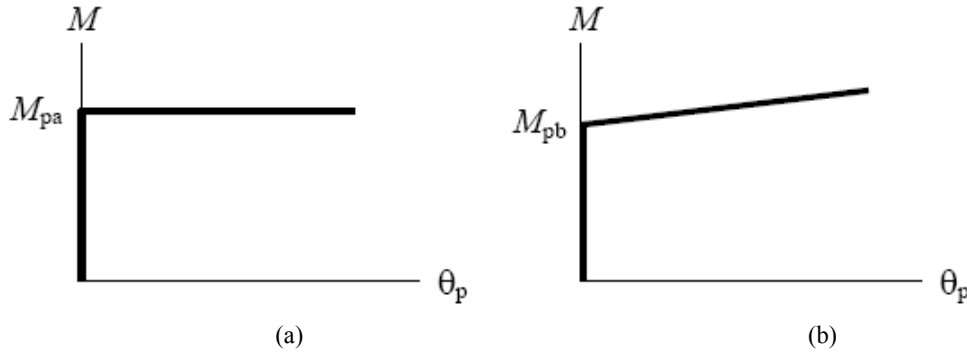
$N_d / (A_c f_{ck}) \geq 0.40$ olması durumunda: $0.80EI_0$

Yukarıdaki bağıntılarda N_d düşey yükler altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetini göstermektedir. N_d 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. İtme analizi modelinde kullanılacak olan plastik kesitlerin iç kuvvet – plastik şekil değiştirme bağıntıları ile ilgili olarak aşağıdaki idealleştirmeler yapılabilir.

a) İç kuvvet – plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak ihmal edilebilir, (Şekil 3.15a). Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi

izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu göz önüne alınır.

b) Pekleşme etkisinin göz önüne alınması durumunda (Şekil 3.15b), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekil değiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanmalıdır.



Şekil 3.15 Eğilme momenti-Plastik dönme bağıntıları

3.4.3.2. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

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

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yüğü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik mafsallardan oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, taşıyıcı sistemin başlangıçtaki doğrusal elastik davranışı için hesaplanan birinci (hâkim) titreşim modu ile orantılı olacak şekilde tanımlanır. Daha kesin bir sonuç için, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yüğü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre değişken olarak göz önüne alınabilir. Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik mafsallar göz önüne alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim modu ile orantılı olarak tanımlanır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile koordinatları “modal yer değiştirme–modal ivme” olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

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

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (3.22)$$

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

b) (i). itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hâkim) moda ait modal yer değiştirme $d_1^{(i)}$ 'in hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN}\Gamma_{x1}} \quad (3.23)$$

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

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (3.24)$$

İtme analizi sonucunda yukarıda açıklandığı şekilde elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, elastik davranış spektrumu göz önüne alınarak, birinci (hâkim) moda ait maksimum modal yer değiştirme, diğer bir deyişle modal yer değiştirme talebi hesaplanır. Tanım olarak modal yer değiştirme talebi, $d_1^{(p)}$ doğrusal olmayan spektral yer değiştirme S_{d1} 'e eşittir [10].

$$d_1^{(i)} = S_{d1} \quad (3.25)$$

Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme, S_{d1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (lineer) spektral yer değiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak Denk.(3.26) ile elde edilir:

$$S_{d1} = C_{R1} S_{de1} \quad (3.26)$$

Doğrusal elastik (lineer) spektral yer değiştirme S_{del} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ael} ’den hesaplanır:

$$S_{del} = \frac{S_{ael}}{(w_1^{(1)})^2} \quad (3.27)$$

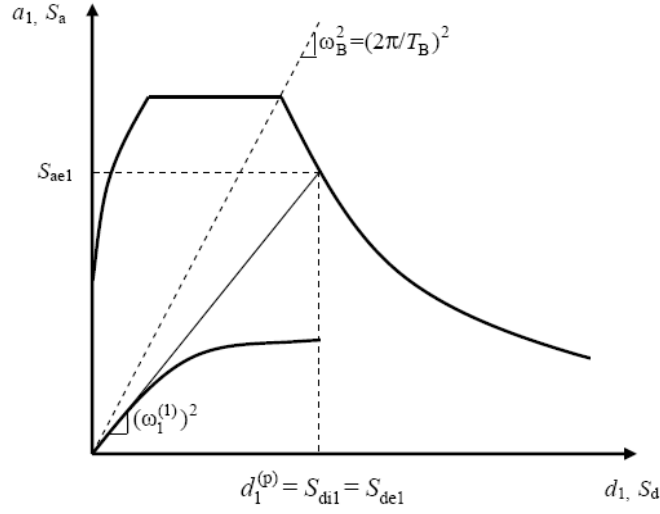
Spektral yer değiştirme oranı C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ ’in değerine ($T_1^{(1)} = 2\pi / w_1^{(1)}$) bağlı olarak aşağıdaki şekilde belirlenir. $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B ’ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(w_1^{(1)})^2 \leq w_B^2$), doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme S_{dil} , eşit yer değiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan eşlenik doğrusal elastik sistem’e ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme S_{del} ’e eşit alınacaktır. Buna göre Denk.(3.26)’daki spektral yer değiştirme oranı:

$$C_{R1} = 1 \quad (3.28)$$

değerini almaktadır.

Şekil 3.16 ’da ve onu izleyen şekil 3.17’de birinci (hâkim) titreşim moduna ait ve koordinatları (d_1, a_1) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları “spektral yer değiştirme (S_d) – spektral ivme (S_a)” olan davranış spektrumu bir arada çizilmiştir.

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B ’den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$ veya $(w_1^{(1)})^2 > w_B^2$) ise, Denk.(3.16)’daki spektral yer değiştirme oranı C_{R1} , ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır [10].

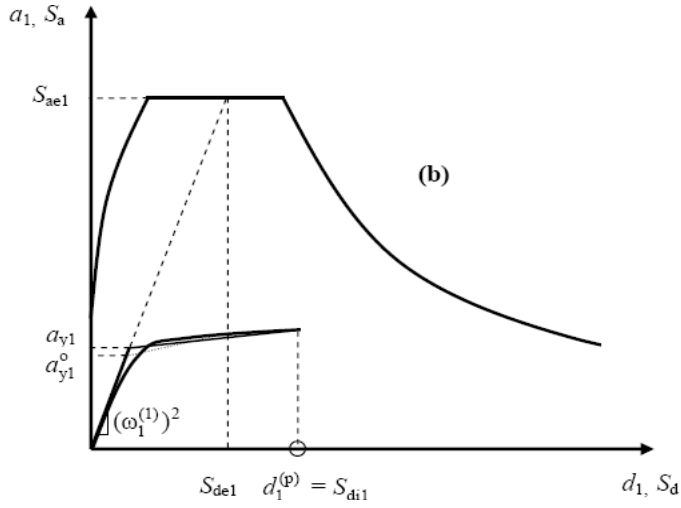
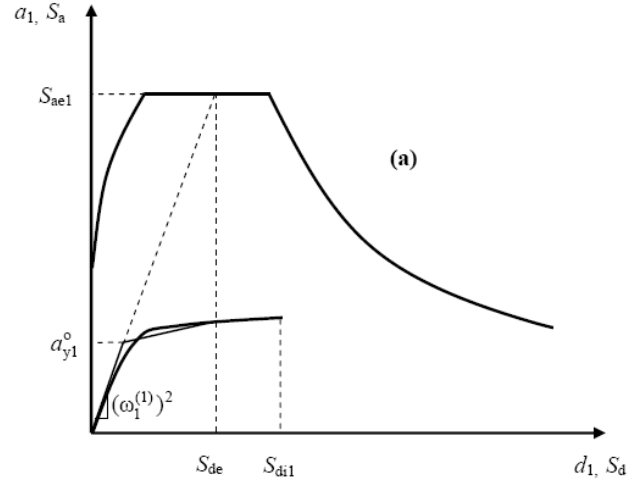


Şekil 3.16 Performans noktasının belirlenmesi ($T^{(1)} \geq T_B$)

a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, şekil 3.17(a)'da gösterildiği gibi, yaklaşık olarak iki doğrulu bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki ($i=1$) doğrunun eğimi olan birinci moda ait öz değere, $(w_1^{(1)})^2$, eşit alınır ($T_1^{(1)} = 2\pi / w_1^{(1)}$).

b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ kabulü yapılarak, diğer değişle Denk. (3.29) kullanılarak eşdeğer akma noktası'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 3.17(a)'da görülen a_{y1}^o esas alınarak C_{R1} aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (3.29)$$



Şekil 3.17 Performans noktasının belirlenmesi ($T^{(1)} \leq T_B$)

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

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (3.30)$$

Denk.(3.26)'ya göre hesaplanan S_{di1} esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları, şekil 3.17(b)'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} , C_{R1} , tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir. Son itme adımı $i = p$ için Denk.(3.25)'e göre belirlenen modal yer değiştirme talebi $d_1^{(p)}$ 'nin Denk.(3.31)'de yerine konulması ile x deprem doğrultusundaki tepe yer değiştirmesi talebi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir:

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (3.31)$$

Buna karşı gelen diğer tüm talep büyüklükleri (yer değiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvet talepleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilecek veya tepe yer değiştirmesi talebine ulaşıncaya kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile hesaplanır [14].

3.4.3.3. Kesitteki Birim Şekildeğiştirme Taleplerinin Belirlenmesi

Doğrusal elastik olmayan yöntemlere göre hesaplanan taşıyıcı sistemlerde, herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik mafsal dönmesine bağlı olarak, plastik eğrilik talebi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.32)$$

Beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak elde edilen iki doğrulu eğilme momenti-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, yukarıda tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik talebiyle toplanarak, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik talebi elde edilir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.33)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekil değiştirmesi talebi ile donatıdaki birim şekil değiştirme talebi, yukarıda tanımlanan toplam eğrilik talebine göre, ilgili kesitte verilen beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak elde edilen eğilme momenti – eğrilik ilişkisinden hesaplanır. Beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem taleplerine, aşağıda tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit bazında taşıyıcı performansı belirlenir.

3.4.3.4. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri

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

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

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.004 \quad ; \quad (\varepsilon_{su})_{MN} = 0.010 \quad (3.34)$$

b) Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için beton basınç birim şekil değıştirmesi ile donatıdaki birim şekil değıştirmesi üst sınırları için:

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (3.35)$$

c) Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için beton basınç birim şekil değıştirmesi ile donatı birim şekil değıştirmesi üst sınırları için:

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.005 + 0.013(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GS} = 0.060 \quad (3.36)$$

değerleri önerilmektedir [14].

4. MEVCUT BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Binalardan Bilgi Toplanması

4.1.1. Binalardan Toplanacak Bilginin Kapsamı

Mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin hesaplanmasında ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler; binaların projelerinden, raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilerek yapılır. 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 saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrol edilmesi gerekmektedir [14].

4.1.2. Bilgi Düzeyleri

Binaların incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre her bina türü için bilgi düzeyi katsayıları tanımlanmaktadır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırılırlar. Elde edilen bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Sınırlı bilgi düzeyi'nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.

Orta bilgi düzeyi'nde eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Eğer mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır.

Kapsamlı bilgi düzeyi'nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla orta bilgi düzeyine göre daha kapsamlı ölçümler yapılır [14].

Tablo 4.1 Binalar için bilgi düzeyi katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

4.1.2.1. Betonarme Binalarda Sınırlı Bilgi Düzeyi

Bina Geometrisi: Binanın geometrisinin incelenmesi sırasında saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem plan rölevesi çıkarılır. Mimari projeler mevcut ise, röleve çalışmalarında bu projelerden faydalanılır. Elde edilen bilgilerin; tüm betonarme elemanların ve bölme duvarların her kattaki yerini, aks açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içermesi gerekir. Elde edilecek bilgiler binanın hesap modelinin oluşturulması için yeterli olmalıdır. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda kontrol çukuru ile belirlenir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) ayrıyeten belirlenmelidir [14].

Eleman Detayları: Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut değildir. Betonarme elemanlardaki donatı miktarı ve detaylarının en fazla binanın yapıldığı tarihteki minimum donatı koşullarını sağladığı varsayılır. Bu varsayımın doğrulanması veya hangi oranda gerçekleştiğinin belirlenmesi için her katta en az birer adet olmak üzere kolonların ve kirişlerin her birinden %10 oranında elemanın pas payları sıyrılarak donatı tespiti yapılır. Sıyırma işlemi kolon ve kirişlerin uzunluğunun açıklık ortasındaki üçte birlik bölümde yapılmalıdır. Sıyrılan yüzeyler daha sonra yüksek dayanımlı tamir harcı ile kapatılır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi ile boyuna donatı bindirme boyları donatı tespit cihazları ile tahribatsız olarak ölçülmelidir [14].

Malzeme Özellikleri: Her katta kolonlardan veya perdelerden en az iki adet beton örneği (karot) alınarak deney yapılır ve örneklerden elde edilen en düşük basınç dayanımı betonun kapasite dayanımı olarak alınır. Donatı sınıfı, yukarıda açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilir, bu sınıftaki çeliğin karakteristik akma dayanımı çeliğin kapasite dayanımı olarak alınır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenir. Bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınmalıdır [14].

4.1.2.2. Betonarme Binalarda Orta Bilgi Düzeyi

Bina Geometrisi: Binanın betonarme projeleri mevcut ise, binada yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projesine uygunluğu kontrol edilir. Proje yoksa saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem rölevesi çıkarılır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve bölme duvarların her kattaki yerini, açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içermelidir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda kontrol çukuru ile belirlenir [14].

Eleman Detayları: Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut değil ise sınırlı bilgi düzeyindeki eleman detaylarındaki koşullar geçerlidir, ancak donatı kontrolü yapılmalı kolon ve kirişlerin sayısı her katta en az 2’şer adet olmak üzere o kattaki toplam eleman sayılarının yüzde 20’sinden az olmamalıdır. Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut ise donatı kontrolü için yine sınırlı bilgi düzeyindeki eleman detaylarındaki belirtilen işlemler aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanır. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı belirlenir. Eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı birden büyük olamaz. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanlardaki enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi ile boyuna donatı bindirme boyları donatı tespit cihazları ile tahribatsız olarak ölçülür [14].

Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 12 adetten az olmamak üzere, her 400 m²’den bir adet beton örneği (karot) alınarak deney yapılır. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında örneklerden elde edilen (ortalama-standart sapma) değerleri kapasite dayanımı olarak alınır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile kalibre edilmiş beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilir. Donatı sınıfı, yukarıda açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilir, bu sınıftaki çeliğin karakteristik dayanımı eleman kapasite hesaplarında kapasite dayanımı olarak alınır. Donatılarında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenir ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınır. [14]

4.1.2.3. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi

Bina Geometrisi: Binanın betonarme projeleri mevcuttur. Binada yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projelere uygunluğu kontrol edilir. Projeler ölçümler ile önemli farklılıklar gösteriyor ise proje yok varsayılır. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenir. Komşu binalarla ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda kontrol çukuru ile belirlenir [14].

