

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEVCUT YAPILARIN TDY 2007'YE GÖRE
PERFORMANS ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Feyza DİNÇER

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Necati MERT

Haziran 2012

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEVCUT YAPILARIN TDY 2007'YE GÖRE
PERFORMANS ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

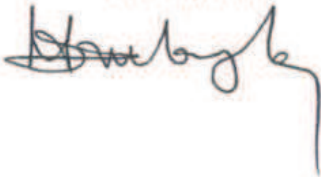
İnş. Müh. Feyza DİNÇER

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 18./06/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK
Jüri Başkanı



Doç. Dr. Naci Çağlar
Üye



Y.Doç. Dr. Necati MERT
Üye



TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aşamasında bana her türlü desteği veren danıŐman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Necati MERT 'e minnet ve Őukranlarımı sunarım. ÇalıŐmalarım esnasında bana yardımcı olmaya çalıŐan bütün arkadaşlarıma, özellikle eleŐtiri ve önerileri nedeni ile İnş. Yük. Müh. AyŐegül ÇUKUR 'a teşekkür etmek isterim. Verdikleri maddi ve manevi destekten dolayı aileme de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
BÖLÜM 2.	
YAPILARIN ELASTİK ÖTESİ DAVRANIŞI.....	5
2.1. Tek Serbest Dereceli Sistemlerin Hareket Denklemleri.....	5
2.2. Tek Serbest Dereceli Sistemlerin Elastik Ötesi Davranışı.....	6
2.2.1. Kuvvet – deformasyon (şekil değiştirme) ilişkisi.....	7
2.2.2. Elastoplastik idealleştirme.....	8
2.3. Eşlenik Lineer Sistem.....	10
2.4. Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Moment Eğrilik İlişkisi.....	11
2.5. Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Performans Noktası Hesap Adımları.....	14
2.6. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler.....	16

BÖLÜM 3.

TDY 2007'YE GÖRE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	23
3.1. Giriş.....	23
3.2. Binalardan Bilgi Toplanması.....	24
3.2.1. Bilgi düzeyleri.....	24
3.2.2. Betonarme binalarda sınırlı bilgi düzeyi.....	25
3.2.3. Betonarme binalarda orta bilgi düzeyi.....	26
3.2.4. Betonarme binalarda kapsamlı bilgi düzeyi.....	27
3.3. Kesit, Eleman ve Taşıyıcı Sistem Hasar Sınır ve Bölgeleri.....	28
3.3.1. Taşıyıcı eleman deprem hasar sınır ve bölgeleri.....	29
3.4. Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Yöntemleri ile Belirlenmesi.....	30
3.4.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi.....	30
3.4.2. Mod birleştirme yöntemi.....	30
3.4.3. Yapı elemanlarının hasar düzeylerinin belirlenmesi.....	31
3.4.4. Görelî kat ötelemelerinin kontrolü.....	35
3.5. Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemleri ile Belirlenmesi.....	35
3.5.1. Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek yol.....	36
3.5.2. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi....	37
3.5.3. Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi.....	43
3.5.4. Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri.....	43
3.6. Taşıyıcı Sistemin Deprem Performans Düzeyleri.....	44
3.7. Deprem Etkisi	48
3.8. Binalar İçin Performans Hedefleri.....	49
3.9. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar.....	50

BÖLÜM 4.

DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZ)...	53
4.1. Giriş.....	53
4.2. Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri.....	54

4.2.1. Kapasite eğrisini belirlemek için adım adım işlemler.....	57
4.2.2. Talep spektrumunu belirlemek için adım adım işlemler.....	59
4.2.3. Kapasite spektrum metodu kullanılarak sismik istemin hesaplanması.....	59
4.2.4. Kapasite spektrum metodunun kavramsal oluşumu.....	60
4.2.4.1. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi.....	61
4.2.4.2. Talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi.....	63
4.2.4.3. Kapasite spektrumunun idealleştirilmesi.....	64
4.2.4.4. Etkili sönümün belirlenmesi.....	65
4.2.4.5. Spektral indirgemenin nümerik çıkarılışı.....	69
4.2.4.6. Prosedür A'yı kullanarak performans noktasının hesaplanması.....	75
4.2.5. Tahmin edilen maksimum deplasmanda adım adım performans kontrolü.....	78
BÖLÜM 5.	
SAYISAL UYGULAMALAR.....	80
5.1. Giriş.....	80
5.2. Genel Bilgiler.....	81
5.3. Sayısal Çözümler.....	88
5.4. Parametrik Çalışma.....	100
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	108
KAYNAKLAR.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	113

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ADRS	: İvme yer değiştirme davranış spektrumu
BHB	: Belirgin hasar bölgesi
CG	: Can güvenliği
DBYBHY	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
GB	: Göçme bölgesi
G	: Göçme ncesi
HK	: Hemen kullanım
İHB	: İleri hasar bölgesi
MHB	: Minimum hasar bölgesi
SAP2000	: Integrated software for structural analysis and design
TDY	: Türk deprem yönetmeliği
TS-500	: Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları
ZEN	: Deprem katsayısı
$\alpha_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
b_w	: Kiriş gövde genişliği
c	: Sönüm
c_{cr}	: Kritik sönüm
C_{R1}	: Birinci moda ait spektral yer değiştirme oranı
d	: Kiriş faydalı yüksekliği
d_i	: Katman kalınlığı
$d_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal : yerdeğiştirme
d_s	: Toplam zemin profil kalınlığı
E	: Elastisite modülü
E_c	: Çerçeve betonunun elastisite modülü

E_D	: Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji
E_{S0}	: Maksimum şekil değiştirme enerjisi
F	: Yanal dış yük
F_{S1}, F_{S2}, F_{S3}	: Donatı kuvvetleri
F_c	: Beton normal kuvveti
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
f_d	: Tasarım dayanımı
f_e	: Depremin binadan elastik talebi
f_s	: Dayanım kuvveti
f_y	: Akma kuvveti
g	: Yerçekim ivmesi
h_i	: Kat yüksekliği
k	: Rijitlik
L_p	: Plastik mafsal boyu
m	: Kütle
M	: Moment
$M(t)$: Zamana bağlı eğilme momenti
M_u	: Kırılma momenti
M_y	: Akma momenti
M_{cr}	: Çatlamış kesitin momenti
M_D	: Düşey yüklerden oluşan kiriş uç momentleri
M_E	: Artık moment kapasitesi
M_K	: Mevcut malzeme kapasite dayanımlarından hesaplanan moment : kapasitesi
M_{x1}	: x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci : (hakim) moda ait etkin kütle
N	: Yapıdaki kat sayısı
N	: Deprem ve düşey yükler altında kolonda oluşan aksenal kuvvet
N_D	: Düşey yükler altına kolonda oluşan aksenal kuvvet
N_E	: Deprem yükleri altında oluşan kolon aksenal kuvveti
PF_1	: Birinci doğal mod için modal katılma katsayısı
R	: Süneklik katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı

R_y	: Dayanım azaltma katsayısı
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
r	: Etki/Kapasite oranı
r_s	: Hasar sınırını tanımlayan etki/kapasite oranı
S_a	: Spektral ivme
S_{ai}	: Maksimum spektral ivme
S_{ae}	: Elastik spektral ivme
S_{ay}	: Doğrusal elastik davranış sınırındaki spektral ivme
S_{dy}	: Spektral akma yerdeğiştirmesi
S_{de}	: Maksimum eşlenik lineer yerdeğiştirme
S_{deR}	: Spektral yer değiştirme büyütme faktörü
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
S_{di}	: Maksimum spektral yerdeğiştirme
S_{RA}	: Spektral ivme azaltma katsayısı
S_{RV}	: Spektral yer değiştirme azaltma katsayısı
T_A, T_B	: Zemin hakim periyodları
T	: Doğal titreşim periyodu, (sn)
T_B	: DBYBHY’de tanımlanan ivme spektrumundaki karakteristik periyot
$T_1^{(1)}$: Başlangıçtaki (i=1) itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
T_x	: Dönüşüm matrisi
T_n	: Elastik Spektrumun bir karakteristik periyodu
U	: Yapı tepe noktası deplasmanı
u_g	: Yer hareketi
$u(t)$: Yapı relatif yerdeğiştirmesi
u	: Yerdeğiştirme
u_d	: Tasarım dayanımına karşılık gelen yerdeğiştirme
u_e	: Eşlenik lineer sistemin maksimum yerdeğiştirmesi
u_m	: Maksimum deplasman
u_p	: Plastik yerdeğiştirme
u_y	: Elastik deplasman
\ddot{u}_g	: Yer ivmesi
V	: Toplam taban kesme kuvveti

V_e	: Kolon ve kirişte enine donatı hesabına esas alınan kesme kuvveti
V_r	: Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
W	: Yapı ağırlığı
α_1	: Birinci doğal mod için modal kütle katsayısı
β_0	: Histeretik sönüm
λ	: Düzeltme katsayısı
ω	: Serbest titreşim açısal frekansı
ε_{cg}	: Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ε_{cu}	: Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ε_s	: Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi
ξ	: Sönüm oranı
μ	: Süneklik katsayısı
Φ_{N1}	: N' inci katta birinci mod şekli genliği
Φ_{i1}	: i' inci seviyedeki modun şekli
Ψ	: Anlık mod şekli faktörü
χ	: Eğrilik
χ_u	: Kırılma anındaki eğrilik
χ_y	: Akma anındaki eğrilik
Δf_s	: Anlık eşdeğer statik kuvvet
Δf_{sk}	: k' inci kat eşdeğer statik kuvvet
ΔA_σ	: Modal sözde ivme
$\Delta\Psi$: Modal yerdeğiştirme
ΔV	: Taban kesme kuvveti
$\Delta d(t)$: Eşdeğer deplasman
Γ	: Modal katkı çarpanı
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ_s	: Kesitte mevcut bulunan ve sargı etkisi sağlayabilen (135o kancalı) enine donatının hacımsal oranı
ρ_{sm}	: Kesitte bulunması gereken enine donatının hacımsal oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı
$(\delta_i)_{max}$: İlgili kattaki en büyük göreceli kat ötelemesi

- ϕ_{π} : Plastik eğrilik
 ϕ_{τ} : Toplam eğrilik
 ϕ_{ψ} : Eşdeğer akma eğriliği
 θ_p : Plastik dönme

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Tek serbestlik dereceli sistemin matematiksel modeli	5
Şekil 2.2.	Tek serbestlik dereceli sistem.....	6
Şekil 2.3.	Elastik dizayn spektrumu ve uluslar arası yapı yönetmeliği taban kesme katsayılarının karşılaştırılması.....	7
Şekil 2.4.	Tekrarlı yükler altında kuvvet – şekildeğiştirme davranışı.....	8
Şekil 2.5.	Gerçek ve idealize edilmiş kuvvet – deformasyon grafiği.....	9
Şekil 2.6.	Elastoplastik bir sistemin idealize edilmiş çevrimsel yükleme – boşaltma davranışı.....	9
Şekil 2.7.	Elastoplastik sistem ve onun eşlenik lineer sistemi	10
Şekil 2.8.	Tek serbestlik dereceli bir sisteme ait eğilme momenti, eğrilik, idealize edilmiş eğrilik ve plastik mafsall oluşumu.....	12
Şekil 2.9.	Yatay yükler altındaki yer değıştirme.....	12
Şekil 2.10.	Moment eğrilik ilişkisi.....	13
Şekil 2.11.	Üç parçalı moment eğrilik diyagramı.....	13
Şekil 2.12.	Taban kesme kuvveti- yer değıştirmeye bağılı statik itme (pushover) eğrisi.....	14
Şekil 2.13.	Kapasite spektrum eğrisi.....	14
Şekil 2.14.	Elastik ivme spektrumu grafiği.....	14
Şekil 2.15.	Spektral ivme – spektral yer değıştirme grafiği.....	15
Şekil 2.16.	Dayanım azaltma katsayısına bağılı Sdi ve SdeR değerleri.....	16
Şekil 2.17.	Çok serbestlik dereceli bir sistemin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme indirgenmesi.....	16
Şekil 2.18.	Yapı sisteminin adım boyunca lineer elastik davranış göstermesi kabulünün şematik olarak.....	17
Şekil 2.19.	Katlara gelen eşdeğer statik kuvvetler.....	19
Şekil 2.20.	Çok serbestlik dereceli bir sistemin yatay yer değıştirmesi.....	20

Şekil 2.21.	Kapasite eğrisi.....	21
Şekil 2.22.	Çok serbestlik dereceli bir sistemin tek serbestlik dereceli sistem eşleniği.....	22
Şekil 2.23.	Tek serbestlik dereceli bir sistemin matematiksel modeli.....	22
Şekil 3.1.	Kesit hasar sınırları ve bölgeleri.....	29
Şekil 3.2.	Kolon moment kapasitesinin hesabı.....	32
Şekil 3.3.	İtme eğrisi.....	38
Şekil 3.4.	Modal kapasite diyagramı.....	39
Şekil 3.5.	Periyot koordinatlı talep spektrumunun spektral yerdeğiştirme koordinatına dönüştürülmesi.....	40
Şekil 3.6.	T1(1) başlangıç periyodunun TB'den büyük olması durumu.....	41
Şekil 3.7.	T1(1) başlangıç periyodunun TB'den küçük olması durumu.....	42
Şekil 3.8.	T1(1) başlangıç periyodunun TB'den küçük olması durumu.....	42
Şekil 3.9.	Hasar durumlarından bina (taşıyıcı sistem) performans düzeyine geçiş.....	45
Şekil 3.10.	Taşıyıcı sistem (bina) performans düzeyleri.....	45
Şekil 4.1.	Statik itme eğrisinin elde edilmesi.....	54
Şekil 4.2.	Statik itme eğrisinin kapasite eğrisine dönüştürülmesi.....	55
Şekil 4.3.	İvme-Periyot (Sa-T, AD) formatındaki mukabele spektrumunun İvme- Deplasman (Sa-Sd,).....	55
Şekil 4.4.	Yerdeğiştirme talebinin (performans noktası) belirlenmesi.....	55
Şekil 4.5.	α_1 ve PF1 arasındaki ilişki için bir örnek.....	62
Şekil 4.6.	Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi.....	63
Şekil 4.7.	Talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi.....	64
Şekil 4.8.	Kapasite spektrum metodu için kapasite spektrumunu kırıklı gösterme.....	65
Şekil 4.9.	Spektral indirgeme için sönümün ifadesi.....	66
Şekil 4.10.	ED ile sönümlenen enerjinin ifadesi.....	67
Şekil 4.11.	ED ile sönümlenen enerjinin hesaplanması.....	67
Şekil 4.12.	İndirgenmiş karşılık spektrumu.....	68
Şekil 4.13.	Yapısal davranış tipleri A, B, C için λ sönüm faktörü.....	70
Şekil 4.14.	Yapısal davranış tipleri A, B, C için β_{eff} etkin sönüm.....	70

Şekil 4.15.	Yapısal davranış tipleri A, B, C için spektral indirgeme katsayısı SRA.....	71
Şekil 4.16.	Yapısal davranış tipleri A, B, C için spektral indirgeme katsayısı SRV.....	71
Şekil 4.17.	Yapısal davranış tipleri A, B, C için ADRS karşılık spektrumuna bir örnek.....	71
Şekil 4.18.	Standart Sa ve T formatında karşılık spektrumu topluluğu.....	73
Şekil 4.19.	Karşılık ve kapasite spektrumlarının kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası.....	74
Şekil 4.20.	Karşılık ve kompozit “Sawtooth” kapasite spektrumlarının kesişim noktası.....	74
Şekil 4.21.	Kapasite spektrumlu A prosedürü birinci adım.....	75
Şekil 4.22.	Kapasite spektrumlu A prosedürü ikinci adım.....	75
Şekil 4.23.	Kapasite spektrumu A prosedürü üçüncü adım.....	76
Şekil 4.24.	Kapasite spektrumu A prosedürü dördüncü adım.....	76
Şekil 4.25.	Kapasite spektrumu A prosedürü beşinci adım.....	77
Şekil 4.26.	Kapasite spektrumu A prosedürü altıncı adım.....	77
Şekil 5.1.	Mevcut yapıya ait kat planı.....	82
Şekil 5.2.	Yapının 3 boyutlu bilgisayar modeli.....	83
Şekil 5.3.	X – Z doğrultusundaki en kesit.....	84
Şekil 5.4.	Y – Z doğrultusundaki en kesit.....	84
Şekil 5.5.	S (D=70) kolon detayı.....	86
Şekil 5.6.	S30/70 kolon detayı.....	86
Şekil 5.7.	S30/80 kolon detayı.....	86
Şekil 5.8.	S30/90 kolon detayı.....	87
Şekil 5.9.	S30/115 kolon detayı.....	87
Şekil 5.10.	S30/150 kolon detayı.....	87
Şekil 5.11.	X doğrultusunda itme eğrisi.....	88
Şekil 5.12.	Y doğrultusunda itme eğrisi.....	89
Şekil 5.13.	X doğrultusunda tasarım depremi için talep ve kapasite eğrileri...	90
Şekil 5.14.	Y doğrultusunda tasarım depremi için talep ve kapasite eğrileri...	91

Şekil 5.15.	A-A aksı, x doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsalsal durumu, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi).....	93
Şekil 5.16.	C-C aksı, x doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsalsal durumu, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi).....	94
Şekil 5.17.	G-G aksı, x doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsalsal durumu, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi).....	95
Şekil 5.18.	10-10 aksı, y doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsalsal durumu, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi).....	96
Şekil 5.19.	8-8 aksı, y doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsalsal durumu, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi).....	97
Şekil 5.20.	1-1 aksı, y doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsalsal durumu, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi).....	98 101 102
Şekil 5.21.	C20,S420 için X doğrultusunda itme eğrisi.....	102
Şekil 5.22.	C20,S420 için Y doğrultusunda itme eğrisi.....	103
Şekil 5.23.	C20,S420 için X doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri.....	105
Şekil 5.24.	C20,S420 için Y doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri.....	105
Şekil 5.25.	C14 için X doğrultusunda itme eğrisi.....	106
Şekil 5.26.	C14 için Y doğrultusunda itme eğrisi.....	
Şekil 5.27.	C14 için X doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri.....	
Şekil 5.28.	C14 için Y doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri.....	106

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Binalar için bilgi düzeyi katsayıları.....	24
Tablo 3.2.	Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs).....	34
Tablo 3.3.	Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs).....	34
Tablo 3.4.	Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs).....	34
Tablo 3.5.	Görelî kat ötelemesi sınırları.....	35
Tablo 3.6.	Deprem etkisi parametreleri.....	48
Tablo 3.7.	Binalar için hedeflenen deprem performans hedefleri.....	49
Tablo 4.1.	Prosedür seçim tablosu.....	60
Tablo 4.2.	Düzeltilme katsayısı λ nın değerleri.....	69
Tablo 4.3.	Spektral indirgeme katsayıları, $SRA = 1/BS$ ve $SRV = 1/BL$	72
Tablo 4.4.	Yapısal davranış tipleri.....	72
Tablo 4.5.	Deformasyon limitleri.....	78
Tablo 5.1.	Kiriş kesitleri ve donatı bilgileri.....	85
Tablo 5.2.	X doğrultusunda tasarım depremi için performans noktası değerleri.....	90
Tablo 5.3.	Y doğrultusunda tasarım depremi için performans noktası değerleri.....	91
Tablo 5.4.	Tasarım depremi x doğrultusu eleman hasar durumları.....	99
Tablo 5.5.	Tasarım depremi y doğrultusu eleman hasar durumları.....	100
Tablo 5.6.	Yapılan çözümlemede değiştirilen beton ve donatı sınıfı.....	101
Tablo 5.7.	X doğrultusunda beton ve donatı sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi	103

Tablo 5.8.	Y doğrultusunda beton ve donatı sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi.....	104
Tablo 5.9.	Yapılan çözümlerde değiştirilen kat yüksekliği ve beton sınıfı	
Tablo5.10.	X doğrultusunda bodrum kat yüksekliği ve beton sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi.....	107
Tablo5.11.	Y doğrultusunda bodrum kat yüksekliği ve beton sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi.....	107
Tablo 6.1.	X doğrultusunda beton ve donatı sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi.....	109
Tablo 6.2.	Y doğrultusunda beton ve donatı sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi.....	109
Tablo 6.3.	X doğrultusunda bodrum kat yüksekliği ve beton sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi.....	110
Tablo 6.4.	Y doğrultusunda bodrum kat yüksekliği ve beton sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi.....	110

ÖZET

Anahtar kelimeler: Pushover Analizi, Nolineer Statik Analiz, Performans Metodu, Kapasite Eğrisi, Kapasite Spektrumu, TDY 2007

Yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi için son yıllarda geliştirilmiş bulunan statik itme analizine dayalı basitleştirilmiş nolineer analiz yöntemleri, mühendislik uygulamalarında giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, yapının dayanım ve deformasyon (şekil değiştirme) kapasitelerini belirleyerek ilgili performans düzeylerindeki deprem istemleri ile karşılaştırmak suretiyle, yapının performansını değerlendirmektir.

Altı bölüm halinde sunulmuş olan bu çalışmanın, birinci bölümünde çalışmanın amacı, konunun tanıtılması ve konunun önemi vurgulanmıştır. İkinci bölümde yapıların elastik ötesi davranışı tek serbest dereceli sistemler ve çok serbest dereceli sistemler olarak detaylandırılmıştır.

Üçüncü bölümde performans kavramı açıklanmıştır. Daha sonra, TDY 2007 dikkate alınarak binalar için, performans seviyelerinin açıklamaları yapılmış ve bu performans seviyelerinin belirlenmesinde etkili olan kriterler açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde statik itme yöntemi ile analiz, yapının kapasite eğrisinin elde edilişi, kapasite spektrum yöntemi ve performansın bu yöntemle nasıl bulunacağı anlatılmıştır.

Beşinci bölümde SAP 2000 analiz programı yardımıyla 4 katlı mevcut bir okul binasının TDY 2007 göre analizi yapılmıştır. Son bölümde analiz sonuçları karşılaştırılmış ve genel bir değerlendirme yapılmıştır.

ACCORDING TO TERDC 2007 PERFORMANCE ANALYSIS OF EXISTING STRUCTURES

SUMMARY

Key Words: Pushover Analysis, Nonlinear Static Analysis, Performans Evaluation, Capacity Spectrum Methods, TERDC 2007

In recent years, for the assessment or evaluation of the existing buildings under the seismic loads, the Nonlinear Static Procedure (NSP) based on pushover analysis has become extremely popular in structural earthquake engineering community.

This study focuses on the seismic performance evaluation of the structures. This aim can be achieved by introducing nonlinear methods for designing, analyzing and checking the design of structures so that they meet the selected performance objectives. Analysis procedures are capable of predicting the demands-forces and deformations. This research is represented in six chapters, the first chapter includes the aim of this research, introduction the issue and it's emphasize.

The behavior of elastic structures in the second part, the only free-border and multi-grade systems are detailed in serberst-grade systems.

The third section describes the concept of performance. Then, taking into account Turkish Earthquake Resistant Design Code (TERDC 2007) for the construction, performance levels which are effective to determine the levels of performance criteria descriptions has been described.

In the chapter 4, analysis by using pushover method, obtain of the capacity curve of the building, capacity spectrum method and how the performance can be achieved are presented. In chapter 5, four storied exiting school building is analysed by using SAP 2000 analysis program according to the TERDC 2007. In the last chapter analysis outcomes are compared and general lookover has been done.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yapılar deprem sırasında şiddeti, süresi ve yönü tam olarak kestirilemeyen etkilere maruz kalırlar. Bu etkiler yapının dayanımı ve stabilitesini önemli ölçüde etkilemekte ve yapının deprem esnasında elastik ötesi deformasyonlar yapmasına neden olmaktadır. Oluşan deformasyonlar yapıda kalıcı hasarlara, hatta yapının stabilitesinin bozulması sonucu yapının yıkılmasına kadar gidecek ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir. Yapının deprem etkileri altındaki davranışını etkileyen etkenleri; malzemenin lineer olmayan davranışı, taşıyıcı sistem seçimi ve uygulama aşamasında projeye uygun olarak yapının imal edilmemesi olarak sıralanabilir.

Hemen hemen bütün diğer ülkelerin yönetmeliğinde olduğu gibi, Türk Deprem Yönetmeliği 2007, yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımında “hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılması” öngörmektedir. Mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinde ise, genel olarak bu kural çerçevesinde kalınarak yeni binalara göre daha ayrıntılı ve farklı bir yaklaşım öngörülmüştür. Bu farklı yaklaşımın yakın bir gelecekte yeni binaların tasarımında da esas alınması muhtemeldir [5].

Deprem Yönetmeliği (Bölüm 7) de doğrusal olmayan davranış ve çözüm yöntemi daha ayrıntılı biçimde ortaya çıkarılmıştır. Gerçekte elasto-plastik çözüm ve değerlendirme için malzeme ve kesit parametrelerinin daha gerçekçi elde edilebilen yeni yapıların tasarımı için bu yöntemin öngörülmesi daha çok kabul görebilirdi. Ancak, yurdumuzda önemli sorunlardan birisi mevcut yapıların deprem güvenliklerinin olabildiğince gerçekçi belirlenmesi ve uygun müdahalelerin

yapılması olduğu için, doğrusal olmayan çözüm yöntemlerinin uygulaması ayrıntılı biçimde mevcut binaların değerlendirilmesi bölümünde ortaya çıkmıştır. Yönetmelikte yapılacak en yakın değişiklikte doğrusal olmayan bu yöntemlerin yeni yapı tasarımına (Bölüm 2) da daha ayrıntılı biçimde yansması muhtemeldir. Ayrıca yönetmeliğin bu bölümü güçlendirecek binalar içinde kullanılabilir. Yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan bina için bir ön güçlendirme önerisi hazırlanıp, mevcut bina güçlendirme önerisi ile beraber mevcut bina gibi ele alınabilir. Eğer yapılan inceleme yeterli güvenliği ortaya çıkarıyorsa, kabul edilen güçlendirmenin uygun seçildiği anlaşılır. Eğer, güçlendirme önerisine rağmen yetersizlik devam ediyorsa, bu durum güçlendirmenin yetersiz olduğuna işaret eder. Diğer taraftan güçlendirme ile öngörülen performans hedefi çok rahatlıkla sağlanmışsa, bu durum da güçlendirme müdahalesinin gerektiğinden fazla yapıldığını gösterir. Sonuç olarak bir iki deneme-yanılma yöntemi ile en uygun güçlendirmenin kapsamı bulunabilir [5].

Mevcut binanın deprem güvenliğinin belirlenmesi işlemi üç adım olarak görülebilir:

Kapasitenin belirlenmesi: Mevcut binanın taşıyıcı sistem elemanlarının geometrik ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Bu bilgileri kullanarak deprem etkisinde zorlanması beklenen eleman kesit kapasitelerinin hesabı.

Talebin belirlenmesi: Göz önüne alınacak deprem etkisinin seçilmesi ve bu depremde binada ortaya çıkacak kesit etkileri, şekil değiştirme ve yer değiştirmelerin hesabı.

Karşılaştırma ve sonuç: Eleman ve kesitlerde bulunan kapasite ve talebin karşılaştırılarak beklenen hasar durumunun (taşıyıcı sistem performans durumunun) belirlenmesi. Bu durumun kabul edilebilir veya edilemez olmasına karar verilmesi [5].

Doğrusal analizle yapının elastik kapasitesi belirlenirken, doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde yapının elastik ötesi kapasitesi de göz önünde bulundurulmaktadır.

Yapılar için, sabit düşey yükler altında, yatay yüklerin kademeli artırılmasıyla yapılan doğrusal olmayan hesap yöntemine “Statik itme Yöntemi” denir. Bu yöntem,

binanın deprem esnasındaki davranışını daha gerçekçi olarak temsil ettiği için, hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasına imkân tanımaktadır. Statik itme yönteminde binanın tüm elemanlarının deformasyon davranışları tanımlanır. Bu hesaplama yönteminde malzemenin elastiklik sınırları dışında kalan plastiklik kapasitesinden de yararlanılmaktadır [1].

Bu yöntemde, oluşturulan modeller küçük artımlarla ötelenmeye tabi tutulur. Her adımda yapıyı oluşturan elemanların davranış şekillerindeki değişim gözlenir. Bu değişimler, elemanın nihai tasıma kapasitesine erişmesi ile sona erer. Bu şekilde, yapı belirlenen yanal öteleme mesafesine erişinceye kadar ya da yapıyı teşkil eden elemanların, daha önceden tanımlanan göçme deformasyonlarına ulaşıncaya kadar analiz devam ettirilir. Bina göçme durumuna geldiğinde analiz kesilir. Sonuç olarak gelinen deformasyon seviyesi itibariyle binada deprem sonrası oluşacak hasar seviyesi belirlenmektedir. Ayrıca, binanın hangi kesitlerinin daha fazla zorlanmaya maruz kaldığı görülüp ona göre güçlendirme yapılarak, güçlendirme maliyeti optimum bir seviyeye çekilerek daha ekonomik bir şekilde bina güvenliği öngörülen düzeye getirilir.

Sonuç olarak, Statik-İtme Yöntemi deprem kuvvetlerinin binadan talep ettiği ile binanın o depreme verebileceği cevabın (kapasite, kuvvet - deplasman (pushover) eğrisi) kesiştiği noktadaki, diğer bir deyişle performans noktasındaki durumunun incelenmesidir. Bu performans noktasındaki bina özellikleri, binanın kullanım amacına ve mal sahibinin yapıdan ne beklediği ile alakalı olarak önceden tespit edilir. Bu noktada ana amaç, ekonomik durumlar ne olursa olsun en az can güvenliği seviyesinin sağlanması olmalıdır. Bu amaçla performansa dayalı tasarımda, belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla performans (hasar) seviyesi belirlenir [1].

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Son 30 yılda yapılan araştırmalar ve depremlerde meydana gelen göçme Mekanizmaları, mühendisleri lineer olmayan hesaplara yöneltmiştir. Lineer olmayan

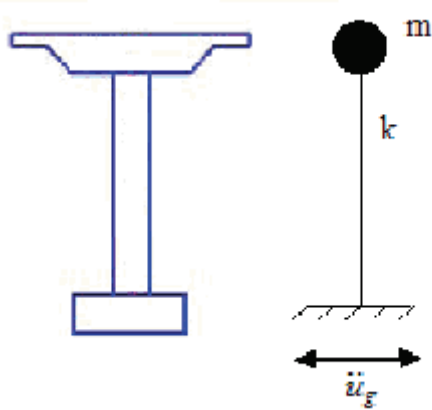
hesap yöntemiyle, yapının depremde göstereceği davranışı daha önceden büyük oranda kestirilebilmektedir. Bu durum da daha ekonomik ve güvenli çözümler doğurmaktadır. Bu yöntem, deprem mühendisliğinde giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bağlamda, lineer olmayan hesap yönteminin tanıtılması, teorik alt yapısının iyi anlaşılması ve yeterli sayıda örnekler sunulması büyük önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, Antalya' da bulunan ve 1975 Deprem Yönetmeliğine göre inşa edilmiş 4 katlı betonarme bir okul binası, TDY 2007'ye göre incelenmiştir. SAP2000 bilgisayar programının yardımıyla statik itme analizleri yapılarak yapının performans seviyesi belirlenmiştir. Taşıyıcı sistem performansı seviyelerinin tasarım ve şiddetli deprem etkisindeki hedef performansı sağlamamasından dolayı güçlendirme yapılmasına karar verilmiştir.

BÖLÜM 2. YAPILARIN ELASTİK ÖTESİ DAVRANIŞI

2.1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Hareket Denklemi

Bir yapının yer hareketi altında incelenmesi sırasındaki ilk adım, basit bir modelle temsil edilmesidir. Serbestlik derecesi, bir yapının titreşim durumundaki konumunun belirlenmesi için gerekli olan parametre sayısıdır. Her ne kadar yapılar sürekli sistemler olsa da bilgisayarla çözüm esnasında genellikle kütle kat seviyesinde toplu kütle olarak ifade edilip sistem idealleştirilir ve çok serbestlik dereceli sistem haline getirilir. Çok serbestlik dereceli sistemlerin incelenmesinde tek serbestlik dereceli sistemlerin ana kavramları kullanılmaktadır. Bunun yanında çok serbestlik dereceli sistemlerin çoğu, basit yaklaşımla, tek serbestlik dereceli kabul edilerek uygun yaklaşıklıkta sonuçlar elde edilebilir (Şekil 2.1) [4].



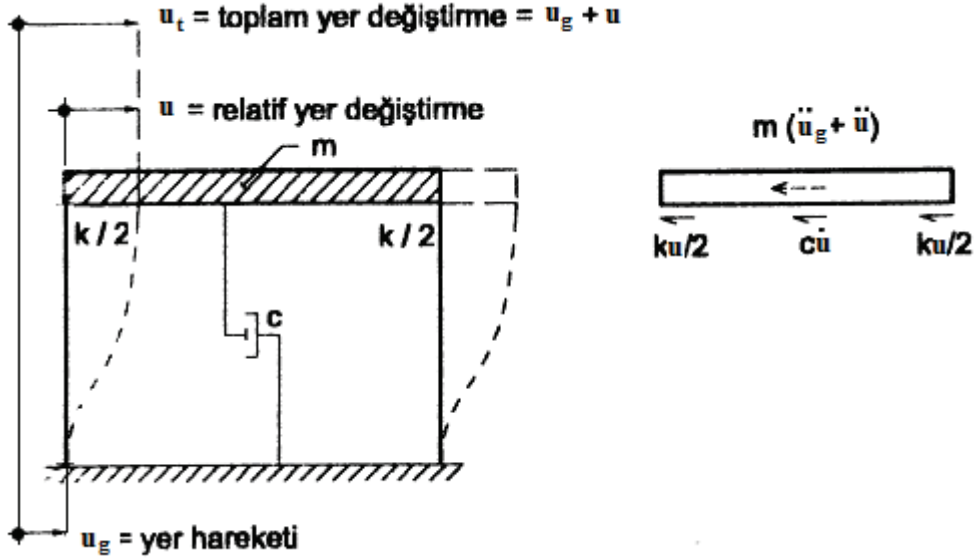
Şekil 2.1. Tek serbestlik dereceli sistemin matematiksel modeli

Bir sistemin hareket halinde bulunduğu konum tek bir parametreyle belirlenebiliyorsa, bu tür sistem tek serbestlik dereceli olarak isimlendirilir (Şekil 2.2). Böyle bir sistemin dinamik davranışının belirlenebilmesi için hareket denkleminin ihtiyacı vardır. Yer hareketi etkisindeki sistemin dinamik davranışı;

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2.1)$$

$$\ddot{u}(t) + 2\xi\omega\dot{u}(t) + \omega^2u(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad (2.2)$$

hareket denklemleri ile ifade edilir.