Eleman Detayları: Binanın betonarme detay projeleri mevcuttur. Donatının projeye uygunluğunun kontrolü için yukarıda orta bilgi düzeyinin eleman detaylarında belirtilen işlemler, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanır. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı belirlenir. Eleman kapasitelerinin

belirlenmesinde kullanılan bu katsayı birden büyük olamaz. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanlardaki enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi ile boyuna donatı bindirme boyları donatı tespit cihazları ile tahribatsız olarak ölçülür [14].

Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 12 adetten az olmamak üzere, her 200 m²'den bir adet beton örneği (karot) alınarak deney yapılır. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında, örneklerden elde edilen (ortalama-standart sapma) değerleri kapasite dayanımı olarak alınır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile kalibre edilmiş beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilir. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan inceleme ile tespit edilir, her sınıftaki çelik için (S220, S420, vb.) birer adet kupon (tercihen kirişlerin uygun bölgelerindeki donatılarından) alınarak deney yapılacaktır, çeliğin akma ve kopma dayanımları ve şekil değiştirme özellikleri belirlenerek proje saptanır. Projesine uygun ise, eleman kapasite hesaplarında projede kullanılan çeliğin karakteristik akma dayanımı kapasite dayanımı olarak alınır. Uygun değil ise, en az üç adet kupon daha alınarak deney yapılır, elde edilen en elverişsiz değerler eleman kapasite hesaplarında kapasite dayanımı olarak alınır. Donatılarında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenir ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınır [14].

5. SAP2000’le STATİK İTME (PUSHOVER) ANALİZİ

Doğrusal Olmayan Statik İtme (Pushover) analizi SAP2000’nin Doğrusal Olmayan sürümünde önerilen çok güçlü bir özelliktir. Statik İtme (Pushover) analizi hem iki boyutlu hem de üç boyutlu modellere uygulanabilmektedir. Her bir statik itme (pushover) durumu yapıda yatay yükün farklı dağılımlarına sahiptir. Bir statik itme hali sıfır ilk şartından başlayabilir veya önceki static itme durumunun sonundan başlayabilir. Bununla birlikte SAP2000 “Düşey” statik itme analizi sırasında plastik mafsallaşmayı hesaba katmaktadır.

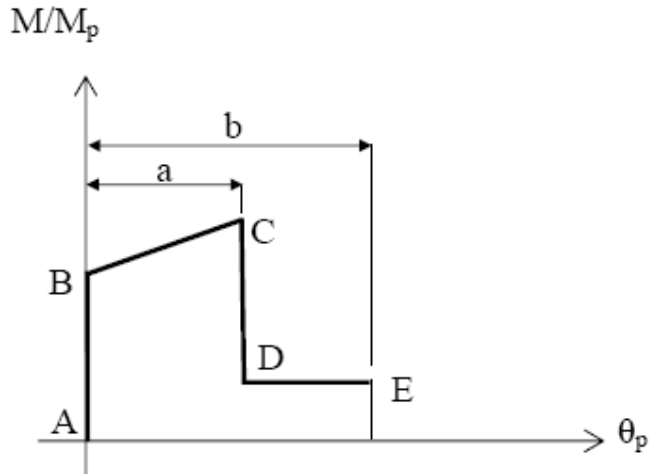
SAP2000 ayrıca statik itme analizi hem kuvvet kontrollü hem de deplasman kontrollü olarak uygulayabilmektedir. “Push To Load Level Defined by Pattern” seçenek düğmesi kuvvet kontrollü analizin yapılması için uygulanmaktadır. (şekil 5.1) Statik itme analizi “Load Pattern” kutusunda bulunan bütün yüklerin toplamıyla ifade edilen toplam yük değerine ilerletir. (çok düşük kuvvet değerlerinde birleşirse analiz hata verir) “Push To Displacement Magnitude” seçenek düğmesi deplasman kontrollü analizin yapılması için uygulanmaktadır.

Şekil 5.1 Statik itme (pushover) veri giriş kutusu

“Options” alanının sağ tarafındaki parametreler statik itme analizi kontrol etmektedir. “Minimum Saved Steps” ve “Maximum Total Steps” statik itme analizinde kaydedilen noktaların sayısını kontrol etmektedir. “The Maksimum Null Steps” çözümündeki sayısal duyarlılık veya yapıdaki önemli bir hata sebebiyle bir adımdaki uyumsuzluğu hesaplayan kümülâtif bir sayaçtır. “Iteration Tolerance” ve “Maximum Iteration/Step” statik itme analizindeki her bir adımın sonunda statik dengeyi kontrol eden parametrelerdir. Eğer dengesiz

yükün uygulanan yüke oranı “Iteration Tolerance” yi aşarsa bu adım için ikinci iterasyonda dengesiz yük uygulamaktadır. Bu iterasyonlar “Iteration Tolerance”yi sağlayana veya “Maximum Iterations/Step” ulaşınca kadar devam etmektedir.

Geometrik doğrusal olmama hali büyük deplasmanlara P-Delta etkilerini ilave ederek düşünülebilir. Modal ve üniform yanal yük şekilleri kullanıcı tanımlı statik yanal yük haline ilaveten SAP2000 tarafından doğrudan ilave edilebilmektedir. Bir çerçeve elemanı doğrusal olmayan SAP2000’de belirlenen mafsallarla gösterilmektedir. Mafsal, statik itme analizi esnasında kuvvet-deformasyon eğrisinin negatif eğimine ulaştığında kapasite azalması meydana getirmektedir.



Şekil 5.2 Sap2000 çerçeve elemanının genelleştirilmiş kuvvet deplasman karakteristiği

Statik analizde negatif eğri boyunca şekildeki gibi bir yük boşaltılması stabil değildir. SAP2000 statik itme analizi için üç tane yöntem önermektedir. “Unload Entire Structure” seçeneği, kuvvet-deplasman eğrisinde mafsal C noktasına ulaştığında (şekil 5.2) program taban kesme kuvvetini artırmaya devam edecektir. Eğer bu yük artımı yanal deformasyonlarda artış meydana getirirse analiz ilerleyecektir. Eğer deformasyon artışı meydana gelmiyorsa taban kesme kuvveti, mafsalsın kuvvet-deplasman eğrisinde D noktasındaki değerle uygun oluncaya kadar bütün yapı üzerinde yanal yük ters çevrilerek azaltılmaktadır. Taban kesme kuvveti azaldığından dolayı bütün elemanların yükü boşalır ve yanal deplasman azalır. Mafsal tamamen yükü boşalttığında; taban kesme kuvveti tekrar artar, yanal deplasman artmaya başlar ve yapının diğer elemanları yükü boşalmış mafsaldan nakledilen yükü üzerinde toplar.

“Apply Local Redistribution” seçeneği bütün yapının yükünün boşaltılması yerine sadece mafsal bulunduran elemanın yükünü boşaltmaktadır. Program; mafsal C noktasına

ulaştığı zaman taban kesme kuvvetini azaltarak ilerlemektedir. Mafsalları boşaltır boşaltmaz nakledilen yük komşu elemana aktararak, geçici yük ters çevrilmiştir.

“Restart Using Secant Stiffness” seçeneğinde; her mafsalları kuvvet deformasyon eğrisindeki C noktasına ulaştığı zaman, doğrusal olmayan bütün mafsallar sekant rijitlik özelliklerini kullanarak yeniden düzenlenir ve analiz tekrar başlatılır. Düşey yük altında olan bir mafsaldaki gerilme yeterince büyük olduğunda sekant rijitliği negatif olacağından bu yöntem başarısız olabilmektedir. Diğer taraftan, diğer iki yöntemin küçük negatif eğimli (neredeyse yatay) mafsalları sebebiyle başarısız olduğu durumlarda bu yöntem çözüm üretebilmektedir. Eğer “Save Positive Increments Only” seçenek kutusu statik itme (pushover) analizi işaretlenirse, yük boşaltması meydana gelen adımlardaki mafsallar statik itme (pushover) eğrisinde eleman yük boşaltma yönteminin özelliklerini göstermek için kaydedilmektedir. Bununla birlikte, eğer “Save Positive Increments Only” seçenek kutusu işaretlenirse statik itme eğrisi bütün kaydedilen noktaların zarf eğrisi olacaktır.

Bütün yöntemlerden elde edilen statik itme (pushover) eğrileri aynı taban kesme kuvveti kapasitesine ve yanal maksimum yanal deplasmana sahip olmasına rağmen, statik itme (pushover) analizi toplam ve önemsiz adımların ortalama sayılarını kullandığından dolayı genellikle “Save Positive Increments Only” seçeneği ile birlikte “Unload Entire Structure” yük boşaltma yöntemini kullanmaktadır. Bununla birlikte “Apply Local Redistribution” statik itme (pushover) eğrisinin yük boşaltma kolu genellikle gözlenemeyen aşırı miktarda çok küçük ve önemsiz adımlar gerektirmektedir. “Restart Loading Using Secant Stiffness” hedef deplasmanın karesi olarak artan adımların sayısını gerektirdiğinden en az etkili yöntemdir.

5.1. SAP2000’de Eleman Tanımlanması

SAP2000’de bir çerçeve elemanı, düz çizgi parçalarının bir dizisiyle gösterilen mafsalları gibi modellenen tek çerçeve elemanlarının doğrusal elastik özelliklerine ve doğrusal olmayan kuvvet-deplasman karakteristiklerine sahip çubuk eleman olarak modellenmektedir. SAP2000’de çerçeve elemanın (veya mafsalları özellikleri) genelleştirilmiş kuvvet deplasman karakteristiği şekil 5.2’de gösterilmektedir. A noktası yük boşaltma şartını, B noktası elemanın akma noktasını, C’deki ordinat nominal dayanımı göstermektedir. C’ nin yatay koordinatı önemli mukavemet azalmasının başladığı deformasyona denk gelmektedir. C’den D’ye düşüş elemanın aktığını göstermektedir. D’den E’ye arta kalan mukavemet ise çerçeve elemanın düşey yükü bile dayanamayacağını göstergesidir.

Eleman uçlarına kadar çerçeve elemanın açıklığı boyunca potansiyel akma noktalarına mafsallar atanabilmektedir. Eğilme momenti (M2 ve M3), burulma (T), eksenel kuvvet (P) ve kesme kuvveti (V2 ve V3) kuvvet deplasman bağıntılarını ifade etmektedir. Yanal yükleme

altında kolon eksenel yükü değişirse, mafsalsal bölgesinde eksenel kuvvet ve eğilme momentlerine dayalı P-M2-M3 (PMM) mafsalsal bağıntısı kullanılır. Ayrıca, çerçeve elemanın ayrı noktalarında bir mafsalsal tipinden daha fazla mafsalsal atanabilmektedir. SAP2000’de mafsalsal özelliklerinin üç tipi verilmektedir. Bunlar varsayılan mafsalsal, kullanıcı tanımlı mafsalsal ve üretilen mafsalsaldır. Sadece varsayılan mafsalsal ve kullanıcı tanımlı mafsalsal çerçeve elemanlara atanabilmektedir. Bu mafsalsal özellikleri (varsayılan ve kullanıcı tanımlı) çerçeve elemanına atandığı zaman, program otomatik olarak her mafsalsal için yeni üretilen mafsalsalı oluşturmaktadır.

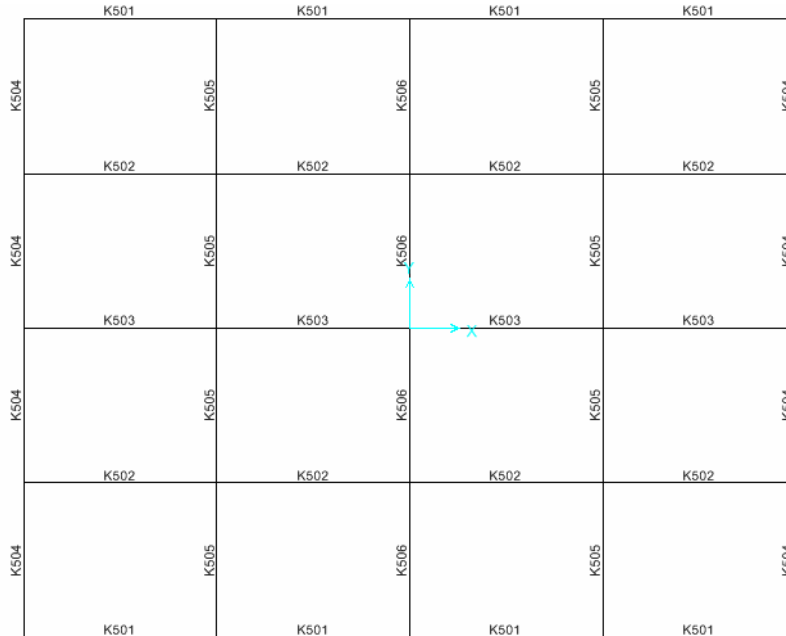
Varsayılan mafsalsal tipi, kesit özelliklerine bağlı olduğundan özellikleri değiştirilemez. Varsayılan mafsalsal özellikleri kullanıldığı zaman, program son mafsalsal özelliğini üretmek için her elemanda tanımlanan kesit özellikleriyle birlikte yerleşik varsayılan kriteri birleştirmektedir. Çelik ve beton elemanlar için yerleşik mafsalsal özellikleri ATC-40 ve FEMA-273 dokümanlarında verilmektedir. Kullanıcı tanımlı mafsalsal özellikleri varsayılan mafsalsal özelliklerine dayandırılabilir veya tamamen kullanıcı tanımlı olabilir. Kullanıcı tanımlı özellikler varsayılan mafsalsal olarak atanmadığında, mafsalsal özellikleri görülebilmekte ve değiştirilebilmektedir. Üretilen mafsalsal özellikleri analizde kullanılamaz. Bu mafsalsal tipinin özellikleri görülebilir fakat değiştirilemez.

6. BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR SAYISAL ÖRNEK

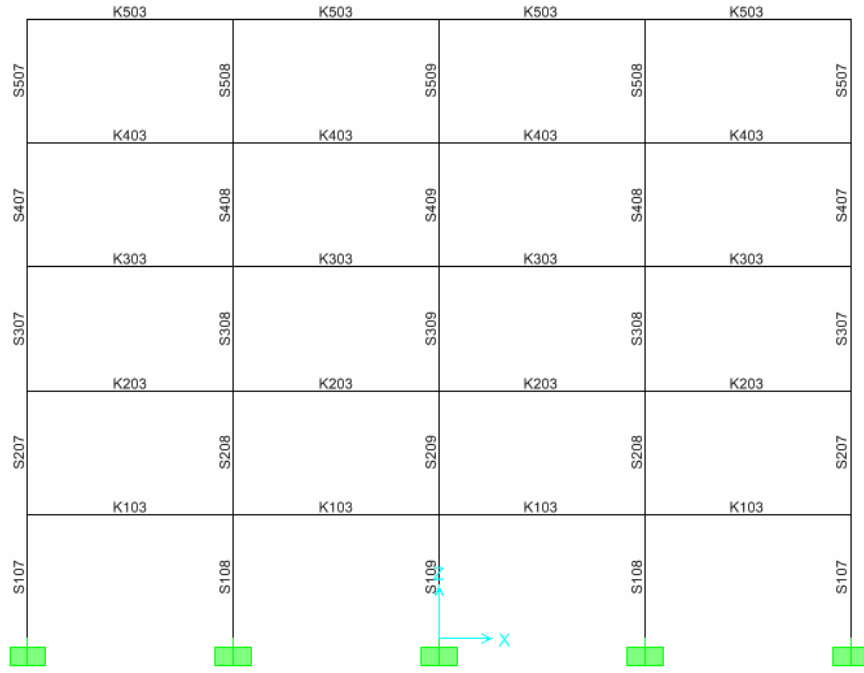
Bu bölümde, betonarme bir binanın taşıyıcı sistemlerinin deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının ve performans düzeylerinin belirlenmesi amacıyla yapılan sayısal incelemeler yer almaktadır. Sayısal incelemeler, seçilen taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deprem etkileri esas alınarak boyutlandırılan bu taşıyıcı sistem modelinin doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile deprem performansları bulunmuştur.