Şekil 2.2. Tek serbestlik dereceli sistem[4]

Burada $u(t)$ yapı relatif yatay yer değiştirmesini, $u_g(t)$ yer hareketini, ω serbest titreşim açısal frekansını ve ξ de sönüm oranını göstermektedir [4]. Aşağıda verilen bağıntularla ω ve ξ hesaplanabilir.

$$\omega^2 = k/m \quad (2.3)$$

$$c_{cr} = 2m\omega \quad (2.4)$$

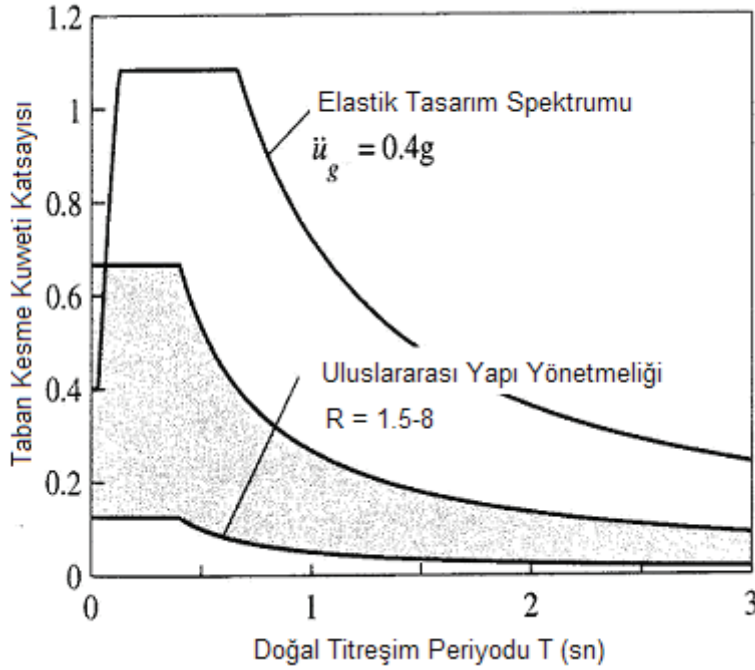
$$\xi = c / (2m\omega) = c / c_{cr} \quad (2.5)$$

2.2. Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Elastik Ötesi Davranışı

Deprem mühendisliği açısından kuvvetli yer hareketi esnasında yapıların elastik ötesi bölgelerindeki deformasyon davranışları büyük önem taşımaktadır.

Lineer elastik davranışın kabul edildiği yapı sistemlerinin deprem hesabında yapıda meydana gelen taban kesme kuvveti Denklem 2.6 ile hesaplanmaktadır. Burada W yapı ağırlığını, S_a ise doğal titreşim periyoduna ve sönüme bağlı spektrum ivme değerini göstermektedir (Şekil 2.3) [7].

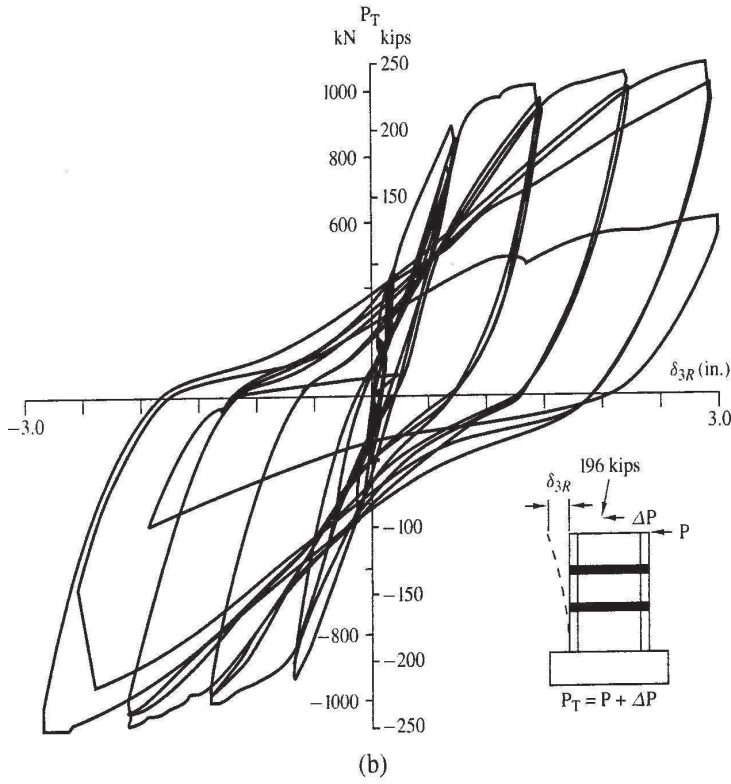
$$V = \frac{S_a}{g} W \quad (2.6)$$



Şekil 2.3. Elastik dizayn spektrumu ve uluslararası yapı yönetmeliği taban kesme katsayılarının karşılaştırılması [7]

2.2.1. Kuvvet – Deformasyon (Şekil değiştirme) ilişkisi

1960 'lı yıllardan buyana deprem etkisi altında yapıların kuvvet – şekildeğiştirme davranışlarının belirlenmesi için pek çok laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deprem sırasında yapılar titreşim hareketi yaparken tersinir deformasyonlara maruz kalırlar. Aşağıda, Şekil 2.4 'de yapı elemanlarının veya yapı sistemlerinin tekrarlı yükler altında Kuvvet – Şekildeğiştirme ilişkisi verilmektedir [7].



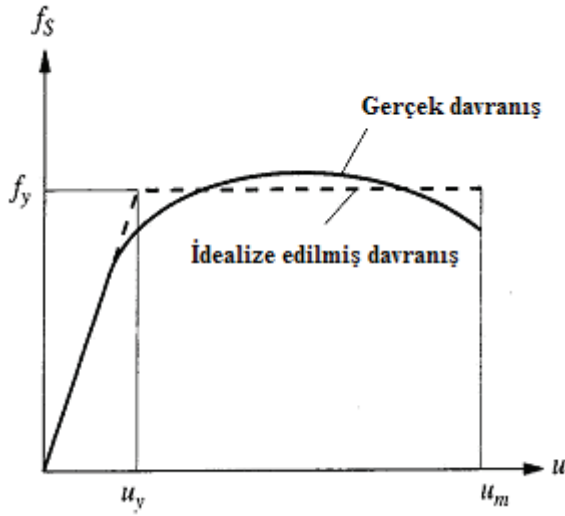
Şekil 2.4. Tekrarlı yükler altında kuvvet - şekildeğiştirme davranışı [7]

Yapılan deneyler, yapıların küçük ölçekli modelleri veya gerçek ölçekli küçük yapı sistemleri üzerinde çevrimsel yükler uygulanarak yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, yapıların tekrarlı yükler altında elastik ötesi kuvvet - deformasyon davranışlarının yapı malzemesine ve yapı sistemlerine de bağlı olduğunu göstermiştir [7] .

2.2.2. Elastoplastik idealleştirme

Kuvvet deformasyon ilişkisinde, bir yapının başlangıç yükleri altındaki eğrisinin elasto plastik davranış olarak idealize edilmesi lineer elastik deprem spektrumlarının geliştirilmesine imkan vermektedir.

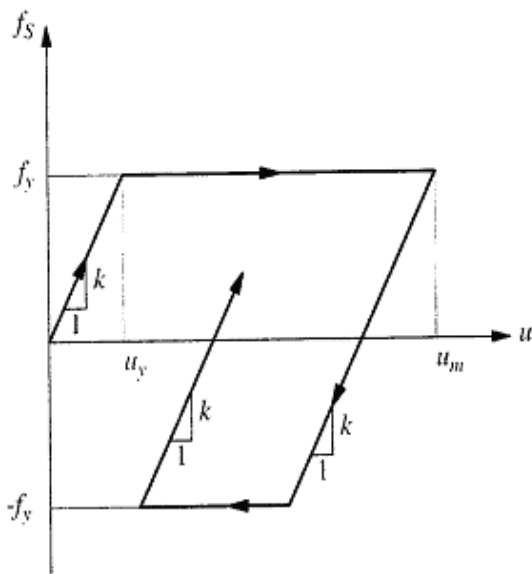
Gerçek yük deformasyon eğrisi ve yapılan yaklaşım Şekil 2.5 'de gösterilmiştir. İki doğru arasında kalan alanlar seçilen bir maksimum deplasman (u_m) için eşit olmalıdır.



Şekil 2.5. Gerçek ve idealize edilmiş kuvvet – deformasyon grafiği[7]

İdealize edilmiş sistem, başlangıç yüklerinde yük akma yükünü aşmadığı sürece k rijitlikli lineer elastik bir sistem gibi davranmaktadır. Şekil 2.5’ de f_y akma kuvvetine ulaşıldığında akma başlamaktadır; akma başladığı andaki şekildeğiştirme u_y ’ dir. Akma yer değiştirmesinden sonra f_y ’ nin artmadığı ve rijitliğin (k) sıfır olduğu kabul edilmektedir.

Şekil 2.6 ’da elastoplastik bir sistemin tekrarlı (çevrimsel) yükler altında yükleme-boşaltma, tekrar yükleme altındaki davranışı idealize edilerek gösterilmiştir.



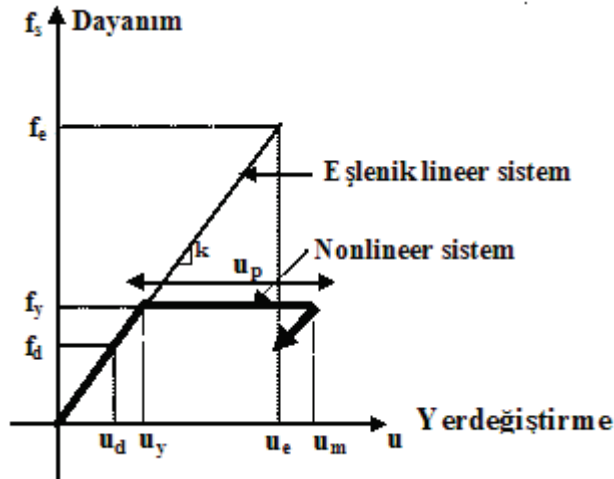
Şekil 2.6. Elastoplastik bir sistemin idealize edilmiş çevrimsel yükleme – boşaltma davranışı [7]

Belirli bir deformasyon noktasındaki, boşalma anındaki eğri yüklemeye eğrisine paralel olarak geri dönmektedir. Benzer şekilde, tekrar yüklemeye eğrisi başlangıç eğrisine paralel olarak geri döner. Tekrarlı yükler altındaki kuvvet – deformasyon ilişkisi tek değere sahip olmamaktadır, herhangi bir t anındaki bir u deformasyonu için oluşan dayanım kuvveti f_s artık tek bir değere bağlı değil, önceki yüklemeye adımına ve o anki deformasyonun azalmasına ($\dot{u} < 0$) veya artmasına ($\dot{u} > 0$) bağlıdır [7].

2.3. Eşlenik Lineer Sistem

Genellikle deprem hareketi nedeniyle, elastoplastik davranış gösteren bir yapı sisteminin maksimum şekil değiştirmesinin bulunması ve bulunan bu değer aynı deprem hareketi altındaki eşlenik lineer sistemde oluşturacağı şekil değiştirmesinin gerçek sistem şekil değiştirmesi ile karşılaştırılması yapılır.

Başlangıç yüklemesinde lineer elastik sistem ve elastoplastik sistemin k rijitlikleri, kütle ve sönüm aynıdır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Elastoplastik sistem ve onun eşlenik lineer sistemi [2]

Bundan dolayı doğal titreşim periyotları eşlenik lineer sistem ve elastoplastik sistemler için $u \leq u_y$ bölgesinde benzerdir. Hareketin daha büyük genliklerindeki ($u > u_y$) doğal titreşim periyotları iki sistemde farklıdır.

Şekil 2.7 'de,

u_d = Tasarım dayanımına karşılık gelen yerdeğiştirme

u_y = Elastik yerdeğiştirme

u_e = Eşlenik lineer sistemin maksimum yer değıştirmesi

u_m = Maksimum deplasman

u_p = Plastik yer değıştirme

f_d = Tasarım dayanımı

f_y = Akma dayanımı

f_e = Deprem binadan elastik talebi olup $f_e = m * S_{ae}$ bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

R_y = Dayanım azaltma katsayısı

$$R_y = \frac{f_e}{f_y} = \frac{u_e}{u_y} \longrightarrow f_y = \frac{f_e}{R_y} \quad (2.7)$$

μ = Süneklik katsayısıdır.

Verilen bir yer hareketi ($\ddot{u}_g(t)$) için, süneklik katsayısı μ , serbest titreşim frekansına (ω_n), sönüm oranına (ξ), ve dayanım azaltma katsayısına (R_y)' ye bağlıdır [3]. Bu ilişki 2.8 bağıntısı ile verilmektedir.

$$\mu = f(\omega_n, \xi, R_y) \quad (2.8)$$

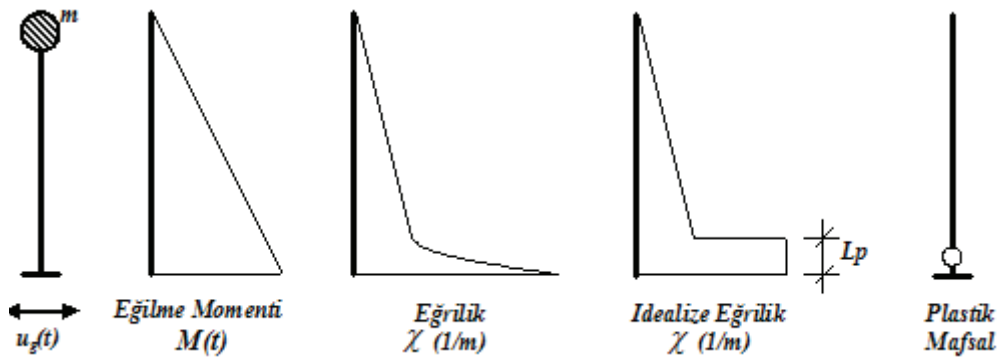
$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{u_y + u_p}{u_y} = 1 + \frac{u_p}{u_y} \quad (2.9)$$

2.4. Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Moment Eğrilik İlişkisi

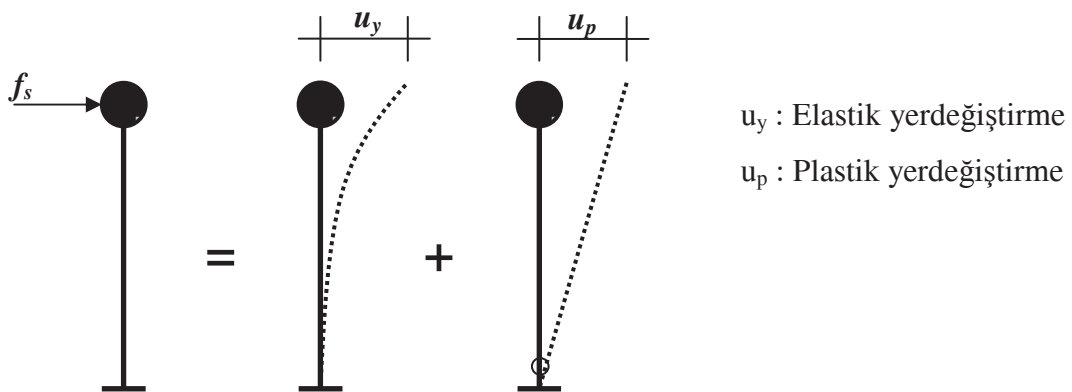
Deprem yükleri altında tek serbestlik dereceli bir sistemde meydana gelen toplam şekil değıştirme; elastik şekil değıştirme ve plastik mafsall oluşumuyla oluşan plastik şekil değıştirmelerin toplamından oluşmaktadır. Tek serbestlik dereceli bir sisteme ait eğilme momenti, eğrilik, idealize edilmiş eğrilik ve plastik mafsall oluşumu

aşağıdaki Şekil 2.8 'de, yatay yükler altındaki yer değiştirme ise şematik olarak Şekil 2.9 'da gösterilmiştir.

Tek serbestlik dereceli bir sistemde, deprem yükleri altında kesitte moment ve normal kuvvet oluşmaktadır. Bu mevcut kesit etkileri altında kesitin basınç başlığında betonda oluşan gerilme dağılışı, şekil değiştirme ve bu kesit etkileri altında oluşan eğrilik (χ) şematik olarak Şekil 2.10 'da gösterilmiştir. Şekil 2.10.a basınç bölgesindeki betonun gerçek gerilme dağılışını ve donatılarda oluşan kuvvetleri (F_{S1} , F_{S2} , F_{S3}), Şekil 2.10.b ise donatı kuvvetlerini ve idealize edilmiş beton basınç gerilmesini göstermektedir.