6.1. İncelenen Taşıyıcı Sistem Modeli

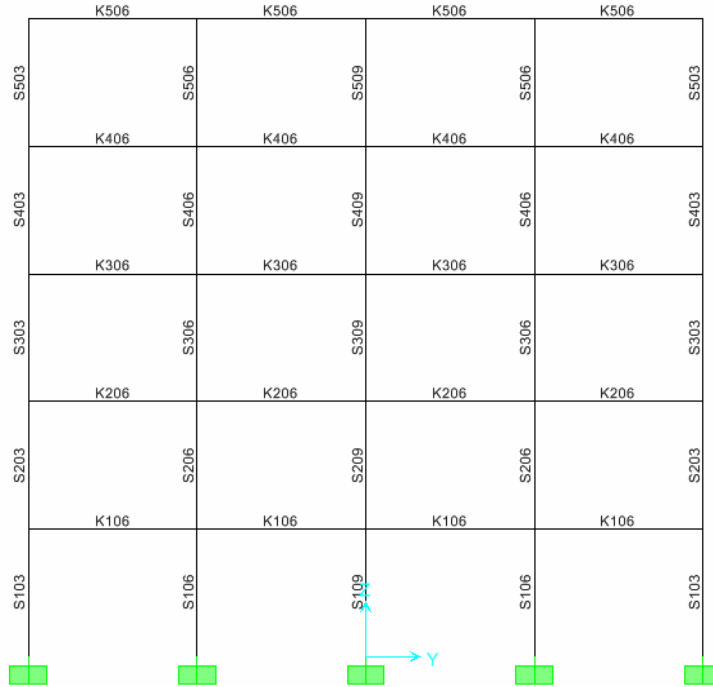
Sayısal örnek için seçilen bir taşıyıcı sistem modeli, x ve y yönünde dört açıklıklı, zemin+dört katlı üç boyutlu çerçeve sistem olup, kiriş açıklıkları x yönünde 5m, y yönünde 4m ve kat yükseklikleri 3m olarak seçilmiştir. Sistemin üç boyutlu doğrusal olmayan itme analizi sekiz adet deprem yüklemesiyle birlikte SAP2000 ve İde statik yapı analiz programları ile çözülerek Artımsal Eşdeğer İtme Analizi ile performans noktaları bulunmuştur. Bu iki analiz sonucunda aşağıdaki şekillerde isimleri ile birlikte gösterilen bazı kolon ve kiriş elamanlarının hasarları belirlenerek bir karşılaştırma yapılmıştır. Analizde kullanılan sistem modelinin hem plan hem de x ve y düzlemindeki görünümü şekil 6.1-3'de verilmektedir.



Şekil 6.1 Yapı sisteminin x - y düzlemindeki görünümü



Şekil 6.2 Yapı sisteminin x - z düzlemindeki görünümü



Şekil 6.3 Yapı sisteminin y - z düzlemindeki görünümü

6.2. Taşıyıcı Sistem Modelinin Boyutlandırılması

6.2.1. Malzeme Özellikleri

Taşıyıcı sistem modelinin boyutlandırılmalarında esas alınan beton sınıfının ve donatı çeliğinin özellikleri TS500 standardındaki malzeme tanımlarına göre aşağıda verilmiştir. Buna göre; sistem modeli için malzeme özellikleri: Beton sınıfı C20, donatı çeliği sınıfı S420 olarak seçilmiştir.

Yapı sisteminde kolon boyutları 50x50 cm, kiriş boyutları 25x50 cm ve döşeme kalınlığı 15 cm alınmıştır. Tablo 6.1’de kolon ve kirişlerin donatı alanları verilmektedir.

Tablo 6.1 Seçilen kirişlerin ve kolonların donatı alanları

Kiriş No		1. Açıklık Donatı Alanı (cm ²)		2. Açıklık Donatı Alanı (cm ²)	
		Sağ	Sol	Sağ	Sol
K503	Üst	7,89	7,26	7,94	8,08
	Alt	4,44	4,40	4,44	4,44
K403	Üst	13,70	10,60	11,92	12,17
	Alt	5,67	4,60	5,07	5,15
K303	Üst	16,72	14,91	15,37	15,50
	Alt	7,02	6,56	6,36	6,42
K203	Üst	18,61	17,11	17,12	17,24
	Alt	9,02	8,39	7,75	7,74
K103	Üst	17,82	17,18	16,61	16,65
	Alt	9,03	7,83	7,12	7,20
K506	Üst	6,34	4,44	5,64	5,83
	Alt	3,91	2,71	3,50	3,61
K406	Üst	11,71	7,52	9,63	9,74
	Alt	5,01	5,03	4,78	4,68
K306	Üst	15,53	11,77	13,32	13,46
	Alt	7,88	7,92	7,44	7,39
K206	Üst	17,50	15,02	15,51	15,01
	Alt	10,34	9,91	9,25	9,23
K106	Üst	16,90	15,35	15,03	15,11
	Alt	10,59	9,48	8,66	8,74
Bütün kolonların boyutları tüm katlarda 50x50 cm olarak alınmıştır. Kolon donatı miktarı 24Ø16 olarak seçilmiştir.					

6.2.2. Deprem Karakteristikleri

2007 Türk Deprem Yönetmeliği' ne göre boyutlandırılan taşıyıcı sistem modellerinde esas alınan deprem karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

Yapı Önem Katsayısı	: $I = 1.0$
Hareketli Yük Katılım Katsayısı	: $n = 0.30$
Etkin Yer İvmesi Katsayısı: (1. derece deprem bölgesi)	: $A_0 = 0.40$
Yapı Davranış Katsayısı	: $R_a = 1$
Yerel Zemin Sınıfı	: $Z2$
Spektrum Karakteristik Periyotları	: $T_A = 0.15s, T_B = 0.40s$
Bilgi Katsayısı	: Kapsamlı
Süneklik Düzeyi	: Yüksek

6.2.3. Boyutlamada Esas Alınan Yüklemeler

Normal kat ve çatı döşemelerinde $g=5,25 \text{ kN/m}^2$

Bölme duvarlar dâhil $q=3,5 \text{ kN/m}^2$

6.2.4. Taşıyıcı Sistem Modelinde Yapılan Varsayımlar

Taşıyıcı sistem modelinin boyutlandırılmasında dikkate alınan başlıca varsayımlar şunlardır.

- Boyutlandırmaya esas olan sistem analizleri doğrusal olmayan teoriye göre gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı sistem modelinin betonarme kesit hesaplarında taşıma gücü yöntemi kullanılmıştır.
- Üç boyutlu analizde yapılan analizde taşıyıcı sistemi oluşturan çerçevelerin düğüm noktalarının x,y ve z yönünde hareket edebildikleri varsayılmıştır.

6.2.5. Boyutlamada Esas Alınan Deprem Yüklemelerinin Hesaplanması

Taşıyıcı sistem modelinin boyutlandırılmasında kullanılan deprem yönetmeliklerin esasları aşağıdaki maddelerde özetlenmiştir.

- Deprem hesaplarında DBYBHY-2007 de belirtilen Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde göre, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti);

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 I W \quad (6.1)$$

Burada

W : binanın deprem sırasındaki toplam ağırlığı

T_1 : binanın birinci doğal titreşim periyodu

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

$R_a(T_1)$: T_1 periyot değeri için hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı

Binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam ağırlığı ise aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i = \sum_{i=1}^N g_i + n q_i \quad (6.2)$$

Burada

w_i : binanın i . katının toplam ağırlığını

g_i : binanın i . katındaki toplam sabit yükleri

q_i : binanın i . katındaki toplam hareketli yükleri

n : hareketli yük katılım katsayısını

N : binanın kat adedini

ifade etmektedir. DBYBHY–2007’ ye göre, binadaki hareketli yük katsayısı $n = 0.30$ olarak seçilmiştir.

Spektral İvme Katsayısı,

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (6.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Burada

A_0 : etkin yer ivmesi katsayısı

I : yapı önem katsayısı

$S(T_1)$: T_1 periyot değerine karşılık gelen elastik tasarım ivme spektrum değeri

DBYBHY–2007’ ye göre, birinci derece deprem bölgesi için $A_0 = 0.40$ ve bina önem katsayısı $I = 1.0$ olarak seçilmiştir. $S(T_1)$ değeri ise zemin sınıfına ve T_1 doğal titreşim periyoduna bağlı olarak aşağıdaki gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

Spektrum Katsayısı

$$\begin{aligned} S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & 0 \leq T \leq T_A \\ S(T) &= 2.5 & T_A \leq T \leq T_B \\ S(T) &= 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T_B < T) \end{aligned} \quad (6.4)$$

T_A ve T_B zemin karakteristik periyotları olup zemin sınıfına göre değişmektedir. Z2 zemin sınıfına ait T_A ve T_B değerleri yukarıda verilmiştir.

Deprem yükü azaltma katsayısı

$$\begin{aligned} R_a(T) &= 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \\ R_a(T) &= R \end{aligned} \quad (6.5)$$

Burada

R : taşıyıcı sistem davranış katsayısıdır.

İncelenen sistemde yapının birinci doğal titreşim periyodu T_A değerinden daha büyük olduğundan, deprem yükü azaltma katsayısı taşıyıcı sistem davranış katsayısına eşittir. DBYBHY-2007'ye göre süneklik düzeyi yüksek sistem olarak boyutlandırılan taşıyıcı sistem modellerinde $R = 8$ olarak alınmıştır. Taban kesme kuvveti belirlendikten sonra, kütlelerin toplandığı varsayılan noktalara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Denklem (6.6) ile hesaplanır.

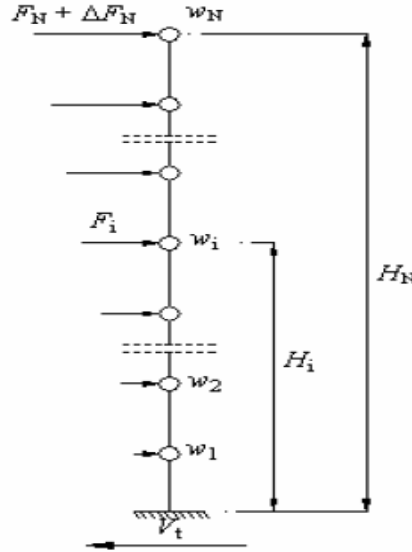
$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (6.6)$$

Burada

H_i : yapının i . katının yerden yüksekliğini

ΔF_N : ek eşdeğer deprem yükünü göstermektedir

Yapı modelinin yüksekliği 25 m'den daha küçük olduğundan $\Delta F_N = 0$ alınmıştır.



Şekil 6.4 Eşdeğer deprem yüklerinin bulunması

6.2.6. Taşıyıcı Sistemin Boyutlandırılmasında Esas Alınan Yük Kombinasyonları

Tüm taşıyıcı sistem modelinin boyutlandırılmasında, sabit düşey yükler ve artan deprem yükleri altında yapılan sistem analizleri sonucunda hesaplanan performans noktaları göz önüne alınmıştır.

6.2.7. Boyutlandırılan Taşıyıcı Sistem Modelinin Performans Değerlendirmesi ve Eleman Hasar Durumunun Belirlenmesi

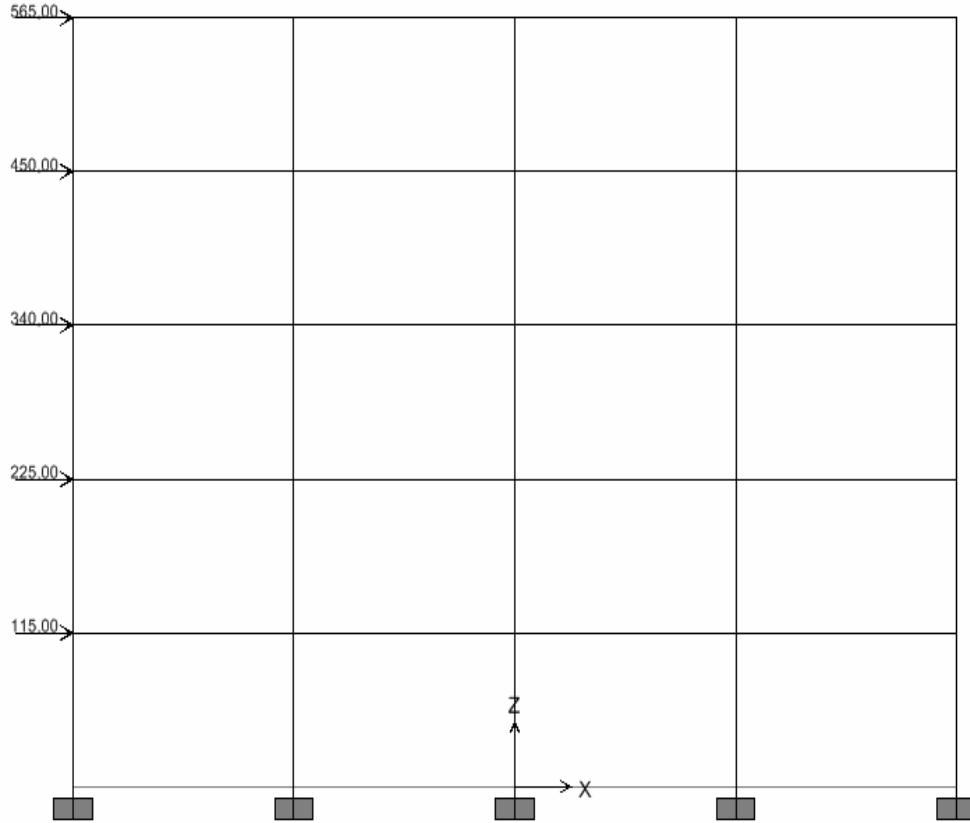
Yukarıda açıklandığı şekilde boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin her bir deprem yüklemesi için, SAP2000 bilgisayar programının doğrusal olmayan analiz seçeneğinden yararlanarak sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler etkisinde analiz yapılmıştır. Daha sonra aynı yapı İde statik bilgisayar programının doğrusal olmayan analizinden faydalanılarak tepe noktası yer değiştirmesi – taban kesme kuvveti diyagramı (kapasite eğrisi) elde edilmiştir. Daha sonra bu eğri 3. bölüm kapsamında verilen bağıntılar kullanılarak $S_a - S_d$ spektral formatına dönüştürüldükten sonra, elastik talep spektrumu ve dönüştürülmüş kapasite eğrisi aynı eksen takımında çizilmiş ve deprem performansları 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen doğrusal olmayan yöntemle göre belirlenmiştir. Performans noktaları belirlenen yapının plastik mafsallarda dönmeleri ve akma eğrilikleri bulunmuştur. Hesaplanan toplam eğrilığe göre moment eğrilik ilişkisinden faydalanılarak seçilen elemanların hasar durumları Eşdeğer Artımsal İtme Analizi Yöntemine göre belirlenmiştir. Elde edilen değerler tablo şeklinde verilerek bir karşılaştırma yapılmıştır.