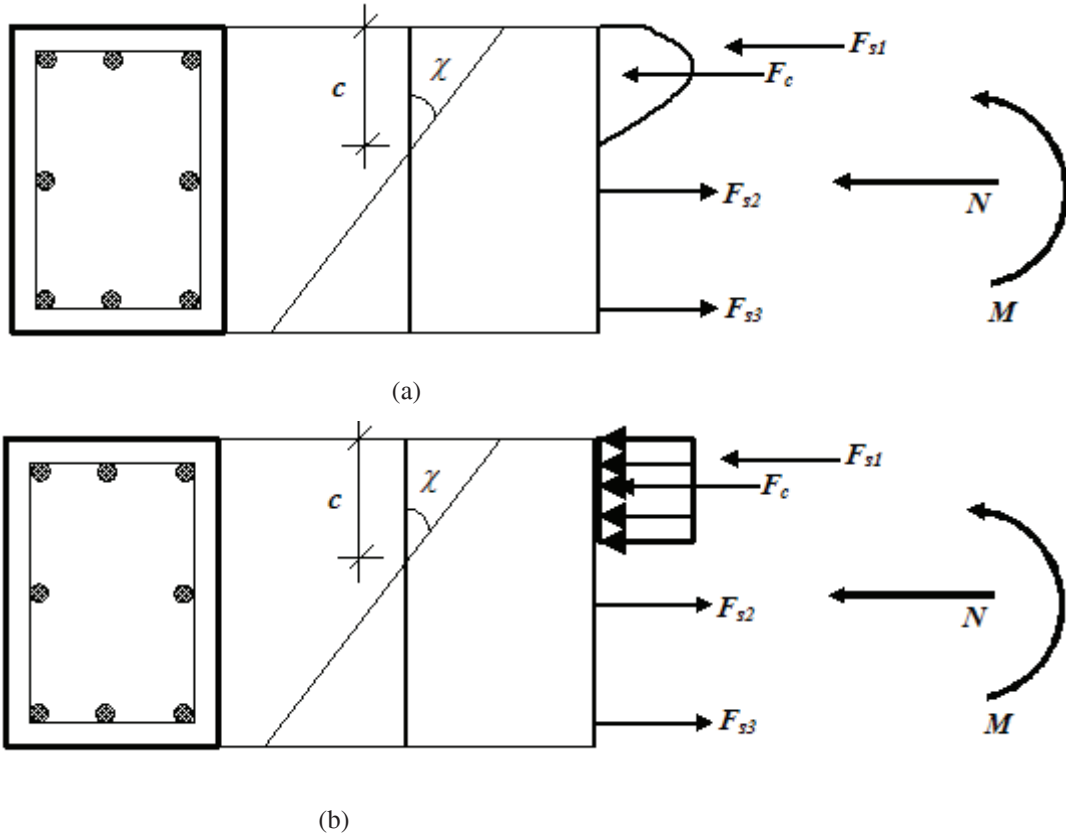


Şekil 2.8. Tek serbestlik dereceli bir sisteme ait eğilme momenti, eğrilik, idealize edilmiş eğrilik ve plastik mafsall oluşumu [3]



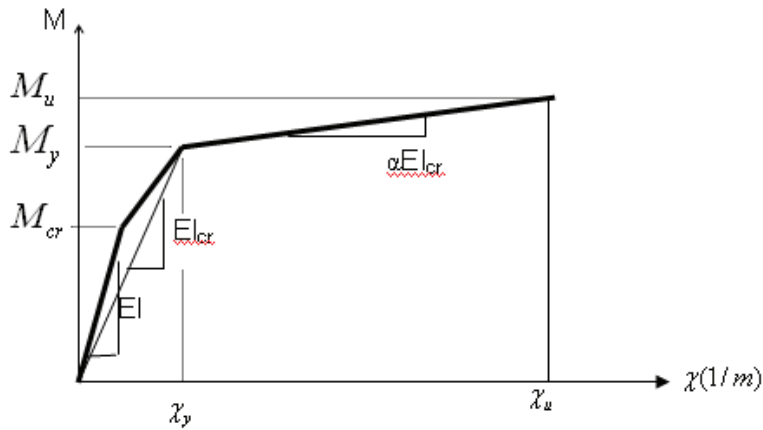
Şekil 2.9. Yatay yükler altındaki yer değiştirme [3]

Şekil 2.8 'de, L_p plastik mafsall boyunu, $M(t)$ zamana bağlı eğilme momentini, χ eğriliği gösterir.



Şekil 2.10. Moment eğrilik ilişkisi [3]

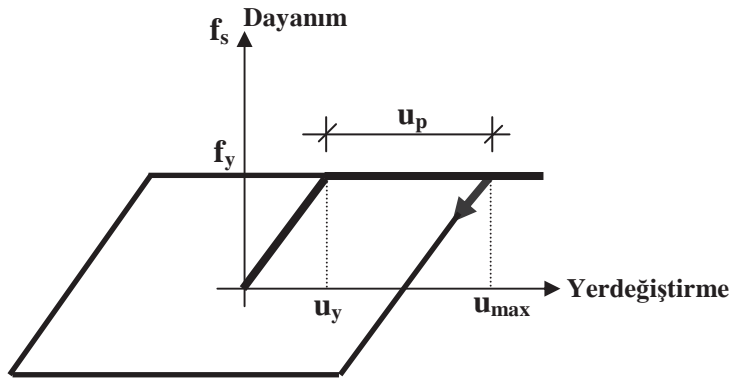
Moment-eğrilik diyagramının ideali Şekil 2.11’de gösterildiği gibi 3 parçalıdır. Elastik rijitlik yerine çatlamış rijitlik dikkate alınarak eğri iki parçalı hale getirilebilir. Akma sonrası rijitliğin çatlamış rijitliğe oranı, $0 < \alpha < 0.1$ alınabilir; Malzeme gerilme-deformasyon ilişkilerine ilişkin çeşitli modeller mevcuttur. En basit haliyle yönetmeliklerce belirlenmiş davranış modelleri de kullanılabilir.



Şekil 2.11. Üç parçalı moment eğrilik diyagramı [10]

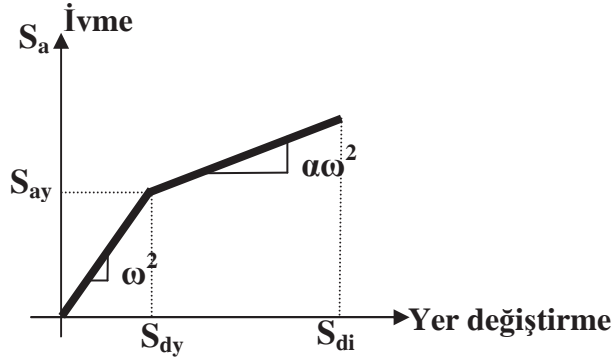
2.5. Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Performans Noktası Hesap Adımları

1) Taban kesme kuvveti- yer değiştirmeye bağlı statik itme (pushover) eğrisi çizilir.



Şekil 2.12. Taban kesme kuvveti- yer değiştirmeye bağlı statik itme (pushover) eğrisi [3]

2) Kapasite (Pushover) eğrisi Spektral ivme ve Spektral yer değiştirmelerle gösterilen kapasite spektrum diyagramına çevrilir.



S_a = Spektral ivme
 S_{ay} = Doğrusal elastik davranış sınırındaki spektral ivme

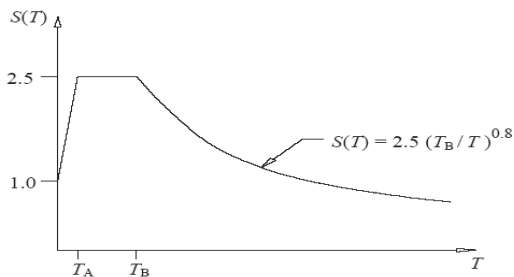
$$S_a = \frac{f_s}{m} \text{ olarak tanımlanır.}$$

S_{dy} = Spektral akma yer değiştirmesi

S_{di} = Maksimum spektral yer değiştirme

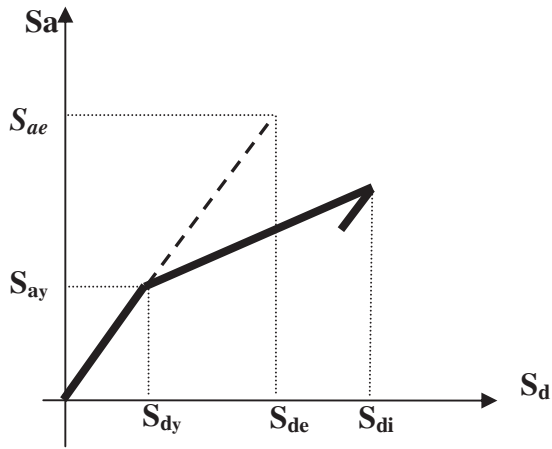
Şekil 2.13. Kapasite spektrum eğrisi [3]

3) Elastik ivme spektrumu tanımlanır



Şekil 2.14. Elastik ivme spektrumu grafiği [8]

4) Dayanım azaltma katsayısı R_y tanımlanır.



S_a = Spektral ivme
 S_{ae} = Elastik spektral ivme
 S_{ay} = Doğrusal elastik davranış sınırındaki spektral ivme
 S_{dy} = Spektral akma yerdeğiştirme
 S_{de} = Maksimum eşlenik lineer yerdeğiştirme
 S_{di} = Maksimum spektral yerdeğiştirme

Şekil 2.15. Spektral ivme – spektral yerdeğiştirme grafiği [2]

$R_y = \frac{S_{ae}}{S_{ay}}$ ve süneklik katsayısı $\mu = \frac{S_{di}}{S_{dy}}$ olarak tanımlanır.

$$\frac{S_{di}}{S_{de}} = \frac{\mu}{R_y} \rightarrow S_{di} = \frac{\mu}{R_y} S_{de} \quad (2.10)$$

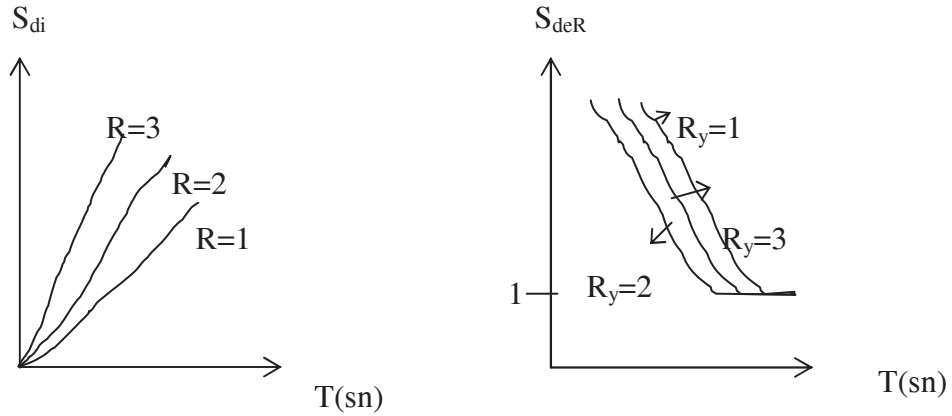
2.10 Denkleminde, $\frac{\mu}{R_y}$ Spektral yer değıştirme büyütme faktörü S_{deR} ile ifade edilir.

5) Spektral yer değıştirme büyütme faktörü S_{deR} aşağıdaki formülle elde edilir [2].

$$S_{deR} = 1 + \frac{(R_y - 1)^2}{300} + \frac{1}{10T^2} \exp\left(-20 \frac{\sqrt{T}}{R_y^2}\right) \quad (2.11)$$

6) $S_{di} = S_{deR} S_{de}$ denklemiyle elastik ötesi maksimum yerdeğiştirme (S_{di}) değeri elde edilir. S_{de} aşağıdaki denklem 2.12 ile hesaplanır. S_{di} , yapının periyoduna, sönüm oranına ve dayanım azaltma katsayısına bağlıdır [2]. $S_{di} = f(T, \xi, R_y)$

$$S_{de} = \frac{S_{ae}}{\omega^2} \quad (2.12)$$

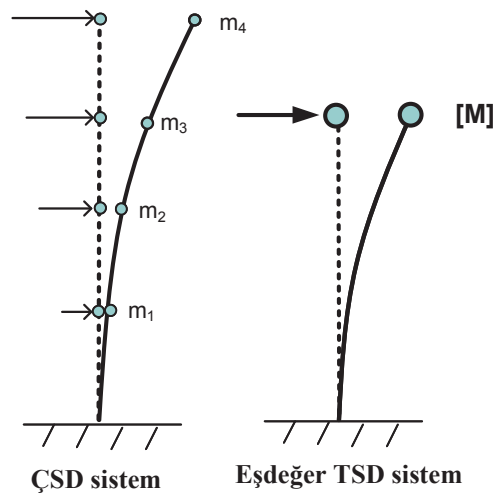


Şekil 2.16. Dayanım azaltma katsayısına bağlı S_{di} ve S_{deR} değerleri [2]

7) Bulunan elastik ötesi maksimum deplasman (S_{di}) değeri ile performans seviyesi belirlenir [2].

2.6. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler

Nonlineer statik itme analizinin güçlü bir teorik dayanağı bulunmamaktadır. Yöntem, çok serbestlik dereceli (ÇSD) yapı sisteminin dinamik davranışını, sistemin birinci doğal titreşim modu ile temsil edilen tek serbestlik dereceli (TSD) eşdeğer sistemin davranışı ile uygun bir histeretik karakterde ilişkilendirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu nedenle ÇSD yapı sisteminin dinamik davranışı tek bir titreşim modu ile kısıtlı olmaktadır.



Şekil 2.17. Çok serbestlik dereceli bir sistemin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme indirgenmesi

Çok Serbestlik bir yapı sisteminin dinamik hareket denklemi aşağıdaki denklem (2.15) de ki gibi verilebilir.

$$[\mathbf{M}] \cdot \ddot{\mathbf{u}}(t) + [\mathbf{C}] \cdot \dot{\mathbf{u}}(t) + \{\mathbf{f}_s(t)\} = -[\mathbf{M}] \cdot [\mathbf{T}_x] \cdot \ddot{\mathbf{u}}_x^g(t) \quad (2.15)$$

Lineer sistemlerde

$$\{\mathbf{f}_s(t)\} = [\mathbf{K}] \cdot \{\mathbf{u}(t)\} \quad (2.16)$$

$$\{\mathbf{u}(t)\} = [\mathbf{K}]^{-1} \cdot \{\mathbf{f}_s(t)\} \quad (2.17)$$

$$\{\mathbf{u}(t)\} = \{\phi_1\} y_1(t) + \{\phi_2\} y_2(t) + \dots + \{\phi_n\} y_n(t) \quad (2.18)$$

'e eşittir.

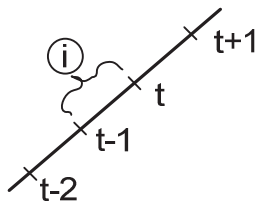
Yapıya ait açılmalık frekans aşağıdaki Denklem (2.19) ile hesaplanabilir.

$$[\mathbf{K}] \cdot \{\phi\} = \omega^2 \cdot [\mathbf{M}] \cdot \{\phi\} \quad (2.19)$$

Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Tek modlu çözümü Denklem (2.20) ile verilebilir.

$$\{\mathbf{u}(t)\} = \{\phi_1\} y_1(t) \quad (2.20)$$

Statik itme analizinde, birbirini izleyen plastik mafsalları oluşumları esnasında yapı sisteminin aşağıdaki Şekil 2.18 'de görüldüğü gibi adım boyunca lineer elastik davranış gösterdiği kabul edilmektedir.



Şekil 2.18. Yapı sisteminin adım boyunca lineer elastik davranış göstermesi kabulünün şematik olarak

(t) Anındaki dinamik hareket bağıntısı, denklem (2.21) de gösterildiği gibidir.

$$[M] \cdot \ddot{u}(t) + [C] \cdot \dot{u}(t) + \{f_s(t)\} = -[M] \cdot [T_x] \cdot \ddot{u}_x^g(t) \quad (2.21)$$

(t-1) anındaki dinamik hareket bağıntısı, denklem (2.22) de gösterildiği gibidir.

$$[M] \cdot \ddot{u}(t-1) + [C] \cdot \dot{u}(t-1) + \{f_s(t-1)\} = -[M] \cdot [T_x] \cdot \ddot{u}_x^g(t-1) \quad (2.22)$$

$$\Delta u = u(t) - u(t-1) \quad (2.23)$$

$$\Delta f_s = f_s(t) - f_s(t-1) \quad (2.24)$$

$$[M] \cdot \Delta \ddot{u} + [C] \cdot \Delta \dot{u} + \{\Delta f_s\} = -[M] \cdot [T_x] \cdot \{\Delta \ddot{u}_x^g\} \quad (2.25)$$

$$\Delta u = \{\Psi\} \cdot \Delta Y \quad (2.26)$$

$$[K^{(i)}] \{\Psi^{(i)}\} = (\omega^{(i)})^2 [M] \{\Psi^{(i)}\} \quad (2.27)$$

Denklem (2.27) teki bağıntı ile açısal frekanslar ve bu frekanslara bağlı olarak anlık mod şekli faktörü (Ψ) bulunur.