6.2.8. Düzüm Noktalarına Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Bulunması ve Olası Plastik Mafsal Atamaları

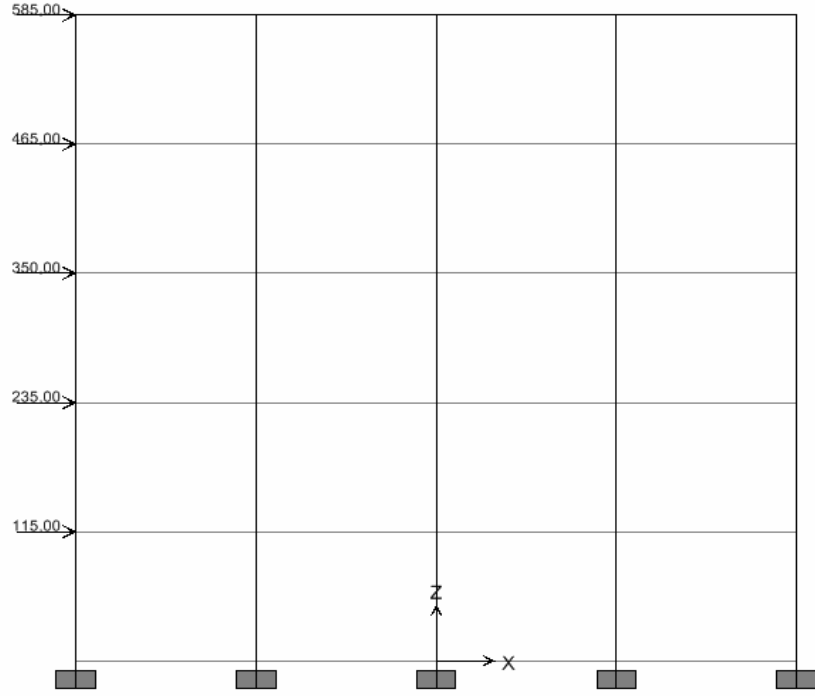
Sisteme etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesabı yapılarak bu değerler tablo 6.2’de verilmiştir. Sisteme etkiyen deprem yükleri, ölü ve hareketli yükler, sistemde oluşacak olası plastik mafsalatlar şekil 6.5-6.11’de gösterilmektedir.

Tablo 6.2 Sisteme etkiyen eşdeğer deprem yükleri

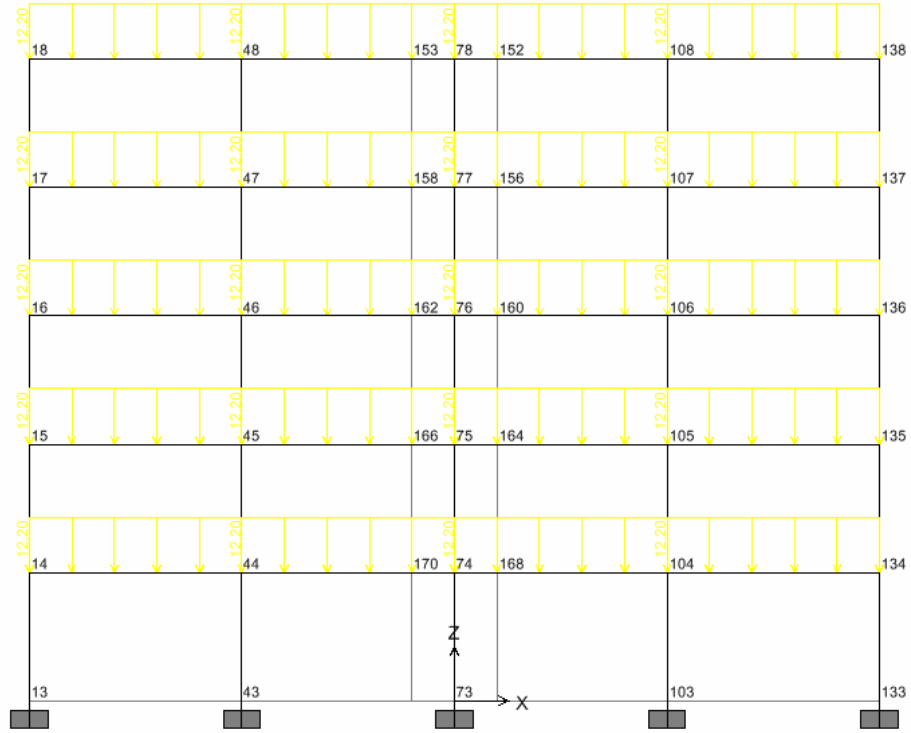
Kat	W_i (kN)	H_i (m)	$W_i H_i$	$W_i H_i / \sum W_i H_i$	F_x (kN)	F_y (kN)
4	3600	15	54000	0,333	565	585
3	3600	12	43200	0,267	450	465
2	3600	9	32400	0,2	340	350
1	3600	6	21600	0,133	225	235
Z	3600	3	10800	0,067	115	115



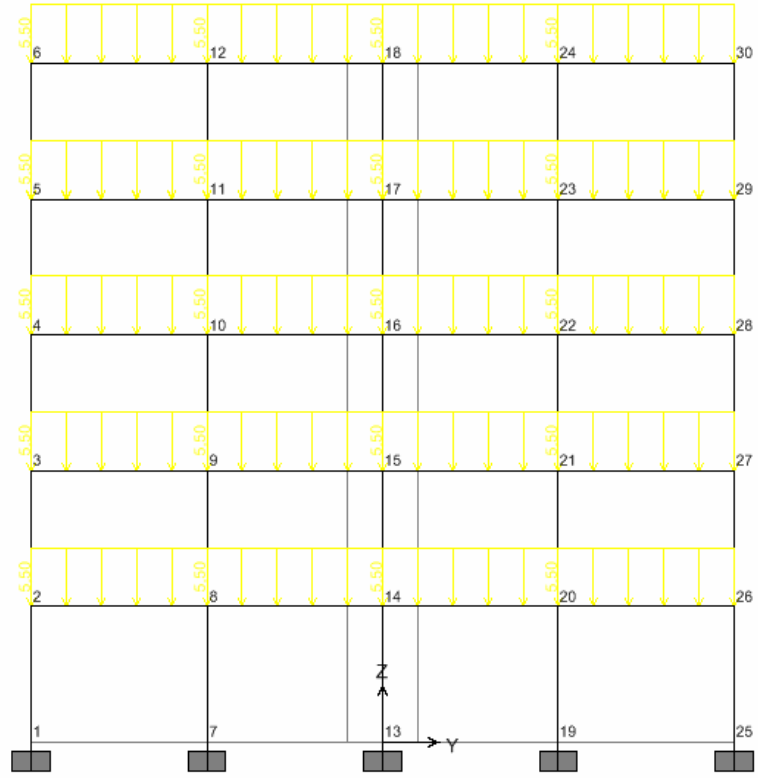
Şekil 6.5 x-z yönünde katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri



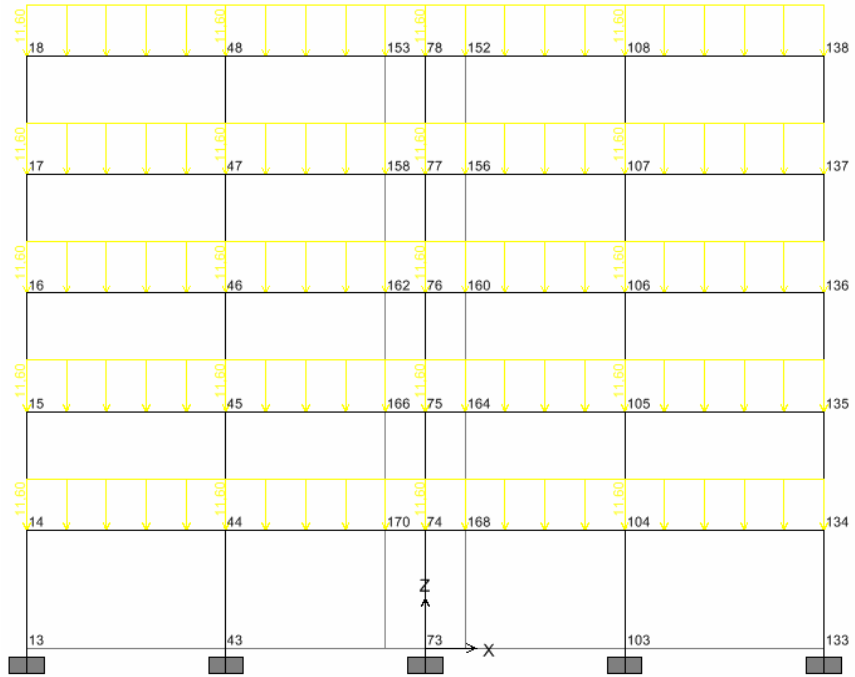
Şekil 6.6 y - z yönünde katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri



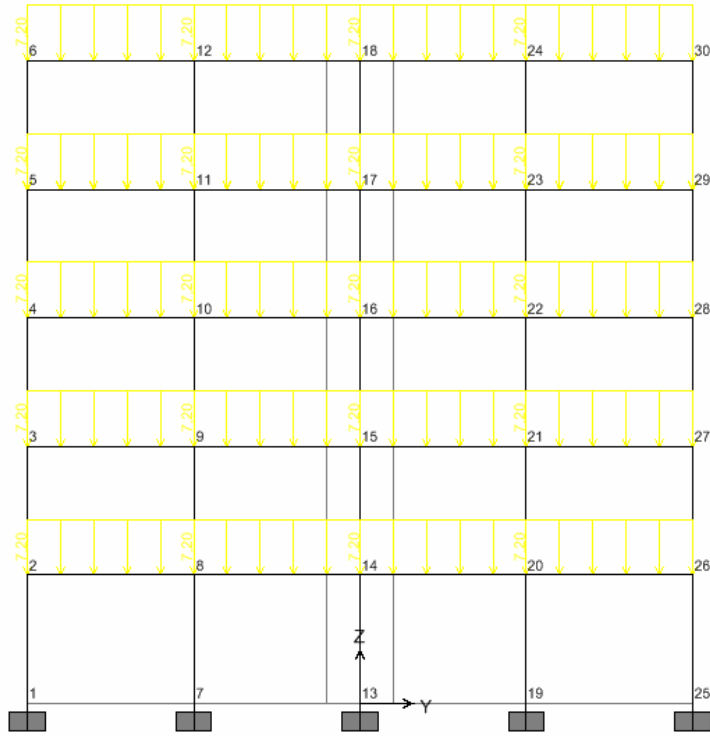
Şekil 6.7 x - z yönünde ölü yükler



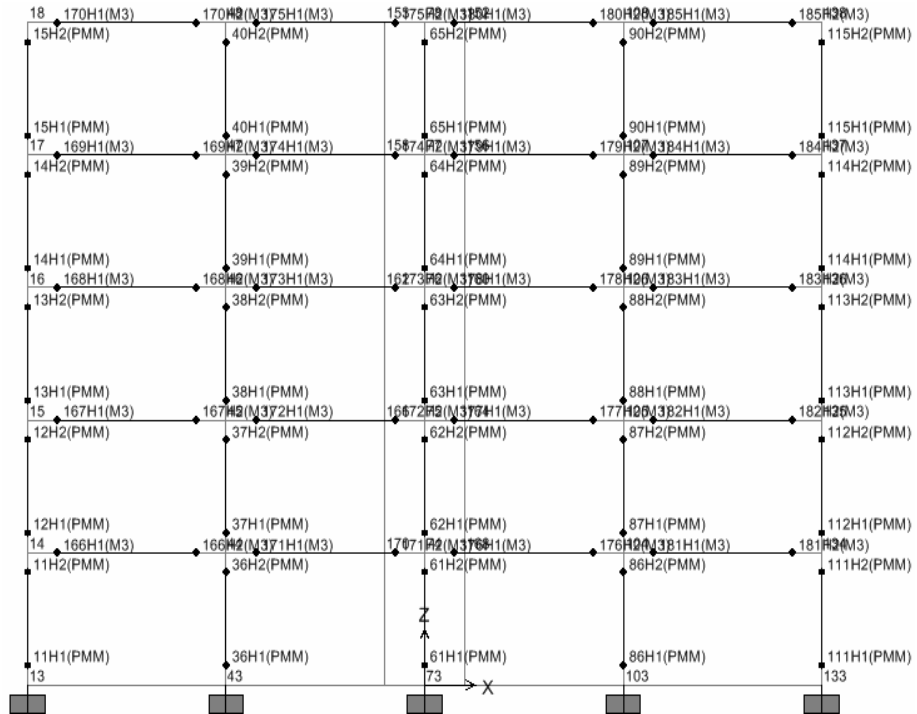
Şekil 6.8 y - z yönünde ölü yükler



Şekil 6.9 x - z yönünde hareketli yükler



Şekil 6.10 y-z yönünde hareketli yükler



Şekil 6.11 Kolon ve kiriş uçlarındaki olası mafsallar

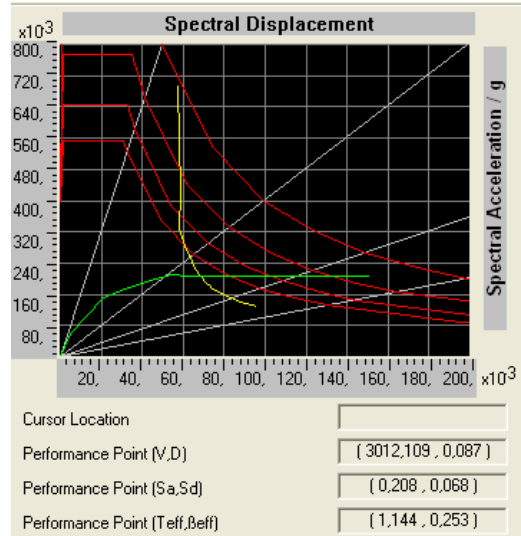
Yapı sistemi şekil 6.5-6.10 gösterildiği gibi ölü+hareketli+deprem yüklemelerine göre ayrı ayrı ve deprem yönetmeliğimizin verdiği yük kombinezonlarına göre tablo 6.3’de verildiği gibi çözülmüştür. Bu analizden sonra SAP2000 analiz programı ile sistemin performans noktaları bulunmuştur.

Tablo 6.3 Sisteme etki eden yük ve statik itme kombinezonları

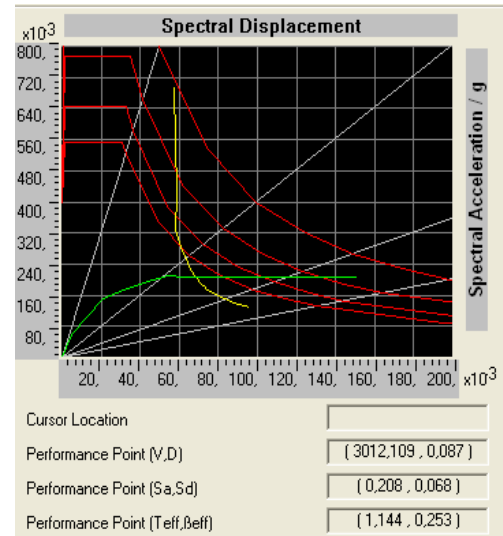
Yükleme Kombinezonları	Statik İtme Kombinezonları	Yük Kombinezonları					
		G	Q	EXP	EXN	EYP	EYN
DÜŞEY		1.4	1.6				
DÜŞEY	DüşeyPush	1	1				
DEPREM 1	PushExp	1	1	1			
DEPREM 2	PushExn	1	1		-1		
DEPREM 3	PushEyp	1	1			1	
DEPREM 4	PushEyn	1	1				-1
0.9DÜŞEY	0.9DüşeyPush	0.9					
DEPREM 5	0.9PushExp	0.9		1			
DEPREM 6	0.9PushExn	0.9			-1		
DEPREM 7	0.9PushEyp	0.9				1	
DEPREM 8	0.9PushEyn	0.9					-1

6.2.9. SAP2000 Analiz Programına Göre Elde Edilen Performans Noktaları

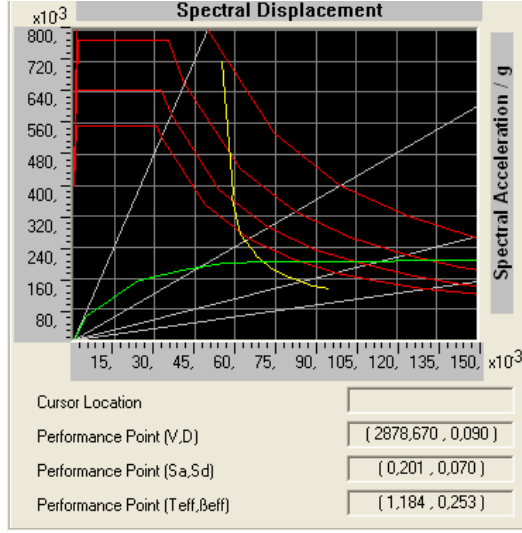
Şekil 6.12-19’de SAP2000 programına göre elde edilen performans noktaları verilmektedir. Elde edilen sonuçlar ise tablo 6.4’de gösterilmiştir.



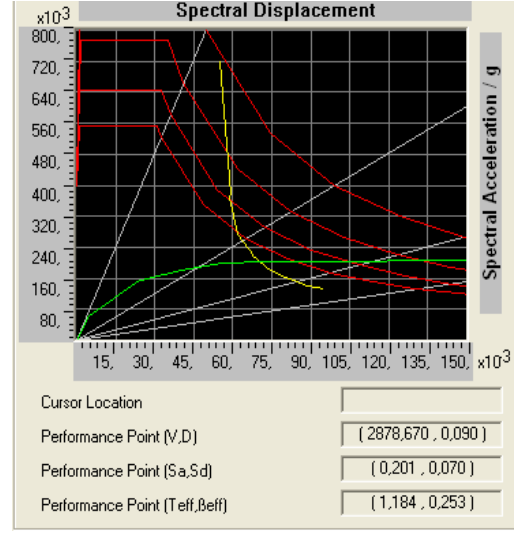
Şekil 6.12 Deprem 1’e göre performans noktaları



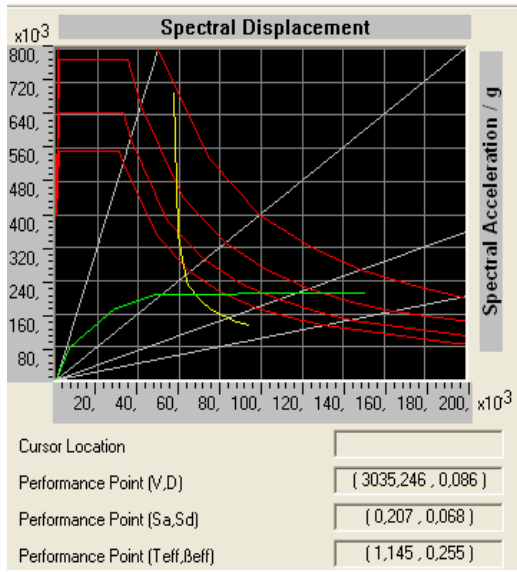
Şekil 6.13 Deprem 2’ye göre performans noktaları



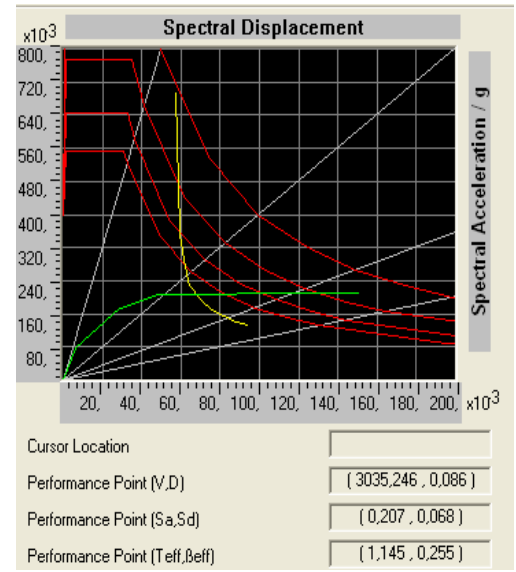
Şekil 6.14 Deprem 3'e göre performans noktaları



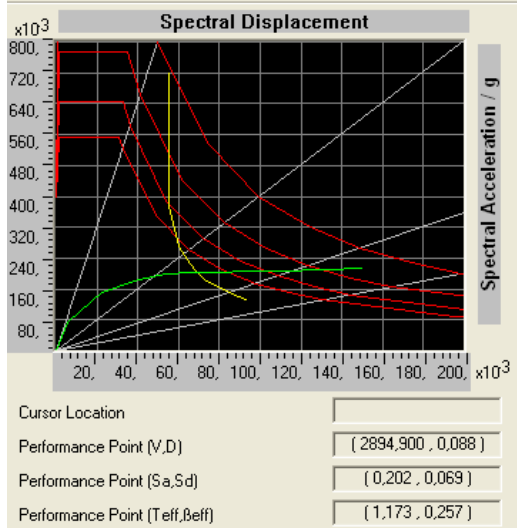
Şekil 6.15 Deprem 4'e göre performans noktaları



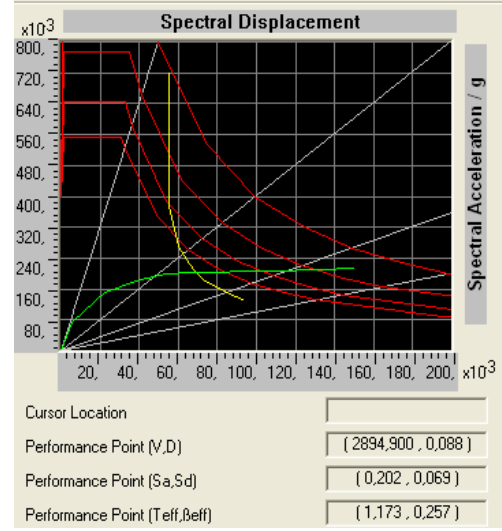
Şekil 6.16 Deprem 5'e göre performans noktaları



Şekil 6.17 Deprem 6'ya göre performans noktaları



Şekil 6.18 Deprem 7'ye göre performans noktaları

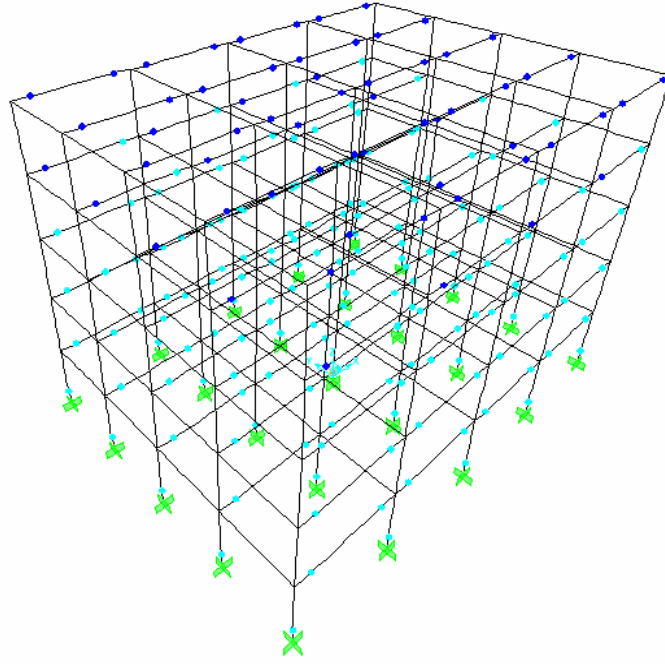


Şekil 6.19 Deprem 8'e göre performans noktaları

SAP2000 programında yapılan analizler neticesinde elde edilen tepki parametreleri değerleri tablo 6.4'de verilmektedir.

Tablo 6.4 SAP2000 programına göre sistemin performans noktalarının tablosu

Statik İtmeler	V	D	S _a	S _d
PushExp	3012.109	0.087	0.208	0.068
PushExn	3012.109	0.087	0.208	0.068
PushEyp	2878.670	0.090	0.201	0.070
PushEyn	2878.670	0.090	0.201	0.070
0.9PushExp	3035.246	0.086	0.207	0.068
0.9PushExn	3035.246	0.086	0.207	0.068
0.9PushEyp	2894.900	0.088	0.202	0.069
0.9PushEyn	2894.900	0.088	0.202	0.069



Şekil 6.20 PushExp statik itmesi sonucu oluşan plastik mafsallar

6.2.10. Yapısal Elemanların Eğrilik Talepleri ve Deprem Performans Seviyelerinin Belirlenmesi

Seçilen bazı yapısal elemanların eğrilik talepleri ve deprem performans seviyeleri tablo 6.5-8’de verilmektedir.

Tablo 6.5 x deprem doğrultusundaki orta kirişlerin 1. ve 2. açıklıklarının eğrilik talepleri ve deprem performans seviyeleri

Katlar (Açıklık)	Kiriş No	Φ_{plas}	Φ_{plastik}	Φ_y	Φ_t	ϵ_c	ϵ_s	Performans Seviyesi	
								KSY	DBYYHY’07
Kat 5 (1)	K503 sol	0,0061	0,0244	0,0056	0,030	0,0026	0,0112	IO-LS	MN-GV
Kat 5 (1)	K503 sağ	0,0079	0,0316	0,0057	0,037	0,0031	0,0138	IO-LS	MN-GV
Kat 5 (2)	K503 sol	0,0057	0,0228	0,0056	0,028	0,0024	0,0105	IO-LS	MN-GV
Kat 5 (2)	K503 sağ	0,0081	0,0324	0,0056	0,038	0,0032	0,0142	IO-LS	MN-GV
Kat 5 (1)	K506 sol	0,0000	0,0000	0,0056	0,006	0,0005	0,0023	A-IO	MN
Kat 5 (1)	K506 sağ	0,0000	0,0000	0,0054	0,005	0,0004	0,0019	A-IO	MN
Kat 5 (2)	K506 sol	0,0000	0,0000	0,0055	0,006	0,0005	0,0023	A-IO	MN
Kat 5 (2)	K506 sağ	0,0000	0,0000	0,0055	0,006	0,0005	0,0023	A-IO	MN
Kat 4 (1)	K403 sol	0,0086	0,0344	0,0057	0,040	0,0036	0,0152	IO-LS	GV
Kat 4 (1)	K403 sağ	0,0109	0,0436	0,0056	0,049	0,0041	0,0185	IO-LS	GV
Kat 4 (2)	K403 sol	0,0087	0,0348	0,0056	0,040	0,0035	0,0154	IO-LS	GV
Kat 4 (2)	K403 sağ	0,0111	0,0444	0,0056	0,050	0,0044	0,0190	IO-LS	GV
Kat 4 (1)	K406 sol	0,0000	0,0000	0,0056	0,006	0,0005	0,0022	A-IO	MN
Kat 4 (1)	K406 sağ	0,0000	0,0000	0,0057	0,006	0,0005	0,0022	A-IO	MN
Kat 4 (2)	K406 sol	0,0000	0,0000	0,0056	0,006	0,0005	0,0022	A-IO	MN
Kat 4 (2)	K406 sağ	0,0000	0,0000	0,0056	0,006	0,0005	0,0022	A-IO	MN
Kat 3 (1)	K303 sol	0,0118	0,0472	0,0058	0,053	0,0051	0,0196	LS-CP	GV
Kat 3 (1)	K303 sağ	0,0139	0,0556	0,0057	0,061	0,0058	0,0224	LS-CP	GV
Kat 3 (2)	K303 sol	0,0117	0,0468	0,0057	0,053	0,0049	0,0198	LS-CP	GV
Kat 3 (2)	K303 sağ	0,0141	0,0564	0,0057	0,062	0,0058	0,0231	LS-CP	GV
Kat 3 (1)	K306 sol	0,0000	0,0000	0,0059	0,006	0,0006	0,0021	A-IO	MN
Kat 3 (1)	K306 sağ	0,0000	0,0000	0,0059	0,006	0,0006	0,0021	A-IO	MN
Kat 3 (2)	K306 sol	0,0000	0,0000	0,0059	0,006	0,0006	0,0021	A-IO	MN
Kat 3 (2)	K306 sağ	0,0000	0,0000	0,0059	0,006	0,0006	0,0021	A-IO	MN
Kat 2 (1)	K203 sol	0,0135	0,0540	0,0059	0,060	0,0063	0,0215	LS-CP	GV
Kat 2 (1)	K203 sağ	0,0157	0,0628	0,0059	0,069	0,0070	0,0253	LS-CP	GV
Kat 2 (2)	K203 sol	0,0134	0,0536	0,0058	0,059	0,0059	0,0214	LS-CP	GV
Kat 2 (2)	K203 sağ	0,0158	0,0632	0,0058	0,069	0,0069	0,0257	LS-CP	GV
Kat 2 (1)	K206 sol	0,0000	0,0000	0,0061	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 2 (1)	K206 sağ	0,0000	0,0000	0,0061	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 2 (2)	K206 sol	0,0000	0,0000	0,0060	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 2 (2)	K206 sağ	0,0000	0,0000	0,0060	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 1 (1)	K103 sol	0,0124	0,0496	0,0059	0,056	0,0059	0,0208	LS-CP	GV
Kat 1 (1)	K103 sağ	0,0145	0,0580	0,0058	0,064	0,0064	0,0234	LS-CP	GV
Kat 1 (2)	K103 sol	0,0122	0,0488	0,0058	0,055	0,0053	0,0205	LS-CP	GV
Kat 1 (2)	K103 sağ	0,0146	0,0584	0,0058	0,064	0,0062	0,0231	LS-CP	GV
Kat 1 (1)	K106 sol	0,0000	0,0000	0,0061	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 1 (1)	K106 sağ	0,0000	0,0000	0,0060	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 1 (2)	K106 sol	0,0000	0,0000	0,0060	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 1 (2)	K106 sağ	0,0000	0,0000	0,0060	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN

Tablo 6.6 x deprem doğrultusunda orta aks kolonlarının eğrilik talepleri ve deprem performans seviyeleri

Katlar	Kolon No	P (kN)	Φ_{plas}	Φ_{plas}	Φ_y	Φ_t	Performans Seviyesi	
							KSY	DBYYHY'07
Kat 5	S507 alt	107,6	0,0000	0,0000	0,0010	0,0010	A-IO	MN
Kat 5	S507 üst	88,6	0,0000	0,0000	0,0009	0,0009	A-IO	MN
Kat 4	S407 alt	213,8	0,0000	0,0000	0,0012	0,0012	A-IO	MN
Kat 4	S407 üst	195,1	0,0000	0,0000	0,0011	0,0011	A-IO	MN
Kat 3	S307 alt	319,6	0,0000	0,0000	0,0014	0,0014	A-IO	MN
Kat 3	S307 üst	300,8	0,0000	0,0000	0,0013	0,0013	A-IO	MN
Kat 2	S207 alt	424,8	0,0000	0,0000	0,0016	0,0016	A-IO	MN
Kat 2	S207 üst	406,1	0,0000	0,0000	0,0015	0,0015	A-IO	MN
Kat 1	S107 alt	530,1	0,0088	0,0352	0,0060	0,0412	LS-CP	GV
Kat 1	S107 üst	511,3	0,0000	0,0000	0,0059	0,0059	A-IO	MN
Kat 5	S508 alt	278,6	0,0000	0,0000	0,0013	0,0013	A-IO	MN
Kat 5	S508 üst	259,9	0,0000	0,0000	0,0012	0,0012	A-IO	MN
Kat 4	S408 alt	552,3	0,0000	0,0000	0,0061	0,0061	A-IO	MN
Kat 4	S408 üst	533,5	0,0000	0,0000	0,0060	0,0060	A-IO	MN
Kat 3	S308 alt	827,7	0,0000	0,0000	0,0073	0,0073	A-IO	MN
Kat 3	S308 üst	808,9	0,0000	0,0000	0,0072	0,0072	A-IO	MN
Kat 2	S208 alt	1104,2	0,0000	0,0000	0,0090	0,0090	A-IO	MN
Kat 2	S208 üst	1085,4	0,0000	0,0000	0,0089	0,0089	A-IO	MN
Kat 1	S108 alt	1382,8	0,0078	0,0312	0,0121	0,0433	LS-CP	GV
Kat 1	S108 üst	1364,1	0,0000	0,0000	0,0118	0,0118	A-IO	GV
Kat 5	S509 alt	279,1	0,0000	0,0000	0,0013	0,0013	A-IO	MN
Kat 5	S509 üst	260,3	0,0000	0,0000	0,0061	0,0061	A-IO	MN
Kat 4	S409 alt	557,3	0,0000	0,0000	0,0060	0,0060	A-IO	MN
Kat 4	S409 üst	538,6	0,0000	0,0000	0,0073	0,0073	A-IO	MN
Kat 3	S309 alt	835,9	0,0000	0,0000	0,0072	0,0072	A-IO	MN
Kat 3	S309 üst	817,1	0,0000	0,0000	0,0092	0,0092	A-IO	MN
Kat 2	S209 alt	1114,2	0,0000	0,0000	0,0091	0,0091	A-IO	MN
Kat 2	S209 üst	1095,5	0,0000	0,0000	0,0123	0,0123	A-IO	GV
Kat 1	S109 alt	1392,1	0,0078	0,0312	0,0121	0,0433	LS-CP	GV
Kat 1	S109 üst	1373,3	0,0000	0,0000	0,0011	0,0011	A-IO	MN
Kat 5	S503 alt	169,3	0,0000	0,0000	0,0010	0,0010	A-IO	MN
Kat 5	S503 üst	150,5	0,0000	0,0000	0,0014	0,0014	A-IO	MN
Kat 4	S403 alt	342,6	0,0000	0,0000	0,0014	0,0014	A-IO	MN
Kat 4	S403 üst	323,8	0,0000	0,0000	0,0014	0,0014	A-IO	MN
Kat 3	S303 alt	514,1	0,0000	0,0000	0,0059	0,0059	A-IO	MN
Kat 3	S303 üst	495,3	0,0000	0,0000	0,0059	0,0059	A-IO	MN
Kat 2	S203 alt	683,5	0,0000	0,0000	0,0066	0,0066	A-IO	MN
Kat 2	S203 üst	664,7	0,0000	0,0000	0,0065	0,0065	A-IO	MN
Kat 1	S103 alt	849,5	0,0083	0,0332	0,0074	0,0406	LS-CP	GV
Kat 1	S103 üst	830,8	0,0000	0,0000	0,0073	0,0073	A-IO	MN
Kat 5	S506 alt	254,1	0,0000	0,0000	0,0012	0,0012	A-IO	MN
Kat 5	S506 üst	272,8	0,0000	0,0000	0,0013	0,0013	A-IO	MN
Kat 4	S406 alt	522,5	0,0000	0,0000	0,0060	0,0060	A-IO	MN
Kat 4	S406 üst	541,2	0,0000	0,0000	0,0060	0,0060	A-IO	MN
Kat 3	S306 alt	793,8	0,0000	0,0000	0,0071	0,0071	A-IO	MN
Kat 3	S306 üst	812,5	0,0000	0,0000	0,0072	0,0072	A-IO	MN
Kat 2	S206 alt	1066,9	0,0000	0,0000	0,0088	0,0088	A-IO	MN
Kat 2	S206 üst	1085,7	0,0000	0,0000	0,0089	0,0089	A-IO	MN
Kat 1	S106 alt	1362,0	0,0077	0,0308	0,0118	0,0426	LS-CP	GV
Kat 1	S106 üst	1343,0	0,0000	0,0000	0,0116	0,0116	A-IO	GV

Tablo 6.7 y deprem doğrultusunda orta kirişlerin 1. ve 2. açıklıklarının eğrilik talepleri ve deprem performans seviyeleri

Katlar (Açıklık)	Kiriş No	Φ_{plas}	Φ_{plastik}	Φ_y	Φ_t	ϵ_c	ϵ_s	Performans Seviyesi	
								KSY	DBYYHY'07
Kat 5 (1)	K503 sol	0,0061	0,0244	0,0056	0,030	0,0026	0,0112	IO-LS	MN-GV
Kat 5 (1)	K503 sağ	0,0079	0,0316	0,0057	0,037	0,0031	0,0138	IO-LS	MN-GV
Kat 5 (2)	K503 sol	0,0057	0,0228	0,0056	0,028	0,0024	0,0105	IO-LS	MN-GV
Kat 5 (2)	K503 sağ	0,0081	0,0324	0,0056	0,038	0,0032	0,0142	IO-LS	MN-GV
Kat 5 (1)	K506 sol	0,0000	0,0000	0,0056	0,006	0,0005	0,0023	A-IO	MN
Kat 5 (1)	K506 sağ	0,0000	0,0000	0,0054	0,005	0,0004	0,0019	A-IO	MN
Kat 5 (2)	K506 sol	0,0000	0,0000	0,0055	0,006	0,0005	0,0023	A-IO	MN
Kat 5 (2)	K506 sağ	0,0000	0,0000	0,0055	0,006	0,0005	0,0023	A-IO	MN
Kat 4 (1)	K403 sol	0,0086	0,0344	0,0057	0,040	0,0036	0,0152	IO-LS	GV
Kat 4 (1)	K403 sağ	0,0109	0,0436	0,0056	0,049	0,0041	0,0185	IO-LS	GV
Kat 4 (2)	K403 sol	0,0087	0,0348	0,0056	0,040	0,0035	0,0154	IO-LS	GV
Kat 4 (2)	K403 sağ	0,0111	0,0444	0,0056	0,050	0,0044	0,0190	IO-LS	GV
Kat 4 (1)	K406 sol	0,0000	0,0000	0,0056	0,006	0,0005	0,0022	A-IO	MN
Kat 4 (1)	K406 sağ	0,0000	0,0000	0,0057	0,006	0,0005	0,0022	A-IO	MN
Kat 4 (2)	K406 sol	0,0000	0,0000	0,0056	0,006	0,0005	0,0022	A-IO	MN
Kat 4 (2)	K406 sağ	0,0000	0,0000	0,0056	0,006	0,0005	0,0022	A-IO	MN
Kat 3 (1)	K303 sol	0,0118	0,0472	0,0058	0,053	0,0051	0,0196	LS-CP	GV
Kat 3 (1)	K303 sağ	0,0139	0,0556	0,0057	0,061	0,0058	0,0224	LS-CP	GV
Kat 3 (2)	K303 sol	0,0117	0,0468	0,0057	0,053	0,0049	0,0198	LS-CP	GV
Kat 3 (2)	K303 sağ	0,0141	0,0564	0,0057	0,062	0,0058	0,0231	LS-CP	GV
Kat 3 (1)	K306 sol	0,0000	0,0000	0,0059	0,006	0,0006	0,0021	A-IO	MN
Kat 3 (1)	K306 sağ	0,0000	0,0000	0,0059	0,006	0,0006	0,0021	A-IO	MN
Kat 3 (2)	K306 sol	0,0000	0,0000	0,0059	0,006	0,0006	0,0021	A-IO	MN
Kat 3 (2)	K306 sağ	0,0000	0,0000	0,0059	0,006	0,0006	0,0021	A-IO	MN
Kat 2 (1)	K203 sol	0,0135	0,0540	0,0059	0,060	0,0063	0,0215	LS-CP	GV
Kat 2 (1)	K203 sağ	0,0157	0,0628	0,0059	0,069	0,0070	0,0253	LS-CP	GV
Kat 2 (2)	K203 sol	0,0134	0,0536	0,0058	0,059	0,0059	0,0214	LS-CP	GV
Kat 2 (2)	K203 sağ	0,0158	0,0632	0,0058	0,069	0,0069	0,0257	LS-CP	GV
Kat 2 (1)	K206 sol	0,0000	0,0000	0,0061	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 2 (1)	K206 sağ	0,0000	0,0000	0,0061	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 2 (2)	K206 sol	0,0000	0,0000	0,0060	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 2 (2)	K206 sağ	0,0000	0,0000	0,0060	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 1 (1)	K103 sol	0,0124	0,0496	0,0059	0,056	0,0059	0,0208	LS-CP	GV
Kat 1 (1)	K103 sağ	0,0145	0,0580	0,0058	0,064	0,0064	0,0234	LS-CP	GV
Kat 1 (2)	K103 sol	0,0122	0,0488	0,0058	0,055	0,0053	0,0205	LS-CP	GV
Kat 1 (2)	K103 sağ	0,0146	0,0584	0,0058	0,064	0,0062	0,0231	LS-CP	GV
Kat 1 (1)	K106 sol	0,0000	0,0000	0,0061	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 1 (1)	K106 sağ	0,0000	0,0000	0,0060	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 1 (2)	K106 sol	0,0000	0,0000	0,0060	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN
Kat 1 (2)	K106 sağ	0,0000	0,0000	0,0060	0,006	0,0007	0,0021	A-IO	MN

Tablo 6.8 y deprem doğrultusunda orta aks kolonlarının eğrilik talepleri ve deprem performans seviyeleri

Katlar	Kolon No	P (kN)	Φ_{plas}	Φ_{plas}	Φ_y	Φ_t	Performans Seviyesi	
							KSY	DBYYHY'07
Kat 5	S507 alt	162,1	0,0000	0,0000	0,0011	0,0011	A-IO	MN
Kat 5	S507 üst	143,3	0,0000	0,0000	0,0010	0,0010	A-IO	MN
Kat 4	S407 alt	328,1	0,0000	0,0000	0,0014	0,0014	A-IO	MN
Kat 4	S407 üst	309,3	0,0000	0,0000	0,0013	0,0013	A-IO	MN
Kat 3	S307 alt	492,0	0,0000	0,0000	0,0059	0,0059	A-IO	MN
Kat 3	S307 üst	473,3	0,0000	0,0000	0,0017	0,0017	A-IO	MN
Kat 2	S207 alt	655,0	0,0000	0,0000	0,0065	0,0065	A-IO	MN
Kat 2	S207 üst	636,3	0,0000	0,0000	0,0064	0,0064	A-IO	MN
Kat 1	S107 alt	815,7	0,0060	0,0352	0,0072	0,0424	IO-LS	GV
Kat 1	S107 üst	796,9	0,0000	0,0000	0,0071	0,0071	A-IO	MN
Kat 5	S508 alt	277,1	0,0000	0,0000	0,0013	0,0013	A-IO	MN
Kat 5	S508 üst	258,3	0,0000	0,0000	0,0012	0,0012	A-IO	MN
Kat 4	S408 alt	549,8	0,0000	0,0000	0,0061	0,0061	A-IO	MN
Kat 4	S408 üst	531,1	0,0000	0,0000	0,0060	0,0060	A-IO	MN
Kat 3	S308 alt	824,6	0,0000	0,0000	0,0073	0,0073	A-IO	MN
Kat 3	S308 üst	805,9	0,0000	0,0000	0,0072	0,0072	A-IO	MN
Kat 2	S208 alt	1100,5	0,0000	0,0000	0,0091	0,0091	A-IO	MN
Kat 2	S208 üst	1081,8	0,0000	0,0000	0,0089	0,0089	A-IO	MN
Kat 1	S108 alt	1378,7	0,0058	0,0312	0,0121	0,0433	IO-LS	GV
Kat 1	S108 üst	1360,0	0,0000	0,0000	0,0118	0,0118	A-IO	GV
Kat 5	S509 alt	278,2	0,0000	0,0000	0,0013	0,0013	A-IO	MN
Kat 5	S509 üst	259,5	0,0000	0,0000	0,0012	0,0012	A-IO	MN
Kat 4	S409 alt	556,8	0,0000	0,0000	0,0061	0,0061	A-IO	MN
Kat 4	S409 üst	538,1	0,0000	0,0000	0,0060	0,0060	A-IO	MN
Kat 3	S309 alt	835,1	0,0000	0,0000	0,0073	0,0073	A-IO	MN
Kat 3	S309 üst	816,3	0,0000	0,0000	0,0072	0,0072	A-IO	MN
Kat 2	S209 alt	1113,1	0,0000	0,0000	0,0092	0,0092	A-IO	MN
Kat 2	S209 üst	1094,4	0,0000	0,0000	0,0090	0,0090	A-IO	GV
Kat 1	S109 alt	1390,5	0,0062	0,0312	0,0123	0,0435	IO-LS	GV
Kat 1	S109 üst	1371,8	0,0000	0,0000	0,0120	0,0120	A-IO	MN
Kat 5	S503 alt	103,1	0,0000	0,0000	0,0009	0,0009	A-IO	MN
Kat 5	S503 üst	84,4	0,0000	0,0000	0,0009	0,0009	A-IO	MN
Kat 4	S403 alt	205,8	0,0000	0,0000	0,0011	0,0011	A-IO	MN
Kat 4	S403 üst	187,1	0,0000	0,0000	0,0011	0,0011	A-IO	MN
Kat 3	S303 alt	307,4	0,0000	0,0000	0,0013	0,0013	A-IO	MN
Kat 3	S303 üst	288,7	0,0000	0,0000	0,0013	0,0013	A-IO	MN
Kat 2	S203 alt	408,9	0,0000	0,0000	0,0015	0,0015	A-IO	MN
Kat 2	S203 üst	390,2	0,0000	0,0000	0,0015	0,0015	A-IO	MN
Kat 1	S103 alt	510,5	0,0069	0,0332	0,0059	0,0391	IO-LS	GV
Kat 1	S103 üst	491,8	0,0000	0,0000	0,0059	0,0059	A-IO	MN
Kat 5	S506 alt	271,8	0,0000	0,0000	0,0013	0,0013	A-IO	MN
Kat 5	S506 üst	253,1	0,0000	0,0000	0,0012	0,0012	A-IO	MN
Kat 4	S406 alt	541,5	0,0000	0,0000	0,0060	0,0060	A-IO	MN
Kat 4	S406 üst	522,7	0,0000	0,0000	0,0060	0,0060	A-IO	MN
Kat 3	S306 alt	814,4	0,0000	0,0000	0,0072	0,0072	A-IO	MN
Kat 3	S306 üst	795,7	0,0000	0,0000	0,0071	0,0071	A-IO	MN
Kat 2	S206 alt	1087,9	0,0000	0,0000	0,0090	0,0090	A-IO	MN
Kat 2	S206 üst	1069,1	0,0000	0,0000	0,0088	0,0088	A-IO	MN
Kat 1	S106 alt	1364,4	0,0057	0,0308	0,0123	0,0431	IO-LS	GV
Kat 1	S106 üst	1345,7	0,0000	0,0000	0,0116	0,0116	A-IO	GV