(Δf_s) anlık eşdeğer statik kuvvet olmak üzere :

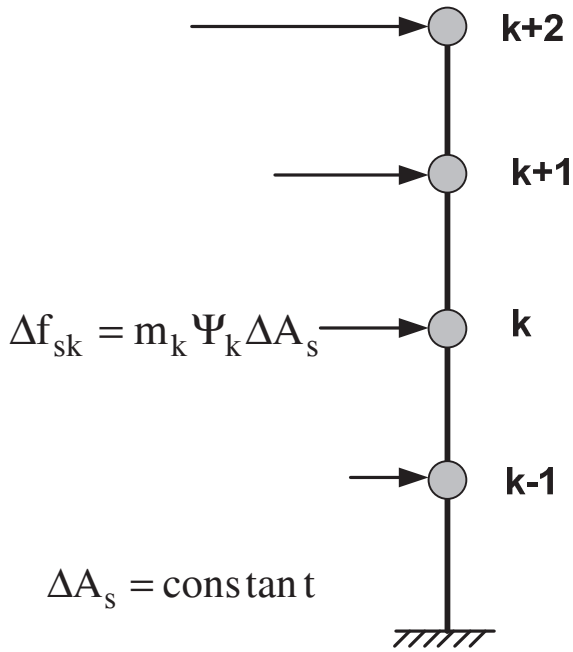
$$\{\Delta f_s\} = [K^{(i)}] \{\Psi^{(i)}\} \cdot \Delta Y \quad (2.28)$$

$$\{\Delta f_s\} = [M] \{\Psi^{(i)}\} \cdot \Delta A_s \quad (2.29)$$

$$\Delta A_s = (\omega^{(i)})^2 \Delta Y \quad (2.30)$$

Burada,

ΔA_s , modal sözde ivmeyi ve ΔY , modal yerdeğiştirme yi göstermektedir.



Şekil 2.19. Katlara gelen eşdeğer statik kuvvetler

Δf_{sk} k. kat eşdeğer statik kuvvet tir.

Taban kesme kuvveti ΔV aşağıdaki denklem (2.31) ile elde edilebilir. Burada T_x dönüşüm matrisini ifade etmektedir.

$$\Delta V = \{T_x\}^T \{\Delta f_s\} = \sum_{k=1}^n \Delta f_{sk} \quad (2.31)$$

$$\Delta V = \{T_x\}^T [M] \cdot \{\Psi^{(i)}\} \cdot \Delta A_s \quad (2.32)$$

$$\Delta V = m^* \cdot \Delta A_s \quad (2.33)$$

(2.18) ve (2.19) denklemlerinin eşitliğinden (2.34) denklemi elde edilir.

$$m^* = \{T_x\}^T [M] \cdot \{\Psi^{(i)}\} \quad (2.34)$$

$$M^* = \{\Psi^{(i)}\}^T [M] \cdot \{\Psi^{(i)}\} \quad (2.35)$$

$$C^* = \{\Psi^{(i)}\}^T [C] \cdot \{\Psi^{(i)}\} \quad (2.36)$$

$$K^* = \{\Psi^{(i)}\}^T [K] \cdot \{\Psi^{(i)}\} \quad (2.37)$$

$$K^* \cdot \Delta Y = \{\Psi^{(i)}\}^T \{\Delta f_s\} \quad (2.38)$$

$$\{\Psi^{(i)}\}^T [M] \cdot \{\Psi^{(i)}\} \cdot \Delta \ddot{Y} + \{\Psi^{(i)}\}^T [C] \cdot \{\Psi^{(i)}\} \cdot \Delta \dot{Y} + \{\Psi^{(i)}\}^T \{\Delta f_s\} = -\{\Psi^{(i)}\}^T [M] \cdot \{T_x\} \cdot \Delta \ddot{u}_x^g(t) \quad (2.39)$$

$$M^* \cdot \Delta \ddot{Y} + C^* \cdot \Delta \dot{Y} + K^* \Delta Y = -m^* \cdot \Delta \ddot{u}_x^g(t) \quad (2.40)$$

$$\Delta \ddot{Y} + \frac{C^*}{M^*} \cdot \Delta \dot{Y} + \omega^2 \Delta Y = -\frac{m^*}{M^*} \cdot \Delta \ddot{u}_x^g(t) \quad (2.41)$$

$$\Delta V = m^* \cdot \Delta A_s \Rightarrow \Delta A_s = \frac{\Delta V}{m^*} \text{ elde edilir.} \quad (2.42)$$

$$\Delta \ddot{Y} + \frac{C^*}{M^*} \cdot \Delta \dot{Y} + \frac{\Delta V}{m^*} = -\frac{m^*}{M^*} \cdot \Delta \ddot{u}_x^g(t) \quad (2.43)$$

$$C^* = 2 \cdot \xi \cdot \omega \cdot M^* \quad (2.44)$$

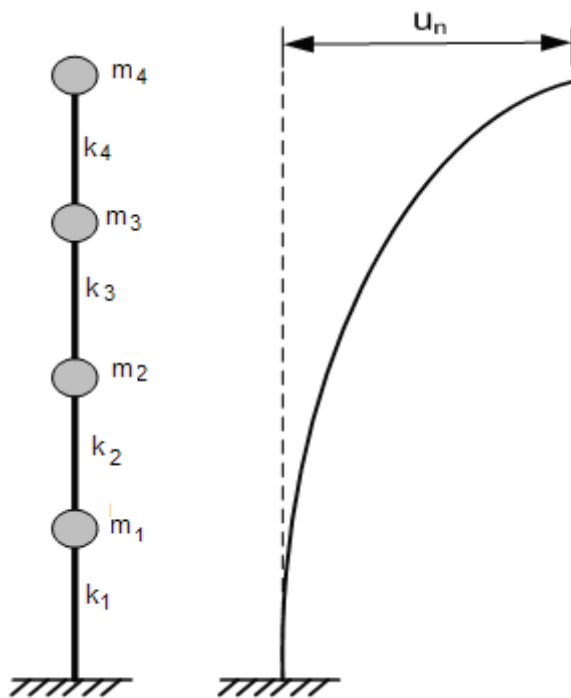
$$\Delta \ddot{Y} + 2\xi\omega \cdot \Delta \dot{Y} + \frac{\Delta V}{m^*} = -\frac{m^*}{M^*} \cdot \Delta \ddot{u}_x^g(t) \quad (2.41) \text{ Denkleminin her iki tarafını } m^* \text{ ile}$$

çarpılırsa:

$$m^* \Delta \ddot{Y} + 2\xi\omega \cdot m^* \cdot \Delta \dot{Y} + \Delta V = -\frac{m^{*2}}{M^*} \cdot \Delta \ddot{u}_x^g(t) \quad (2.45)$$

$c^* = 2 \cdot \xi \cdot \omega \cdot m^*$ olarak gösterilirse

$$m^* \Delta \ddot{Y} + c^* \Delta \dot{Y} + \Delta V = -\frac{m^{*2}}{M^*} \cdot \Delta \ddot{u}_x^g(t) \quad (2.46)$$



Şekil 2.20. Çok serbestlik dereceli bir sistemin yatay yerdeğiştirmesi

$$\Delta u_n = \{\Psi_n^{(i)}\} \cdot \Delta Y \quad \rightarrow \quad \Delta Y = \frac{\Delta u_n}{\Psi_n^{(i)}} \quad (2.47)$$

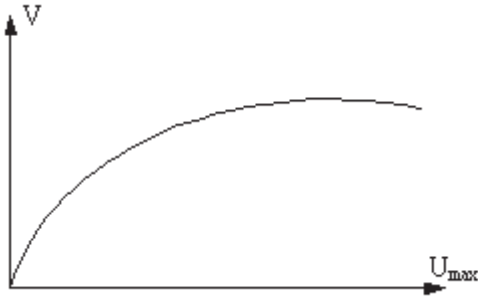
ΔY denklemde yerine konursa:

$$\frac{m^*}{\Psi_n^{(i)}} \Delta \ddot{u}_n + \frac{c^*}{\Psi_n^{(i)}} \Delta \dot{u}_n + \Delta V = -\frac{m^{*2}}{M^*} \cdot \Delta \ddot{u}_x^g(t) \quad (2.48)$$

Genelleştirilmiş hareket denklemi eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme çevrilerek

$$\bar{m}^* \Delta \ddot{u}_n + \bar{c}^* \Delta \dot{u}_n + \Delta V = -\frac{m^{*2}}{M^*} \cdot \Delta \ddot{u}_x^g(t) \quad (2.49)$$

biçiminde yazılabilir. Denklemın çözümü için kapasite eğrisi gerekmektedir. (Şekil 2.21)



Şekil 2.21. Kapasite eğrisi

$$\bar{m}^* \Delta \ddot{u}_n + \bar{c}^* \Delta \dot{u}_n + \Delta V = -\bar{m}^* \cdot \gamma_n \cdot \Delta \ddot{u}_x^g(t) \quad (2.50)$$

burada

$$\gamma_n = \Psi_n^{(i)} \cdot \Gamma \quad (2.51)$$

$$\Gamma = \frac{\{\Psi^{(i)}\}^T [M] \{T_x\}}{\{\Psi^{(i)}\}^T [M] \{\Psi^{(i)}\}} \quad (2.52)$$

Γ : modal kütle çarpanı

2 Boyutlu Sistemler için Tek Mod Kabulü :

M_{eff} : Etkin kütle

$$M_{\text{eff}} = \bar{m}^* \cdot \gamma_n = \frac{(\{\Psi\}^T \cdot [M] \cdot \{T_x\})^2}{\{\Psi\}^T \cdot [M] \cdot \{\Psi\}} \quad (2.53)$$

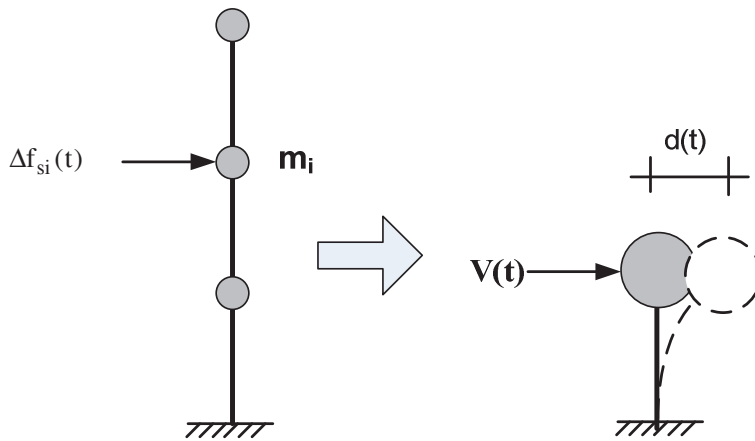
$$M_{\text{eff}} = \frac{(\sum m_i \cdot \Psi_i)^2}{\sum m_i \cdot \Psi_i^2} \quad (2.54)$$

$$\text{Eşdeğer deplasman: } \Delta d(t) = \frac{\Delta u_n}{\gamma_n} \quad (2.55)$$

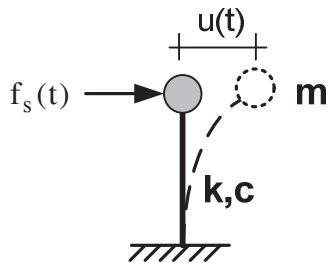
$$\Delta \ddot{d}(t) + \frac{\bar{c}^*}{\bar{m}^*} \Delta \dot{d}(t) + \frac{\Delta V}{\bar{m}^* \cdot \gamma_n} = -\Delta \ddot{u}_x^g(t) \quad (2.56)$$

$$a_s(t) = \frac{\Delta V}{\bar{m}^* \cdot \gamma_n} \quad (2.57)$$

$$\frac{\bar{c}^*}{\bar{m}^*} = 2 \cdot \xi \cdot \omega \quad (2.58)$$



Şekil 2.22. Çok serbestlik dereceli bir sistemin tek serbestlik dereceli sistem eşleniği



Şekil 2.23. Tek serbestlik dereceli bir sistemin matematiksel modeli

$$a_s(t) = \frac{f_s(t)}{m} \quad \text{ve} \quad \frac{c}{m} = 2\xi\omega \quad \rightarrow \quad f_s(t) = k \cdot u(t) \quad (2.59)$$

BÖLÜM 3. TDY 2007'YE GÖRE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

3.1. Giriş

Performansa dayalı deprem mühendisliğinde beklenen fayda sismik performansları belirlenebilen güvenli yapıların inşa edilmesini sağlamaktır. Gerçekte bütün mühendislik boyutlandırmalarının performansa dayalı olduğu söylenebilir. Bilindiği gibi, betonarme taşıyıcı sistem boyutlamasında iki performans seviyesi esas alınır: Kullanma sınır durumu ve taşıma gücü sınır durumu. Birinci performans seviyesinde kullanma durumundaki yükler altında taşıyıcı sistemin hasarın kullanıcıları rahatsız etmeyecek seviyede kalması ve aşırı yer değiştirmelerin meydana gelmemesi istenir. İkinci performans seviyesinde de taşıyıcı sistemin beklenen yüklerin arttırılmış değerleri altında güç tükenmesine gelmeden kabul edilebilir bir güvenliğinin mevcut olması beklenir [4].

Deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım yöntemi, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin belirlenmesi için kullanılır. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür.

Ülkemizde ilk defa bu yönetmelikte “ mevcut binaların değerlendirilmesi ” konusu izah edilmekte ve bu değerlendirmeyle ilgili hesap yöntemleri sunulmaktadır. Bununla birlikte değerlendirme sonucu yetersiz görülen yapılar için güçlendirme yöntemleri de açıklanmaktadır.

3.2. Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların değerlendirilmesi için yapı hakkında yeterli düzeyde bilgi toplanması gerekmektedir. Binalardan bilgi toplanmasında yapılacak işlemler, malzeme özelliklerinin, zemin özelliklerinin, taşıyıcı sistem bilgilerinin, bina geometrisinin ve varsa mevcut binada değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi kapsamındadır [8].

3.2.1. Bilgi düzeyleri

Binaların incelenmesinden elde edilen mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre, her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanmakta ve bu bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Binalar için bilgi düzeyi katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

Sınırlı Bilgi Düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.

Orta Bilgi Düzeyi: 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: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır [8].

3.2.2. Betonarme binalarda sınırlı bilgi düzeyi

Bina Geometrisi: Saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem plan rölövesi çıkarılacaktır. Mimari projeler mevcut ise, rölöve çalışmalarına yardımcı olarak kullanılır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve dolgu duvarlarının her kattaki yerini, eksen açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içermelidir ve binanın hesap modelinin oluşturulması için yeterli olmalıdır. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir.

Eleman Detayları: Betonarme projeler veya uygulama çizimleri mevcut değildir. Betonarme elemanlardaki donatı miktarı ve detaylarının 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 perde ve kolonların %10'unun ve kirişlerin %5'inin pas payları sıyrılarak donatı ve donatı bindirme boyu tespiti yapılacaktır. Sıyırma işlemi kolonların ve kirişlerin uzunluğunun açıklık ortasındaki üçte birlik bölümde yapılmalı, ancak donatı bindirme boyunun tespiti amacıyla en az üç kolonda bindirme bölgelerinde yapılmalıdır. Sıyrılan yüzeyler daha sonra yüksek dayanımlı tamir harcı ile kapatılacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Donatı tespiti yapılan betonarme kolon ve kirişlerde bulunan mevcut donatının minimum donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı, kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak olası donatı miktarları belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Her katta kolonlardan veya perdelerden TS-10465'de belirtilen koşullara uygun şekilde en az iki adet beton örneği (karot) alınarak deney yapılacak ve örneklerden elde edilen en düşük basınç dayanımı mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilecek, bu sınıftaki çeliğin karakteristik akma dayanımı mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu

incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır [8].

3.2.3. 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 rölövesi çıkarılacaktır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve dolgu duvarlarının 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 işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir.

Eleman Detayları: Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut değil ise sınırlı bilgi düzeyi malzeme özelliklerindeki koşulları geçerlidir, ancak pas payları sıyrılarak donatı kontrolü yapılacak, perde, kolon ve kirişlerin sayısı her katta en az ikişer adet olmak üzere o kattaki toplam kolon sayısının %20'sinden ve kiriş sayısının %10'undan az olmayacaktır. Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut ise donatı kontrolü için sınırlı bilgi düzeyi malzeme özelliklerinde belirtilen işlemler, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı 1'den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak olası donatı miktarları belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 9 adetten az olmamak üzere, her 400 m²'den bir

adet beton örneği (karot) TS-10465'de belirtilen koşullara uygun şekilde alınarak deney yapılacaktır. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında örneklerden elde edilen (ortalama-standart sapma) değerleri mevcut beton dayanımı (f_{ck}) olarak alınacaktır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilecek, bu sınıftaki çeliğin karakteristik dayanımı eleman kapasite hesaplarında mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır [8].

3.2.4. 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 sayılacak ve bina orta bilgi düzeyine uygun olarak incelenecektir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Komşu binalarla ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir.