6.2.11. Sistemin İde Statik Programına Göre Deprem Performansının Belirlenmesi

Taşıyıcı sistem modelinin, 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde öngörülen doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi ile deprem performansının belirlenmesinde aşağıdaki hesap adımları izlenmiştir.

a) Sistem, düşey işletme yükleri altında hesaplanarak kolon normal kuvvetleri hesaplanır. Bu değerler, beton enkesit alanına ve mevcut beton dayanımına bölünerek kolonların çatlamış kesit eğilme rijitlikleri bulunur. ($0.80 EI_0$ olduğu görülmüştür) Kirişlerin çatlamış kesit eğilme rijitliği $0.40 EI_0$ olarak alınır.

b) Kolon ve kirişlerin her iki ucunda olası plastik mafsallar tanımlanır.

c) Sistem, sabit düşey yükler ve orantılı olarak arttırılan eşdeğer deprem yükleri altında doğrusal olmayan teoriye göre hesaplanır. Bu işleme, başlangıçta seçilen bir yatay yer değiştirme değerine kadar devam edilir. Bu aşamada, yapı sisteminin deprem doğrultusundaki birinci titreşim moduna ait etkin modal kütlesi modal katılım oranı ve birinci mod yatay yer değiştirme değerleri de elde edilir. Tablo 6.9–6.10

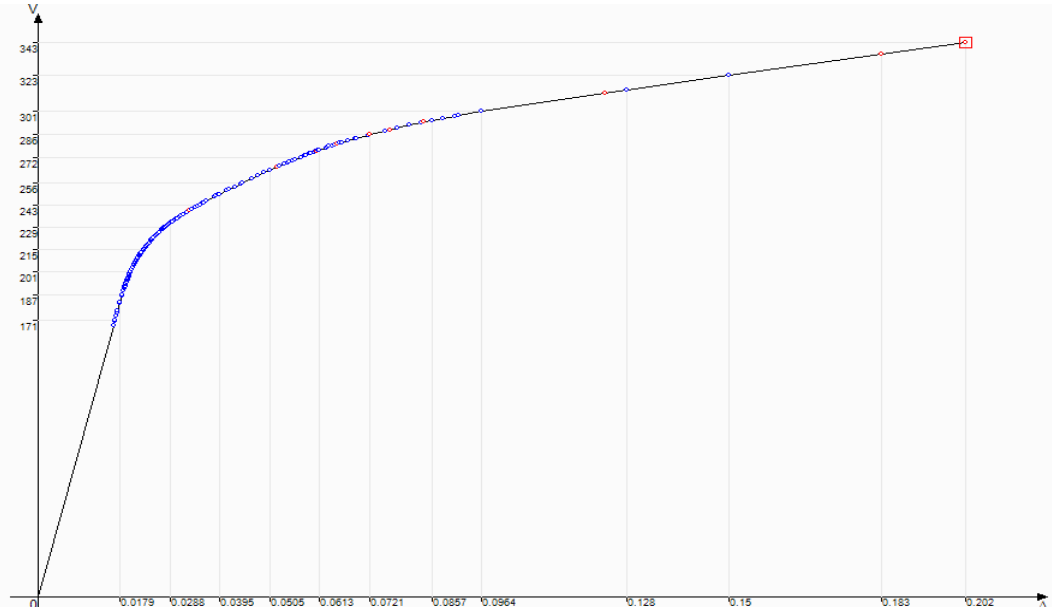
Tablo 6.9 x yönündeki periyot ve kütleler

Mod	Periyot	Modal Kütleler
1	0.699	433.4
2	0.216	384.3
3	0.115	301.1
4	0.075	191.5
5	0.057	73.5

Tablo 6.10 x yönündeki periyot ve modal katılım oranları

Mod	Periyot	Modal Katılım Oranı
1	0.699	11.76
2	0.216	-4.29
3	0.115	2.78
4	0.075	1.93
5	0.057	1.08

d) İtme analizinin her adımı için hesaplanan taban kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirmesi değerleri aşağıdaki kapasite eğrisinde görülmektedir. Bu eğriyi sadeleştirmek için belirli adımların değerleri tablo 6.11 verilmiştir.



Şekil 6.21 PushExp statik itme eğrisi

Tablo 6.11 Taban kesme kuvveti – Tepe noktası yer değıştirmesi değeri

Adım	u_N (cm)	V_b (kN)
1	0	0
2	1.64	1676
3	1.90	1919
4	1.99	1986
5	2.15	2080
6	2.30	2145
7	2.49	2213
8	2.76	2285
9	3.18	2367
10	8.38	2940
11	12.33	3118
12	20.00	3430

e) Statik itme eğrisine koordinat dönüşümü uygulanarak, modal yer değıştirme ve modal ivme değeri (3.22), (3.23) denklemlerinden yararlanarak elde edilir. Tablo 6.12

Tablo 6.12 PushExp için modal yer değiştirme ve modal ivme değerleri

Adım	d	a
1	0.00	0.00
2	1.28	0.135
3	1.48	0.154
4	1.55	0.160
5	1.67	0.167
6	1.79	0.173
7	1.94	0.178
8	2.15	0.184
9	2.47	0.190
10	6.52	0.236
11	9.59	0.251
12	15.55	0.276

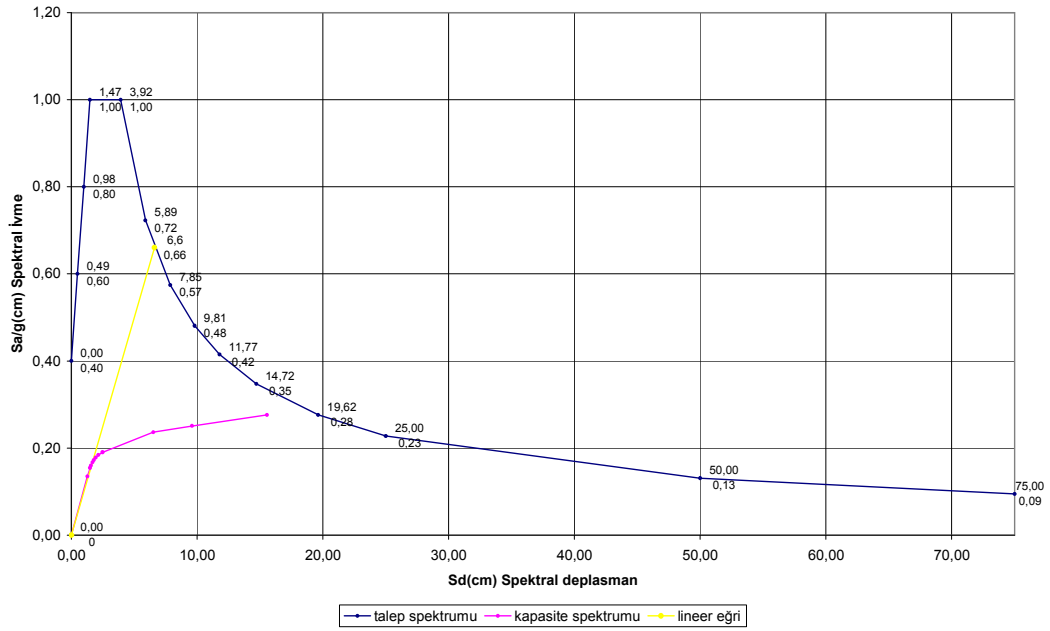
$$w = 9.73$$

$$T = 0.699$$

$$\Gamma = 11.8$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.109 \\ 0.096 \\ 0.076 \\ 0.048 \\ 0.018 \end{bmatrix}$$

f) Bulunan modal yer değiştirme ve modal ivme değerleri ile eksenleri spektral ivme– spektral yer değiştirme olan diyagram çizilir. Bu diyagramda zemin sınıfına ait ivme spektrumu eğrisi de gösterilir. Spektral ivme – spektral yer değiştirme değerlerinin oluşturacağı iki doğrulu diyagramın birinci doğrusunun ivme spektrumu eğrisini kestiği noktanın x eksenı üzerine izdüşümü alınarak doğrusal elastik spektral yer değiştirme değeri bulunur. Şekil 6.22



Şekil 6.22 PushExp için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı

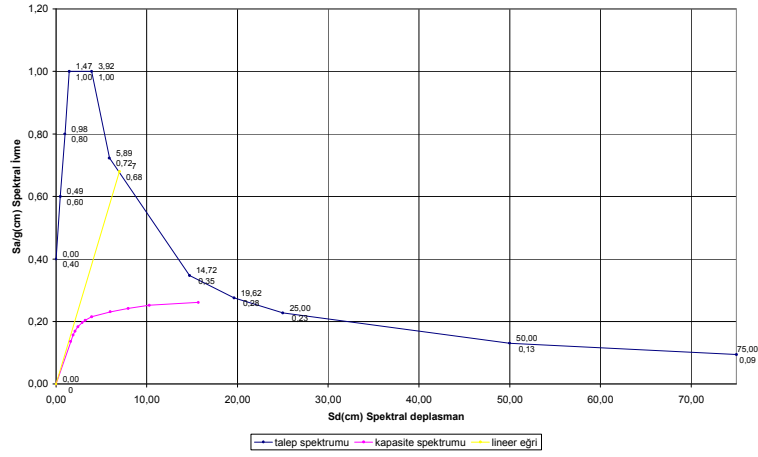
g) Şekil 6.22' deki başlangıç periyodu, ivme spektrumundaki karakteristik periyot ($T = 0.699$ T_B ($T = 0.40$) den daha büyük olduğu için eşit yer değiştirme kuralı uyarınca doğrusal elastik

olmayan spektral yer değiştirme doğrusal elastik spektral yer değiştirmeye eşit olarak alınır. Denklem (3.22) – Denklem (3.31).

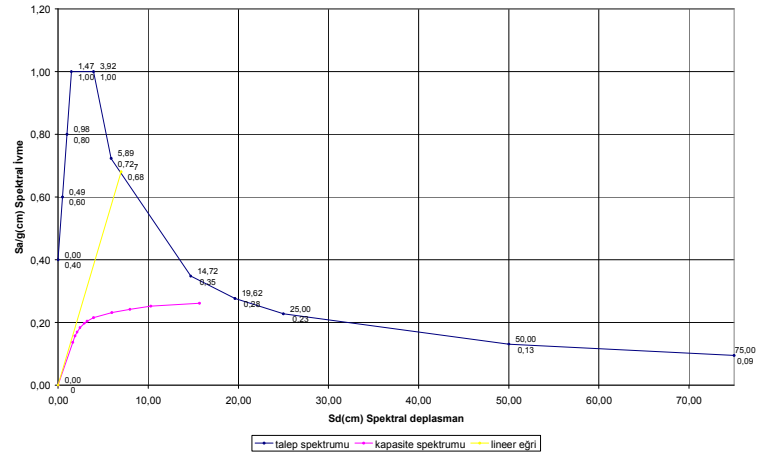
h) x deprem doğrultusundaki tepe yatay yer değiştirmesi talebi Denklem (3.31)’ e göre hesaplanmıştır. Elde edilen değerler tablo 6.13’da gösterilmiştir.

Tablo 6.13 PushExp’nin tepe noktası yatay yer değiştirme talebinin belirlenmesi

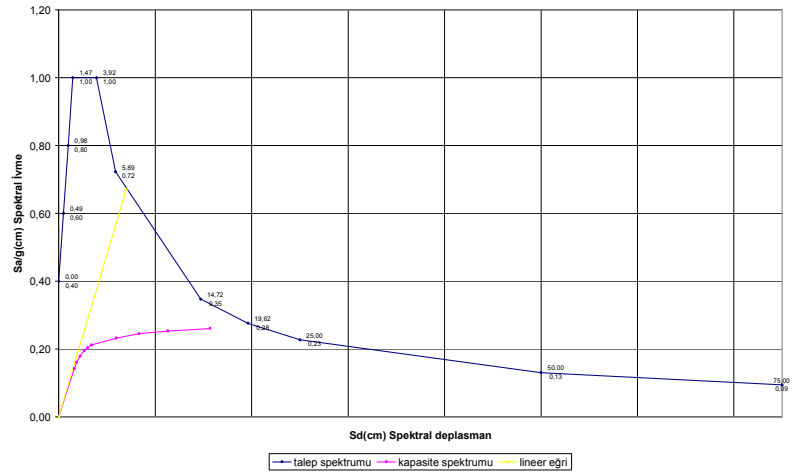
w	9.73
T_e	0.699
C_{R1}	1.00
$S_{de}(T_e)$	0.066
$S_{di}(T_e)$	0.066
UX-(hedef)	0.108



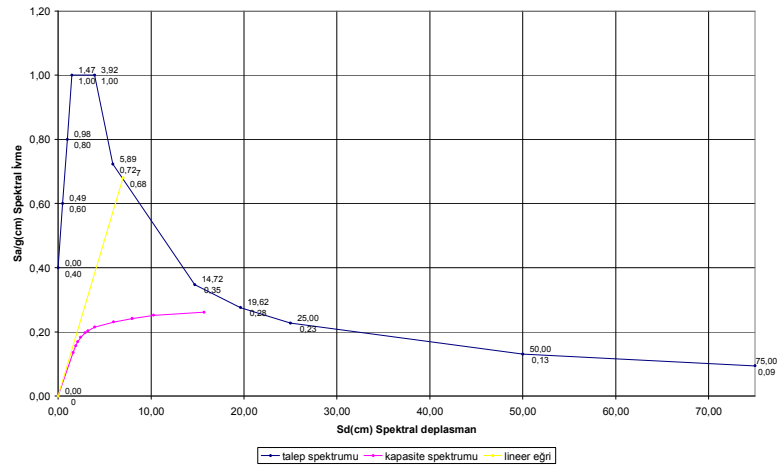
Şekil 6.23 PushExn için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı



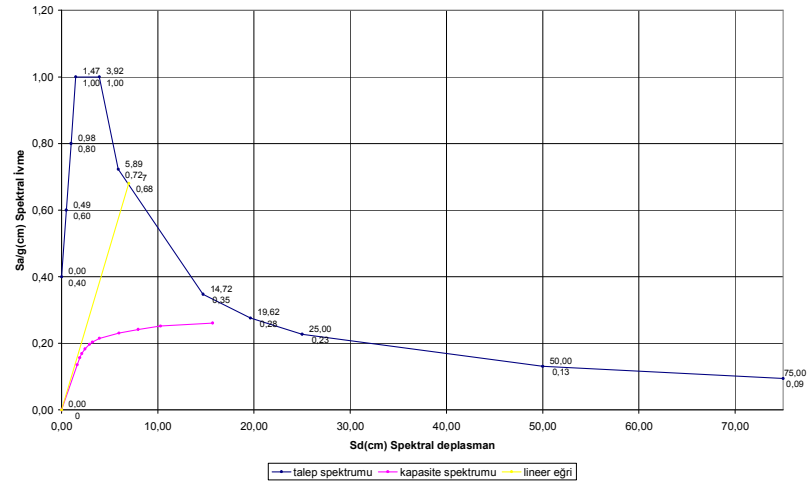
Şekil 6.24 PushEyp için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı



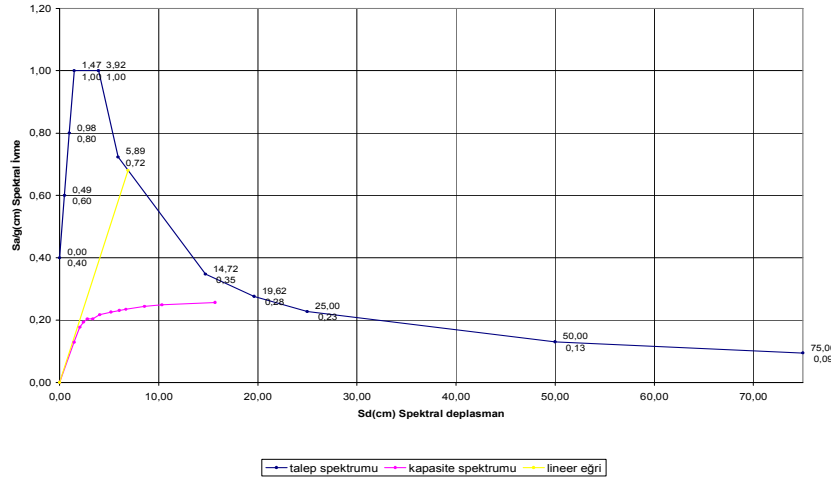
Şekil 6.25 PushEyn için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı



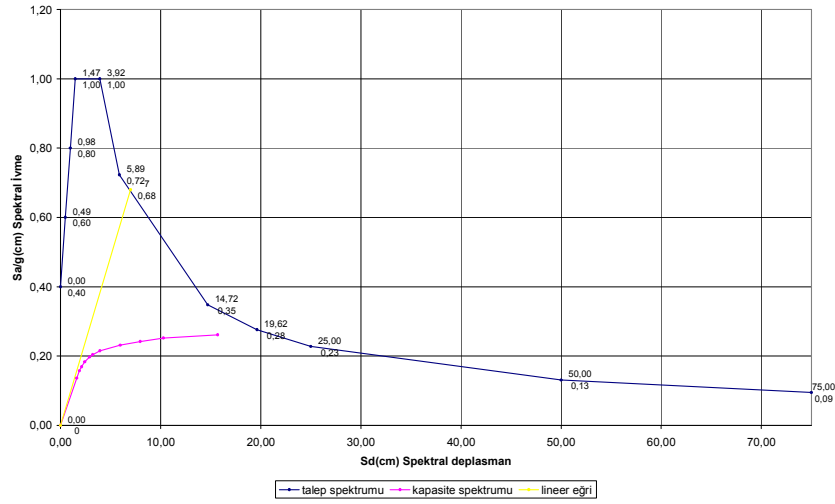
Şekil 6.26 0.9PushExp için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı



Şekil 6.27 0.9PushExn için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı



Şekil 6.28 0.9PushEyp için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı



Şekil 6.29 0.9PushEyn için spektral ivme-spektral deplasman diyagramı

SAP2000 ve İde statik programlarından elde edilen tepki parametre değerleri tablo 6.14’de verilmektedir.

Tablo 6.14 SAP2000 ve İde statik programlarından elde edilen performans sonuçların karşılaştırılması

Statik İtmeler	SAP2000				İde Statik			
	S_a	S_d	V (kN)	D (m)	S_a	S_d	V (kN)	D (m)
PushExp	0.208	0.068	3012.109	0.087	0.237	0.066	2982.472	0.084
PushExn	0.208	0.068	3012.109	0.087	0.237	0.066	2982.472	0.084
PushEyp	0.201	0.070	2878.670	0.090	0.235	0.071	2957.303	0.090
PushEyn	0.201	0.070	2878.670	0.090	0.235	0.071	2957.303	0.090
0.9PushExp	0.207	0.068	3035.246	0.086	0.237	0.066	2982.472	0.084
0.9PushExn	0.207	0.068	3035.246	0.086	0.237	0.066	2982.472	0.084
0.9PushEyp	0.202	0.069	2894.900	0.088	0.233	0.071	2932.134	0.090
0.9PushEyn	0.202	0.069	2894.900	0.088	0.233	0.071	2932.134	0.090

6.2.12. Sayısal İncelemelere İlişkin Değerlendirmeler

Sayısal incelemeler, on beş metre yükseklikli x ve y yönünde dört açıklıklı, beş katlı bir betonarme sistem modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kesit ve eleman hasar bölgelerinin belirlenmesinde, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen Eşdeğer Artımsal İtme Analizi esas alınmıştır. Sayısal analizler için SAP2000 ve İde Statik yapı analiz programları kullanılarak elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırılarak tartışılmıştır. Sayısal incelemelerde elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1) Sistem modelinde Eşdeğer Artımsal İtme Analizi Yöntemine göre SAP2000 programından elde edilen kesit hasar değerleri DBYBHY-2007'de verilen kesit hasar değerleri ile neredeyse aynıdır. Belirlenen hasar bölgelerinin farklılık gösterdiği kesit sayısının çerçevedeki toplam kesit sayısına oranı kirişlerde ve kolonlarda % 1'in altındadır.

2) İki programa göre yapılan analizler sonucunda elde edilen performans noktaları arasındaki farklılıklar ihmal edilebilecek boyuttadır.

7. SONUÇLAR

Bir betonarme sistem modeli üzerinde binaların deprem performanslarının ve hasar seviyelerinin belirlenmesinde doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması üzerine sayısal inceleme konulu bir tez çalışması yapılmıştır. Çalışmada betonarme yapıların performans değerlendirmesini yapmak üzere, kat planları ve kat yükseklikleri aynı olan beş katlı betonarme çerçeveli bir yapı seçilmiştir. Bu yapının performans seviyesi Doğrusal Olmayan Eşdeğer Artımsal İtme Analizi (Statik İtme Analizi) Yöntemi kullanılarak SAP2000 ve İde Statik analiz programlarıyla ayrı ayrı belirlenmiştir. Tepki büyüklükleri olarak; yer değiştirme ve dayanım talepleri ile yapısal elemanların hasar seviyeleri değerlendirilmiştir. İki programından elde edilen yapı performans seviyelerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Yapı sisteminde seçilen bazı yapısal elemanların hasar değerlendirilmesi moment eğrilik ilişkileri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre alt katlardaki yapısal elemanlarda üst katlardakine göre daha büyük plastik dönmeler olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Aydınoğlu, N. “Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi İçin Artımsal Spektrum Analizi (Arsa) Yöntemi” Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26–30 Mayıs 2003, İstanbul, Turkey
- [2] Ahmed Ghobarah “Performance Based Design in Earthquake Engineering: State of Development” Engineering Structures 23 (2001), 878-884
- [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 Management Agency, Washington.
- [6] ATC–55, Project: Evaluation of Inelastic Seismic Analysis Procedures.
- [7] FEMA–440 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [8] (BSSC) Building Seismic Safety Council
- [9] American Society of Civil Engineering
- [10] (EERC-UCB) Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
- [11] Özer, E. , 2006. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizi Ders Notları,
- [12] (SEAOC Vision 2000) Structural Engineers Association of California
- [13] Oğuz, S. 2005. Evaluation Of Pushover Analysis Procedures For Frame Structures
- [14] DBYBHY-2007
- [15] Celep, Z. Kumbasar, N. “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” 2004
- [16] Pınar, M. 2006 “Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesinde Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerin Karşılaştırılması Üzerine Sayısal Bir İnceleme” İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- [17] Yakut, A 2006 “Yapıların Sismik Performans Değerlendirme Yöntemleri ve Yapıların TDY 2006’ya göre Değerlendirilmesi”, “Kurs Notları”
- [18] Anil K. Chopra, Rakesh K. Goel, “Capacity-Demand-Diagram Methods For Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures SDF Systems”, Report No. PEER–1999/02.

- [19] A. K. Chopra and R. K. Goel (2002), "A Modal Pushover Analysis Procedure for Estimating Seismic Demands for Buildings," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 31, No. 3, pp. 561-582.
- [20] Kömür M.A. , Elmas, M. "Betonarme Düzlem Çerçeve Sistemlerinin Farklı Yanal Yük Biçimleri İçin Elastik Olmayan Statik (İtme) Analizi", Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26–30 Mayıs 2003, İstanbul.
- [21] C. Chintanapakdee and A. K. Chopra (2003), "Evaluation of Modal Pushover Analysis using Generic Frames," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 32, No. 3, pp. 417-442
- [22] R. K. Goel, and A. K. Chopra (2004), "Evaluation of Modal and FEMA Pushover Analyses: SAC Buildings," Earthquake Spectra, Vol. 20, No. 1, pp. 225-254.
- [23] A. K. Chopra and C. Chintanapakdee (2004), "Evaluation of Modal and FEMA Pushover Analyses: Vertically 'Regular' and Irregular Generic Frames," Earthquake Spectra, Vol. 20, No. 1, pp. 255-271.
- [24] Graham C. Archer, "A Constant Displacement Iteration Algorithm for Nonlinear Static Push-Over Analyses", Electronic Journal of Structural Engineering, 2 (2001).
- [25] Hasan, R., Xu, L. and Grierson, D.E. (2002), "Push-over analysis for performance-based seismic design", Computers and Structures Vol. 80, 2483–2493.
- [26] Stewart, J.P., Chiou, S.J, Bray J.D., Graves, R.W., Somerville, P.G., Norman, A.A. , "Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design", PEER Report 2001/09.
- [27] Öncü M.E., Calayır Y., Betonarme Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi, Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- [28] İrtəm, E. ve Türker, K. (2002). "Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Lineer Olmayan Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Statik Yöntemlerin Karşılaştırılması" Balıkesir Üniversitesi IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, 425–436.
- [29] Çakıroğlu A. ve Özer E. (1980). "Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler". Ankara: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- [30] Ersoy, U. (1978), "Beton ve Betonarmenin Doğrusal Elastik Olmayan Davranışı". İMO Yayınları Ankara, 1–25.
- [31] Ulucan, Z.Ç. ve Atıç, D. , "Çok Katlı Yapılarda Kiriş-Kolon Rijitlik Oranının Yapının Deprem Davranışına Etkisi" , 4. GAP Mühendislik Kongresi, Harran üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 986–990, Şanlıurfa, 06–08 Haziran 2002

- [32] Calayır, Y. ve Ulucan, Z.Ç. , “Taban İzolasyonlu Binaların Dinamik Davranışı”, IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir Üniversitesi, 365–367, Balıkesir, 11–13 Eylül 2002
- [33] Öncü, M.E. 2000, “Düzlem Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Analizi ve Plastik Mafsallıklarının İncelenmesi” Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi
- [34] Lawson R. S. , Vance V. ve Karwinkler H. (1994). Nonlinear static push-over analysis- why, when, and how?. Proceeding 5th US National Conference on Earthquake Engineering, Vol I., 283-292. Lian
- [35] Moghadam A.S. ve Tso W.K. (1995). 3-D pushover analysis for eccentric buildings. Earthquake Engineering: Seventh Canadian Conference, 285-292.
- [36] Tso W.K ve Moghadam A.S. (1996). Damage assessment of eccentric multistorey buildings using 3-D pushover analysis. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, computer file.
- [37] Kilar V. ve Fajfar P. (1997). Simple push-over analysis of asymmetric buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.26, 233-249.
- [38] Krawinkler H. ve Seneviranta G.D.P.K. (1998). Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation. Engineering Structures, Vol.20, 452-464.
- [39] Sasaki K.K. , Freeman S.A. ve Paret T.F. (1998). Multi-mode pushover procedure (MMP)- a method to identify the effect of higher modes in a pushover analysis. 6th. U.S. National Conference on Earthquake Engineering, CD-ROM.
- [40] Moghadam A.S. ve Tso W.K. (1998). Pushover analysis for asymmetrical multistorey buildings. Proceedings of the Sixth US National Conference on Earthquake Engineering.
- [41] Faella G. ve Kilar V. (1998). Asymmetric multistorey R/C frame structures: push- over versus nonlinear dynamic analysis. Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering, computer file.
- [42] Kim S.D. , Hong W.K. ve Ju Y.K. (1999). The Structural Design of Tall Buildings, volume 8, issue 1, 57–73.
- [43] Chopra A.K. ve Goel R.K. (2001). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31, 561–582.
- [44] Kilar V. ve Fajfar P. (2001). On the applicability of pushover analysis to the seismic performance evaluation of asymmetric buildings. European Earthquake Engineering, Vol. XV, No.1, 20–31.

- [45] Antoniou S. , Rovithakis A. ve Pinho R. (2002). Development and verification of a fully adaptive pushover procedure. The Twelfth European Conference on Earthquake Engineering, electronic resource.
- [46] Almeida R. ve Carneiro-Barros R. (2003). A “new” multimode load pattern for pushover analysis: the effect of higher modes of vibration. Earthquake Resistant Engineering Structures, IV, 3-13.
- [47] Chintanapakdee C. ve Chopra A.K. (2003). Evaluation of modal pushover analysis using generic frames. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.32, 417-442.
- [48] Jan T.S. , Liu M.W. ve Kao Y.C. (2004). An upper- bound pushover analysis procedure for estimating the seismic demands of high-rise buildings. Engineering Structures, Vol.26, 117-128.
- [49] Türk Standartları. (2000). TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü.
- [50] CSI SAP 2000 V-8.1.2. (2002). Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual. Computer and Structures Inc. Berkeley,California.
- [51] İde Statik 5.0 Yapı Analiz Programı

ÖZGEÇMİŞ

Burak YÖN, 1982 yılında Elazığ’ da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla, Elazığ Mehmet Zeki İlkokulu ve Atatürk Ortaokulunda, lise öğrenimini Balakgazi Ybd.Ağr. Lisesinde tamamlamıştır. 2000 yılında, Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazanmıştır. 2004 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.