Eleman Detayları: Binanın betonarme detay projeleri mevcuttur. Donatının projeye uygunluğunun kontrolü için orta bilgi düzeyi eleman detaylarında belirtilen işlemler, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı 1'den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak olası donatı miktarları belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 9 adetten az olmamak üzere, her 200 m²'den bir adet beton örneği (karot) TS-10465'de belirtilen koşullara uygun şekilde alınarak deney yapılacaktır. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında, örneklerden elde edilen (ortalama-standart sapma) değerleri mevcut beton dayanımı (f_{ck}) olarak alınacaktır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan inceleme ile tespit edilecek, her sınıftaki çelik için (S220, S420, vb.) birer adet örnek alınarak deney yapılacak, çeliğin akma ve kopma dayanımları ve şekildeğiştirme özellikleri belirlenerek projeye uygunluğu saptanacaktır. Projesine uygun ise, eleman kapasite hesaplarında projede kullanılan çeliğin karakteristik akma dayanımı mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Uygun değil ise, en az üç adet örnek daha alınarak deney yapılacak, elde edilen en elverişsiz değer eleman kapasite hesaplarında mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır [8].

3.3. Kesit, Eleman ve Taşıyıcı Sistem Hasar Sınır ve Bölgeleri

Kesitler davranışlarına göre sünek ve gevrek olarak ayrılırlar. Sünek bir kesitteki iç kuvvet ve şekil değiştirme (örneğin eğilme momenti ve eğrilik) ilişkisi Şekil 3.1' de verilmiştir. Beklendiği gibi ilk bölümde elastik davranışa benzetilebilecek bir davranış ve daha sonra elasto-plastik davranış ortaya çıkar. Bu sınırlar arasında Şekil 3.1'de verilen hasar bölgeleri ortaya çıkar. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu tür bir tanımlama geçerli değildir [5].

Sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır [8]:

- a) Minimum Hasar Sınırı (MN): Kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını tanımlamaktadır. Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları;

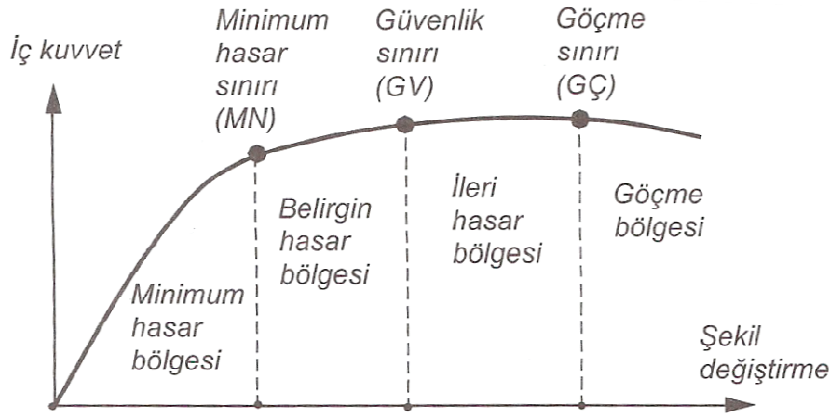
$$(\varepsilon_{cu})_{MN}=0.0035 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{MN}=0.010$$

b) Güvenlik Sınırı (GV): Kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını tanımlamaktadır. Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirilmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirilmesi üst sınırları;

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

d) Göçme Sınırı (GÇ): Kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirilmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirilmesi üst sınırları;

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



Şekil 3.1. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri [5]

3.3.1. Taşıyıcı eleman deprem hasar sınır ve bölgeleri

Deprem etkisindeki taşıyıcı sistemin kolon ve kirişlerinin iki ucu en çok zorlanan bölgeleridir. İkincil olan (deprem etkisinin karşılanmasında yer almayan) kirişler bu değerlendirmede göz önüne alınmaz. Bir elemanın kesitlerinden daha ileri hasar bölgesinde bulunanı, elemanın hasar bölgesini tanımladığı kabul edilir. Bunun gibi perdelerin de en çok zorlanan (genellikle mesnet) kesitlerinin hasar bölgesi, perdenin hasar bölgesi olarak kabul edilir. Eleman hasar durumlarından kat hasar durumu elde edilir. Kesitlerinden birisi gevrek olan eleman gevrek olarak tanımlanır [5].

3.4. Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Yöntemleri İle Belirlenmesi

Binaların deprem performansının belirlenmesinde doğrusal hesap yöntemi ile belirlenmesinde eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemi olmak üzere iki tip yükleme biçimi kullanılmaktadır. Eleman hasar durumları yapı elemanlarının kapasitelerine ve kesitlerin sürekliliğine bağlı olarak belirlenir [8].

3.4.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Eşdeğer deprem yükünün uygulanabilmesi için yapının bodrum üzerindeki toplam yüksekliğinin 25 metreyi, toplam kat sayısının ise 8 katı aşmaması gerekir. Burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} \leq 1.4$ şartını sağlamalıdır. Yapıya etkiyen deprem denklem 2.5 ile tanımlanmıştır. Burada λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 ve $R_a=1$ alınır [8].

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \lambda \geq 0.10A_0IW \quad (3.1)$$

3.4.2. Mod birleştirme yöntemi

Mod birleştirme yöntemiyle ilgili yönetmelikte herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönüyle uyumlu eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesabında, bu doğrultuda hakim olan mod da elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınacaktır. Mod birleştirme yönteminde kullanılan elastik spektral ivme Denklem (3.2) de tanımlanmıştır.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (3.2)$$

Denkleminde $R_a=1$ alınmalıdır [8].

3.4.3. Yapı elemanlarının hasar düzeylerinin belirlenmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile betonarme sünek elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesinde kiriş, kolon ve perde elemanlarının ve güçlendirilmiş dolgu duvarı kesitlerinin etki/kapasite oranları (r) olarak ifade edilen sayısal değerler kullanılacaktır. Betonarme elemanlar, kırılma türü eğilme ise “sünek”, kesme ise “gevrek” olarak sınıflanırlar.

Kolon, kiriş ve perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmeleri için bu elemanların kritik kesitlerinde eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanan kesme kuvveti V_e 'nin, tanımlanan bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak TS-500'e [12] göre hesaplanan kesme kapasitesi V_r 'yi aşmaması gereklidir. Kolon, kiriş ve perdelerde V_e 'nin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılacaktır. Düşey yükler ile birlikte $R_a=1$ alınarak depremden hesaplanan toplam kesme kuvvetinin V_e 'den küçük olması durumunda ise V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılacaktır.

Yukarıda verilen sünek eleman koşullarını sağlamayan betonarme elemanlar, gevrek olarak hasar gören elemanlar olarak tanımlanacaktır.

Sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranı, deprem etkisi altında $R_a = 1$ alınarak hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Etki/kapasite oranının hesabında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınacaktır.

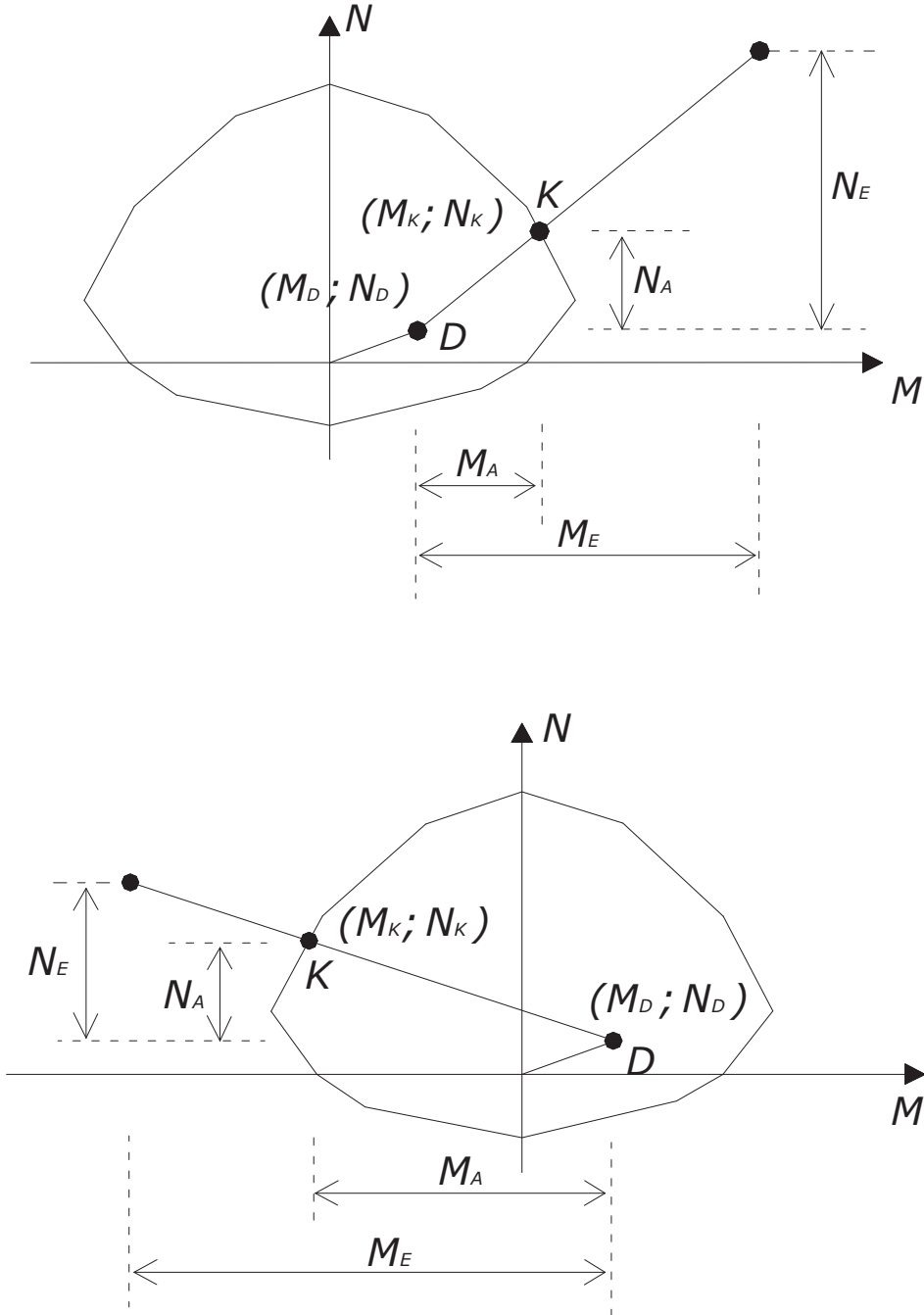
Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır.

$$M_A = M_K - M_D \quad (3.3)$$

$$r = \frac{M_E}{M_K} \quad (3.4)$$

Kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranlarının hesabında herhangi bir kolon veya perde kesitinin doğrusallaştırılan moment–eksenel kuvvet etkileşim diyagramı

Şekil 3.2' de görülmektedir. Şekildeki D noktasının koordinatları, düşey yüklerden meydana gelen M_D-N_D çiftine karşı gelmektedir. D noktasından başlayan ve etkileşim diyagramının dışına çıkan ikinci doğru parçasının yatay ve düşey izdüşümleri ise, $R_a = 1$ için deprem hesabından elde edilen ve depremin yönü ile uyumlu olan M_E-N_E çiftine karşı gelmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Kolon moment kapasitesinin hesabı

M_E 'nin işaretlerinin farklı olduğu iki durumda Şekil 3.2' de ayrı ayrı gösterilmiştir. İkinci doğru parçasının etkileşim diyagramını kestiği K noktasının koordinatları, kolon veya perde kesitinin M_K moment kapasitesi ve buna karşı gelen N_K eksenel kuvvetidir. Artık moment kapasitesi M_A ve buna karşı gelen eksenel kuvvet N_A Denklem (3.5) ve (3.6) ile tanımlanmıştır.

$$M_A = M_K - M_D \quad (3.5)$$

$$N_A = N_K - N_D \quad (3.6)$$

Kolon veya perdenin etki/kapasite oranı ise şu şekilde tanımlanabilir:

$$r = \frac{M_E}{M_K} = \frac{N_E}{N_A} \leq r_s \quad (3.7)$$

Burada r_s , etki/kapasite oranlarının sınır değerlerini ifade etmektedir. Şekil 3.3'deki K kesişme noktasının koordinatları olan M_K veya N_K 'nin geometrik veya sayısal olarak elde edilmesi durumunda, düşey yük hesabından M_D veya N_D , deprem hesabından ise M_E veya N_E bilindiğine göre, Denklem 3.7'den yararlanılarak kesitin eğilme ve eksenel kuvvet altındaki etki/kapasite oranı doğrudan hesaplanabilir.

Sarıma bölgesindeki enine donatı koşulları bakımından DBYBHY'07 [8] bölüm 3.3.4'ü sağlayan betonarme kolonlar, 3.4.4'ü sağlayan betonarme kirişler ve uç bölgelerinde 3.6.5.2'yi sağlayan betonarme perdeler "sargılanmış", sağlamayanlar ise "sargılanmamış" eleman sayılır. "Sargılanmış" sayılan elemanlarda sargı donatılarının 3.2.8'e göre "özel deprem etriyeleri ve çirozları" olarak düzenlenmiş olması ve donatı aralıklarının yukarıda belirtilen maddelerde tanımlanan koşullara uyması zorunludur.

Hesaplanan etki/kapasite oranları (r), Tablo 3.2'de Tablo 3.3'de Tablo 3.4'de verilen sınır değerler (r_s) ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilecektir. Tablolardaki ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır [8].

Tablo 3.2. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs)

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d f_{ct}}$	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

Tablo 3.3. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N}{A_c f_c}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d f_{ct}}$	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

Tablo 3.4. Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (rs)

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

3.4.4. Göreli kat ötelemelerinin kontrolü

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 3.5’de verilen değeri aşmayacaktır. Aksi durumda Deprem Yönetmeliği 7.5.2’de yapılan hasar değerlendirmeleri göz önüne alınmayacaktır. Tablo 3.5’de δ_{ji} i’inci katta j’inci kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasında yerdeğiştirme farkı olarak hesaplanan göreli kat ötelemesini, h_{ji} ise ilgili elemanın yüksekliğini göstermektedir [8].

Tablo 3.5. Göreli kat ötelemesi sınırları

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
δ_{ji} / h_{ji}	0.01	0.03	0.04

3.5. Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemleri İle Belirlenmesi

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

Doğrusal olmayan analiz yöntemleri, yapıların göçme anına kadar olan davranışına dair oldukça yaklaşık sonuçlar vermektedir. Ayrıca deprem etkisinde binanın davranışı ile ilgili mekanizma durumlarını gösterecek sonuçlar sunabildiği için gerçekçi çözümler üretilmesine olanak tanır.

DBYBHY'07 [8] kapsamında yer alan üç tip doğrusal olmayan analiz yöntemi vardır. Bunlar; Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir. İlk iki yöntem, yönetmelikte doğrusal olmayan deprem performansının belirlenmesi ve güçlendirme hesapları için temel alınan Artımsal İtme Analizi'nde kullanılacak olan yöntemlerdir.

3.5.1. Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek yol

Artımsal İtme Analizi kullanılarak yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesinde izlenecek adımlar aşağıda özetlenmiştir.

a) Deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi ve analiz modelinin oluşturulması için yönetmelikte doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesinde tanımlanan kurallara uyulacaktır.

b) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılacaktır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınacaktır.

c) Artımsal itme analizinin Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılması durumunda, koordinatları “modal yerdeğiştirme-modal ivme” olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilecektir. Bu diyagram ile birlikte, DBYBHY'07 2.4'te tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde DBYBHY'07 7.8'de yapılan değişiklikler göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenecektir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

d) Artımsal itme analizinin Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılması durumunda, göz önüne alınan bütün modlara ait “modal kapasite diyagramları” ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de elde edilecek, bunlara bağlı olarak taşıyıcı

sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

e) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve DBYBHY'07 7.6.8'e göre toplam eğrilik istemleri elde edilecektir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanacaktır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için DBYBHY'07 7.6.9'da tanımlanan betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır. Ayrıca, güçlendirilen dolgu duvarlarında görelî kat ötelemeleri cinsinden hesaplanan şekildeğiştirme istemleri, DBYBHY'07 7.6.10'da tanımlanan güçlendirilen dolgu duvarlarının şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılacaktır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, DBYBHY'07 7.6.11'de tanımlanan betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesme kuvveti kapasiteleriyle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

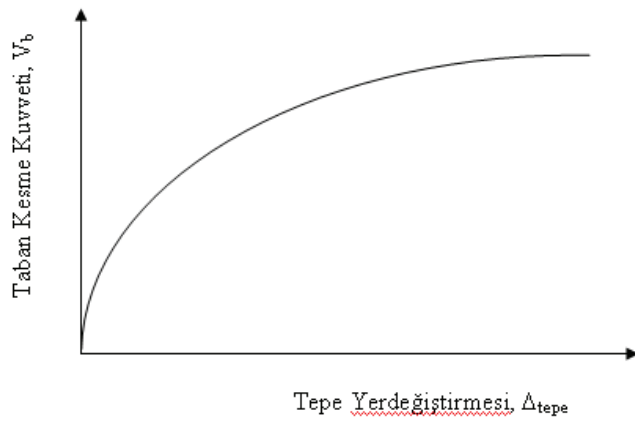
3.5.2. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

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

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlilik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca göz önüne

alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina külesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir.



Şekil 3.3. İtme eğrisi [5]

Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Bu sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları “tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti” olan itme eğrisi elde edilecektir (Şekil 3.3). Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, göz önüne alınan x deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirme. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, koordinatları “modal yerdeğiştirme – modal ivme” olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

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

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (3.10)$$

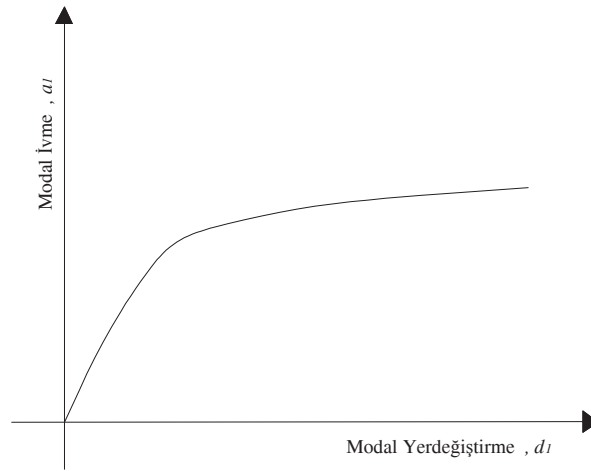
(i)'inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal yer değiştirme $d_1^{(i)}$ 'nin hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir:

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

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

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (3.12)$$

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte birinci moda karşılık ait maksimum modal yerdeğiştirme hesaplanır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Modal kapasite diyagramı [5]

Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} 'e eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (3.13)$$

Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$

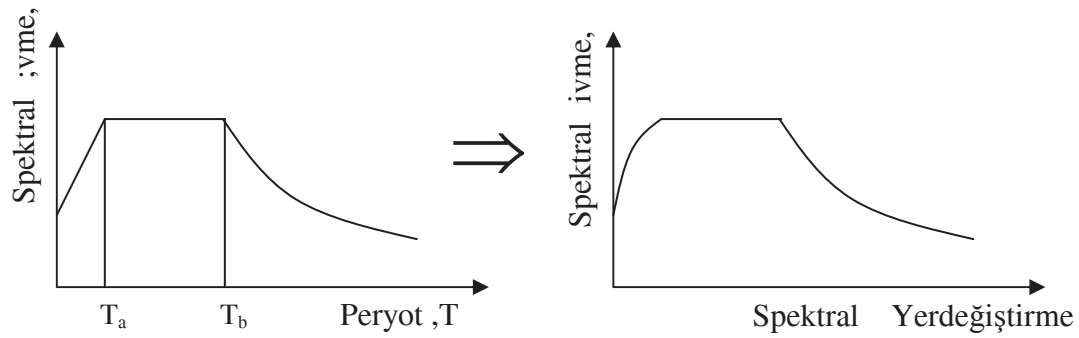
başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak elde edilir.

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (3.14)$$

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

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (3.15)$$

$$S_{ae1} = S_{de1} (\omega_1^{(1)})^2 \quad (3.16)$$



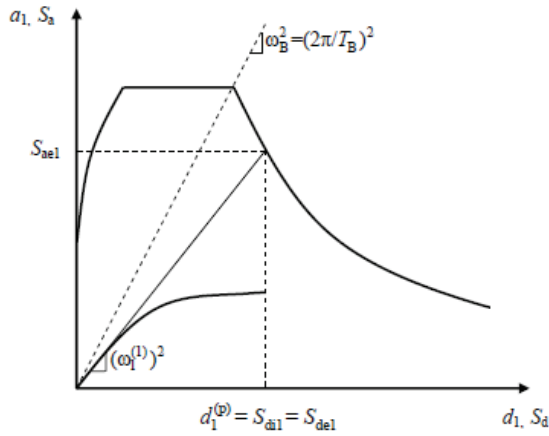
Şekil 3.5. Periyot koordinatlı talep spektrumunun spektral yerdeğiştirme koordinatına dönüştürülmesi

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$);

Bu duruma karşı gelen elastik yerdeğiştirmenin plastik yerdeğiştirmeye eşit olacağı kabulü yapılmıştır. Bu nedenle C_{R1} katsayısı 1'e eşittir.

$$C_{R1} = 1 \quad (3.17)$$

Hedef spektral deplasman değeri $d_1^{(p)}$ bulunduktan sonra, denklem (3.14) yardımıyla hedef deplasman değeri elde edilir. Bu deplasman değeri üst sınır alınarak itme analizinin yenilenmesi sonucu eleman kesitlerinde oluşan hasar tipleri ve kat bazındaki dağılımları tespit edilir.



Şekil 3.6. T1(1) başlangıç periyodunun TB'den büyük olması durumu

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$);

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun T_B 'den küçük olduğu durumda Şekil 3.12'de görülen a_{y1} esas alınarak C_{R1} aşağıda denklem 4.11'de verildiği şekilde tanımlanır.

C_{R1} ardışık yaklaşım yapılarak bulunacaktır. Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1}=1$ kabulü yapılır. Denklem 3.19'da T_1 istemin birinci periyodunu ve R_{y1} bu moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi hedef performans noktası bulunduktan sonra bu eğrinin Eşit Alanlar Kuralı ile doğrusallaştırılması ve buradan elde edilecek a_{y1} , R_{y1} , C_{R1} değerlerinin hesap edilmesi gerekir.

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (3.17)$$

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (3.18)$$

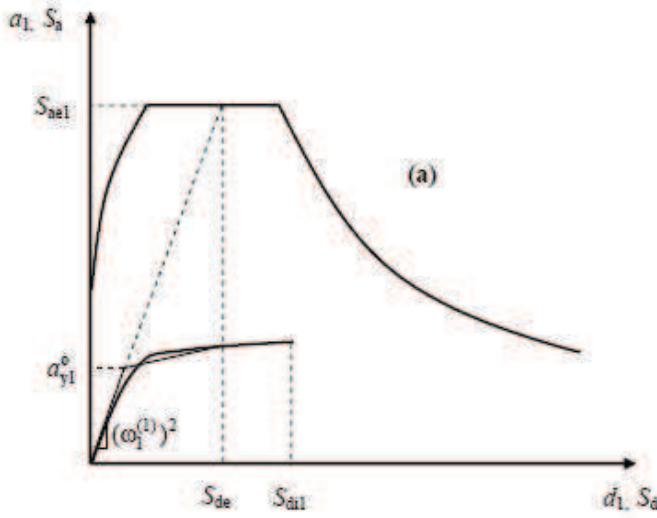
$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (3.19)$$

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (3.20)$$

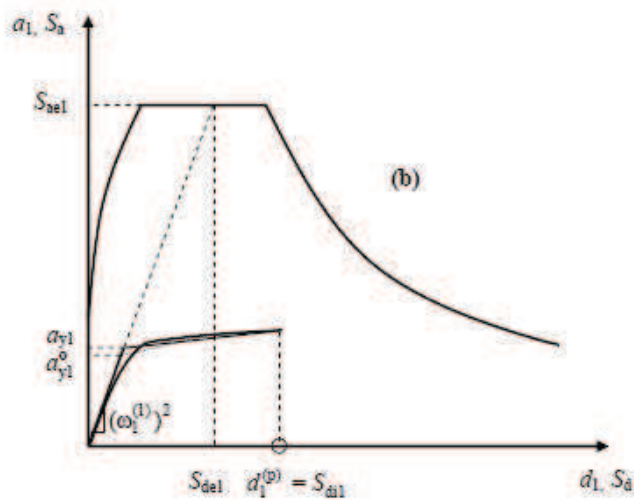
Son itme adımı $i = p$ için deprem doğrultusundaki tepe yer değiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir:

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (3.21)$$

Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yer değiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilecek veya tepe yer değiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile hesaplanacaktır [8].



Şekil 3.7. T1(1) başlangıç periyodunun TB'den küçük olması durumu



Şekil 3.8. T1(1) başlangıç periyodunun TB'den küçük olması durumu

3.5.3. Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım artırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yer değiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'nin artımsal olarak uygulanmasıdır. Ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında, taşıyıcı sistemde “adım adım doğrusal elastik” davranış esas alınır.

3.5.4. Betonarme elemanların kesit birim şekil değiştirme kapasiteleri

Artımsal itme analizi veya zaman tanım alanında hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak *plastik eğrilik istemi*, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{l_p} \quad (3.22)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki aksenal kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y *eşdeğer akma eğriliği*, denklem (2.11) ile tanımlanan ϕ_p plastik eğriliğe eklenerek, kesitteki ϕ_t *toplam eğrilik* elde edilecektir:

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.23)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekil değiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemi, denklem (3.23) ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanacaktır.

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır:

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

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.004 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (3.24)$$

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

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (3.25)$$

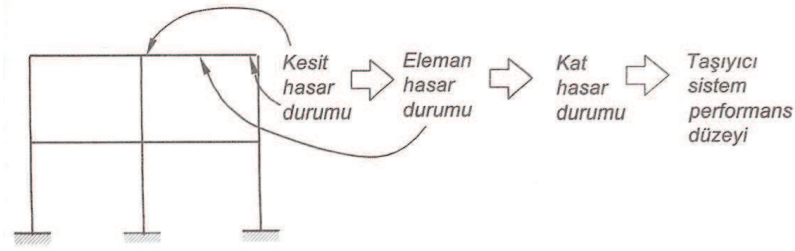
(c) Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.013 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (3.26)$$

Eleman hasar sınırlarından bağımsız olarak, tüm betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının gevrek kırılma kontrollerinde kullanılacak kesme kuvveti dayanımları TS-500'e göre belirlenecektir. Kesme kuvveti dayanımı hesabında, bilgi düzeylerine göre belirlenen mevcut dayanım değerleri kullanılacaktır. Alt bölümlerde doğrusal olmayan iki yöntem için genel hesap adımları özetlenmiştir[8].

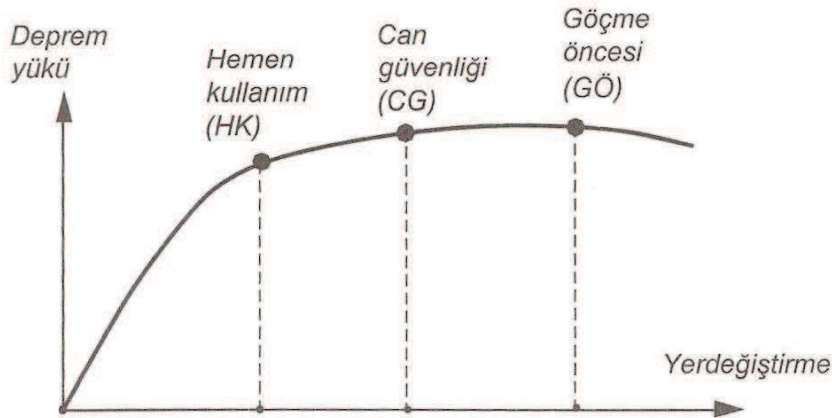
3.6. Taşıyıcı Sistemin Deprem Performans Düzeyleri

Deprem etkisindeki taşıyıcı sistemin davranışı, Şekil 3.10'daki gibi örneğin en üst kat yer değiştirmesi ve toplam deprem taban kesme kuvveti arasında çizilecek eğri ile yorumlanabilir. Bu değişim Şekil 3.1'de kesit davranışı verilen eğriye benzer olup, sadece tüm taşıyıcı sistem için elde edilmiştir. Benzer şekilde elastik davranışa benzetilebilecek ilk bölümden sonra elasto-plastik davranışı simgeleyen bir bölüm ortaya çıkar. Bu eğri üzerinde elastik ötesi davranışın (elasto-plastik şekil değiştirmeye) belirgin başlangıcına ve sınırlı hasara karşı geldiği için, Hemen Kullanım Performans Düzeyi (HK) olarak isimlendirilir. Büyük yerdeğiştirmelerden sonra dış statik deprem yükünün azalmaya yüz tutması taşıyıcı sistemde güç



Şekil 3.9. Hasar durumlarından bina (taşıyıcı sistem) performans düzeyine geçiş [5]

tükenmesinin ortaya çıkmasına işaret eder ve Göçme Öncesi Performans Düzeyi (GÖ) olarak bilinir. Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG) taşıyıcı sistemin sınırlı elastik ötesi şekil değiştirmelerle yatay yük kapasitesini güvenli olarak karşılayabileceği sınırı olarak tanımlanır [5].



Şekil 3.10. Taşıyıcı sistem (bina) performans düzeyleri [5]

Taşıyıcı sistem için bu sınırların matematiksel olarak tanımlanması kolay değildir. Kesit hasar sınırlarından eleman hasar sınırları elde edildiği gibi, eleman hasar sınırlarından taşıyıcı sistem performans düzeyleri tanımlanır. Değerlendirmenin binanın her iki doğrultusu için ve her katta ayrı ayrı yapılması gerekir. Yönetmelikte verilen tanımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir (Şekil 3.10):

Hemen Kullanım Performans Düzeyi (Fully Operational), HK: Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için yapılan değerlendirmede kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'nde bulunabilir. Ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Minimum Hasar Bölgesi'nde kalmalıdır. Varsa gevrek elemanların sünek

duruma getirilmesi şartı ile bu durumdaki bina Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

Hemen kullanım durumunda binada küçük elasto-plastik şekil değiştirmelere izin verilmektedir. Taşıyıcı sistemin ana elemanı olarak kabul edilebilecek olan kolon ve perdelerin en düşük hasar seviyesinde kalması öngörülürken, kirişlerde belirli oranın bir üst hasar seviyesine geçmesine izin verilmektedir. Gevrek hiçbir elemanın kabul edilmemesi uygulamada sağlanması oldukça zor bir şart olarak ortaya çıkabilir.

Can Güvenliği Performans Düzeyi (Life Safety), CG: Varsa gevrek elemanların sünek duruma getirilmesi şartı ile aşağıdaki koşulları sağlayan bina Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde kabul edilir:

- a. Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için, yapılan değerlendirmede ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30' u ve kolonların aşağıda (b) de tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi' ne geçebilir.
- b. İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında kalmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, ilgili 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 kuvvetine oranının %30' u aşmaması gerekir. (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst birleşim bölgesinde her ikisinde birden yönetmelikte verilen güçlü kolon şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmez).

Hasar durumu kirişlerde oran olarak verilirken, kolonlarda kolon kesme kuvvetine bağlı olarak verilmesi, önemli ve daha önemli kolonların ayrılabilmesi bakımından dikkat çekicidir. En üst katın, taşıyıcı sistemin kararlılığındaki daha az etkili

durumunun da, oran %20 den %40 a arttırılarak dile getirildiği görülmektedir. Ayrıca kolonun iki ucunun da hasar bölgesine erişmesi anlamlı bir şekilde olumsuz bir durum olarak kabul edilmektedir. Benzer şekilde güçlü kolon kavramının olumlu yanının ortaya çıkarıldığı görülmektedir.

Göçmenin Öncesi Performans Düzeyi (Near Collapse), GÖ: 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, göz önüne alınan deprem doğrultusu için, yapılan değerlendirmede, 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, ilgili kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30' u aşmaması gerekir(Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst birleşim bölgesinde her ikisinde birden yönetmelikte verilen güçlü kolon şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmez).
- c. Binanın mevcut durumda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

Sünek elemanlar için Şekil 3.10'da olduğu gibi çeşitli hasar durumları tanımlanırken, gevrek elemanların taşıma güçlerine eriştikten sonra doğrudan göçme duruma geldiği kabul edilmektedir. Burada da hasar durumu kirişlerde oran olarak verilirken, kolonlarda kolon kesme kuvvetine bağlı olarak verilmektedir. Ayrıca kolonun iki ucunun da hasar bölgesine erişmesi olumsuz ve güçlü kolon kavramının sağlanması olumlu bir durum olarak kabul edilmektedir.

Göçme Durumu (Collapse): Bina göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır [5].

3.7. Deprem Etkisi

Mevcut binaların deprem güvenlik ve performanslarının değerlendirilmesinde göz önüne alınmak üzere, Tablo 3.6' da verilen üç farklı deprem etkisi tanımlanmıştır. Tablodaki Tasarım Depremi, bina önem katsayısı $I=1$ olan yeni konut binaları için göz önüne alınan deprem etkisine karşı gelmektedir. Bunun yanında En Büyük Deprem' in yeni projelendirilen toplumsal önemli binalar için göz önüne alınan deprem etkisine belirli bir yaklaşıla karşı geldiği söylenebilir. Yeni binalarda bu deprem etkisi bina önem katsayısının $I=1,5$ seçilmesi ile oluşturulur. Kullanım depremi yeni bir etki olarak görülebilir. Dönüş periyotları incelendiğinde kullanım depremi binanın ömrü boyunca maruz kalabileceği bir deprem olarak kabul edilebilir. Tasarım depremi ise, binanın ömrü boyunca maruz kalma ihtimali düşük bir etkidir. Buna karşılık en büyük deprem ise, binanın ömrü boyunca maruz kalma ihtimali çok düşük bir etki olarak kabul edilebilir. Yönetmelikte diğer iki depremin spektrumu, tasarım depremine bağlı olarak yaklaşık olarak verilmiştir. Yakın gelecekte bu depremler için de, tasarım depremin de olduğu gibi haritaların geliştirilmesi beklenilir [5].

Tablo 3.6. Deprem etkisi parametreleri [5]

Deprem Türü	Deprem Etkisi Katsayısı	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu
Kullanım Depremi	~0.50	%50	72 yıl
Tasarım Depremi	1.00	%10	474 yıl
En Büyük Deprem	~1.50	%2	2475 yıl

3.8. Binalar İçin Performans Hedefleri

Tablo 3.6' da verilen deprem etkileri altında binalarda sağlanması gerekli performans hedefleri Tablo 3.7' de verilmiştir. Bu tablo yeni tasarımı yapılacak binalar için söz konusu olan bina önem katsayısı tablosuna benzerdir. Yeni binalar için bina önem katsayısı ile karşılanması öngörülen deprem etkisi arttırılır. Mevcut binalarda ise, Tablo 3.7' de verildiği gibi, binanın kullanım amacı ve türü ile deprem etkisine bağlı olarak binanın sağlanması gereken performans hedefi öngörülmektedir [5].

Tablo 3.7. Binalar için hedeflenen deprem performans hedefleri [5]

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem 50 Yılda Aşılma Olasılığı		
	%50	%10	%2
Deprem sonrası hemen kullanımı gereken binalar Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, afet yönetim merkezleri, vb	-	HK	CG
İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar ve müzeler 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, vb	HK	CG	-
Tehlikeli madde içeren binalar Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar, vb	-	HK	GÖ
Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar(konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, bina türü endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

Deprem Yönetmeliği'nde mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesinin performans kavramına dayalı yapılması öngörülmüştür. Performansa dayalı değerlendirmede, binada değişik deprem etkilerinde değişik performans seviyesinin incelenmesi, Tablo 3.7'de görüldüğü gibi, söz konusudur.

Değerlendirilecek veya güçlendirildikten sonra yeterliliğine karar verilecek binalar ile ilgili deprem performansı belirleme çalışmaları düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkisi altında incelenir. Performans seviyesi, depremden sonra binada meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür. Binanın deprem performansı, taşıyıcı sistem elemanlarının (kiriş, kolon ve perde) deprem hasar seviyesinin bir bütünü olarak ifade edilebilir. Kesitin hasar durumunun belirlenmesi, çözüm neticesinde elde edilecek iç kuvvetler veya şekil değiştirmelerin, yönetmelikte tanımlanan sınır değerlerle karşılaştırılmasıyla yapılır. Bir taşıyıcı sistem elemanlarının hasar durumu, bu elemanın depremde en çok zorlandığı kabul edilen ve doğrusal olmayan şekil değiştirmenin ortaya çıkması beklenen kesitlerin hasar durumları değerlendirilerek tanımlanır [5].

3.9. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

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

1) Deprem etkisinin tanımında, DBYBHY'07 2.4'de verilen elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacak, ancak farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde DBYBHY'07 7.8'e göre yapılan değişiklikler göz önüne alınacaktır. Deprem hesabında DBYBHY'07 2.4.2'de tanımlanan Bina Önem Katsayısı uygulanmayacaktır.

2) Binaların deprem performansı, yapıya etkileyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirilecektir. Hareketli düşey yükler, DBYBHY'07 7.4.7'ye göre deprem hesabında göz önüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanacaktır.

- 3) Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.
- 4) Deprem hesabında kullanılacak zemin parametreleri DBYBHY'07 Bölüm 6'ya göre belirlenecektir.
- 5) Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem etkileri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeleri hesaplamak için yeterli doğrulukta hazırlanacaktır.
- 6) Deprem hesabında göz önüne alınacak kat ağırlıkları DBYBHY'07 2.7.1.2'ye göre hesaplanacak, kat kütleleri kat ağırlıkları ile uyumlu olarak tanımlanacaktır.
- 7) Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak, ayrıca ek dışmerkezlik uygulanmayacaktır.
- 8) Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, binadan derlenen verilerin kapsamına göre DBYBHY'07 7,2'de tanımlanan bilgi düzeyi katsayıları aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılacaktır.
- 9) DBYBHY'07 3.3.8'e göre kısa kolon olarak tanımlanan kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanacaktır.
- 10) Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanmasına ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir:
 - a) Analizde beton ve donatı çeliğinin DBYBHY'07 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınacaktır.
 - b) Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi ise 0.01 alınabilir.

c) Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemlili diyagramlar olarak modellenebilir.

11) Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.

12) Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır:

(a) Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

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

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

Eksenel basınç kuvveti N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. N_D , deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin gözönüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait $(EI)_o$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenecektir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, yukarıda belirtildiği şekilde elde edilen etkin eğilme rijitliği $(EI)_e$ kullanılarak, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılacaktır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılacaktır.

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

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

15) Zemindeki şekil değiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılacaktır.

16) DBYBHY'07 Bölüm 2'deki modelleme esasları geçerlidir [8].

BÖLÜM 4. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZ)

4.1. Giriş

Bu bölümde yapıların performansının belirlenmesi için uygulanacak olan statik-itme (pushover) analiz yönteminin esasları ve gerekli analitik işlemler açıklanmıştır.

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır (Bkz Bölüm 3.6.). Gerçekte deprem etkilerine maruz kalmış binaların hasar durumlarının belirlenmesi için de aynı performans tanımları kullanılabilir.

Seçilen performans seviyesi esas alınarak taşıyıcı sistemde kuvvet dağılımının ve yer değiştirmenin yapılması için gereken işlemlerin tümü bu bölümde yer almaktadır. Binalar için deprem performansı hesaplama yöntemleri, doğrusal elastik yöntemler (lineer elastik) doğrusal olmayan yöntemler (nonlineer, inelastik) gibi analiz metotları kullanılmaktadır.

Doğrusal elastik yöntemlerde; yapının elastik kapasitesini ve ilk akmanın nerede olacağını iyi bir şekilde göstermesine karşı mekanizma durumlarının ve akma sırasında kuvvet dağılımını tahmin edemez. Kabul edilen deprem etkisi altında sistemin elastik davranması öngörülüyorsa sonuçlar kabul edilebilir.

Mevcut yapıların deprem etkisi altında değerlendirilmesinde ve güçlendirme analizlerinde kullanılacak doğrusal elastik olmayan (nonlineer) hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem etkisi altında sünek eğilme davranışına ait plastik şekildeğişirmelerin ve gevrek davranış modlarındaki iç kuvvetlerin hesaplanmasıdır. Bu yöntemlerde, yapının göçme anına kadar davranışını ve yıkılma durumundaki mod şeklinin gerçekte nasıl olacağını çok büyük bir yaklaşıklıkla gösterir,

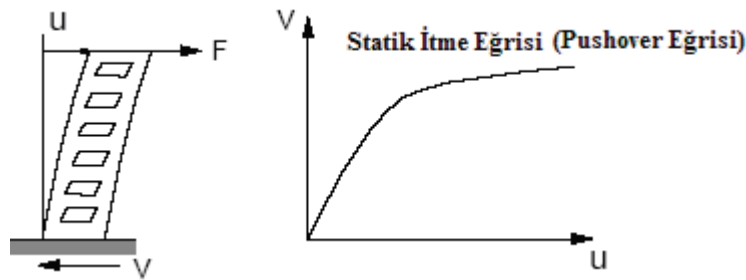
mühendise binanın deprem anındaki davranışı hakkında fikirler verir, esnek yorum imkanı sağlar.

Deprem performansı hesaplama yöntemleri:

1. Doğrusal Elastik Yöntemler
 1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
 2. Mod Birleştirme Yöntemi
 3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi
2. Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Yöntemler
 1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (Statik İtme-Pushover Analizi)
 2. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
 3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

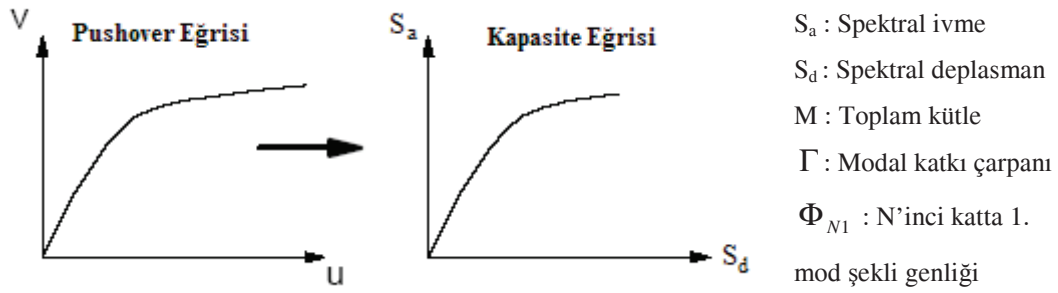
4.2. Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri

Performansa dayalı tasarımda kullanılan analizler, performans noktasının veya hedef deplasmanın kullanarak yapının genel cevabının ve eleman deformasyonlarının, bina performans amaçları doğrultusunda sınır durumlar için karşılaştırılmasını sağlamaktadır. Yapısal çözümlemede kullanılan analitik işlemleri algoritma halinde aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 4.1. Statik itme eğrisinin elde edilmesi [6]

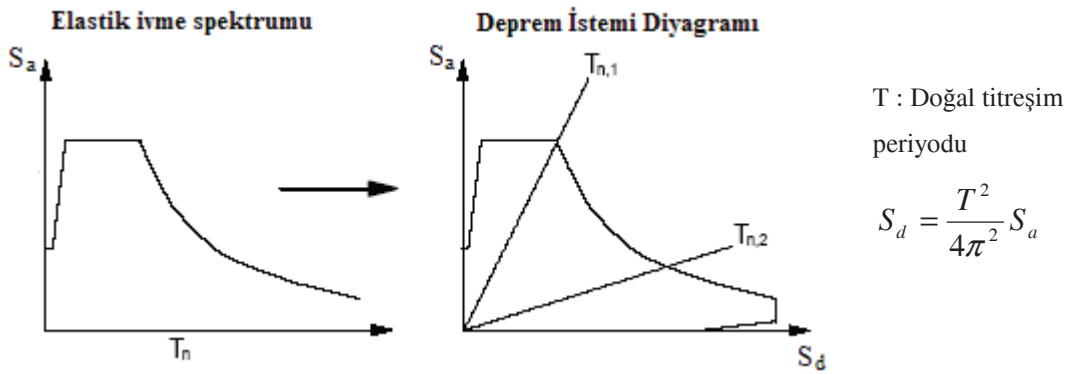
- V : Toplam taban kesme kuvveti
- U : Yapı tepe noktası deplasmanı
- F : Yanal dış yük



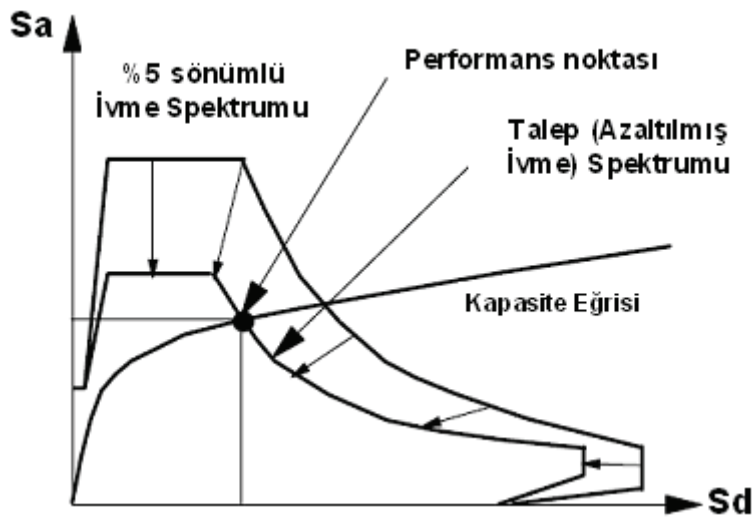
Şekil 4.2. Statik itme eğrisinin kapasite eğrisine dönüştürülmesi

Pushover eğrisinin kapasite eğrisine çevrilmesinde ifadelerinden yararlanılır.

$$S_a = \frac{V}{M}, S_d = \frac{U}{\Phi_{N1}\Gamma_1}$$



Şekil 4.3. İvme-Periyot (S_a - T , AD) formatındaki mukabele spektrumunun İvme-Deplasman (S_a - S_d),



Şekil 4.4. Yerdeğiştirme talebinin (performans noktası) belirlenmesi [6]

Performansa dayalı tasarımda kullanılan talep ve kapasite olmak üzere iki anahtar eleman vardır. Talep (İstem, Karşılık), deprem hareketinin göstergesidir. Kapasite, yapının deprem talebine karşılık verebilme yeteneğinin göstergesidir. Performans, kapasitenin talebe karşılık verebilme durumu ile ölçülür. Yani, yapının kapasitesi depremin talebine karşılık verebilmelidir.

Kapasite spektrum ve deplasman katsayıları metodu gibi pushover metotları kullanılarak lineer olmayan analiz işlemlerini yapabilmek için öncelikle yukarıda değinilen talep, kapasite ve performans kavramlarını ayrıntılı olarak açıklamak gerekmektedir.

Kapasite, yapının gücüne ve bileşenlerinin deformasyon yapabilme yeteneğine bağlıdır. Elastik olmayan bölgedeki şekil değiştirme kabiliyetlerini belirlemek için pushover (itme) analizi gibi lineer olmayan analizler kullanılmaktadır. Yatay yük dağılımı uygulanmasına, elemanlar akmaya ulaşması için ve yapı labil hale gelene kadar veya önceden belirlenen sınıra ulaşana kadar devam ettirilir. Her ne kadar iki ve üç boyutlu modeller için lineer olmayan davranış ve pushover eğrisi bilgisayar programları tarafından bulunabilse de oldukça yaklaşık bir yöntem olduğu unutulmamalıdır.

Talep, bir yapının belirli bir deprem etkisi altında bulunduğu süreç içerisinde tahmini beklenen maksimum karşılığıdır. Deprem anındaki yer hareketi zamana bağlı olarak çok karmaşık yatay yer değiştirme şekilleri ortaya çıkarır. Bunu belirlemek için birim zamandaki değişimleri dikkate alan zaman tanım alanında hesap yapılabilmektedir. Zaman tanım alanında hesap pratik olmayan bir analizdir.

Performans, Kapasite eğrisi ile talep spektrumu bir kez belirlendikten sonra performans kontrolü yapılır. Performans kriterleri; yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans limitlerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması içindir [1].

4.2.1. Kapasite Eğrisini Belirlemek için Adım Adım İşlemler

Yapı kapasitesi pushover eğrisiyle gösterilir. Kuvvet – Deplasman eğrisinin bulunmasının en uygun yolu taban kesme kuvvetiyle çatı deplasmanını bir grafikte işaretlemektir. Performansa dayalı analizde, ilk adım olarak, yapının kapasite diyagramları elde edilir. Kapasite diyagramları; belirli bir yapının sıfır konumundan kararsız hale gelinceye kadar geçen süre içerisinde yapıya artırılarak uygulanan yük etkisi altında taban kesme kuvvetlerine karşılık gelen çatı deplasman değerlerinin bir etkileşim diyagramı üzerinde kesişen noktaların geometrik olarak birleştirilmesiyle elde edilen diyagramlardır (Şekil 4.1).

Yapının kapasitesi bu diyagramlarla ifade edilir. Bu diyagramlara (eğrilere) pushover eğrisi de denilmektedir. Bu eğrileri belirlemek için yapılan analiz Pushover Analizidir [1].

SAP2000 ve DRAIN-2DX gibi bazı lineer olmayan hesap programları pushover analizini iterasyon gerekmeden direkt yapabilmektedir. Eğer bu programlar kullanılmıyacaksa aşağıdaki adımlar uygulanmalıdır. Pushover eğrisini oluşturmak için ETABS, SAP90, RISA gibi programlarda kullanılabilir [1].

Pushover eğrisi genelde yapının birinci (fundamental) modu dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Bu genellikle doğal titreşim periyodu bir sn olan yapılar için geçerlidir. Çok katlı yapılarda birinci modun periyodu bir saniyeden fazladır bundan dolayı mühendis daha yüksek modların etkisini de göz önüne almalıdır [1].

Kapasite eğrisinin oluşturulmasında izlenen yol aşağıda adım adım açıklanmıştır. 1.adım: Kat yatay yükleri kat kütlelerinin toplandığı kütle merkezlerine 1. mod şekliyle etkililir, bu analiz aynı zamanda ağırlık yükünü de içermelidir. Aşağıda değişik yapılar için 5 örnek vardır. 3. örnek bizim hesaplarımızda esas olandır, 4. örnek zayıf kat olan bir binayı gösterir, 5.örnek yüksek veya daha düzensiz binalar için verilmiştir.

ÖRNEK I. Uygulaması kolay tek katlı yapı. Yatay yük yapının tepesine uygulanır.

ÖRNEK II. Yatay yükün her bir kata deprem yönetmenliğimizdeki eşdeğer statik yatay yük gibi ağırlıkları oranında uygulandığı yapılar.

ÖRNEK III. Yapı elastik modelinin 1. mod şekline ve kat kütlelerinin toplandığı kütle merkezlerine etkitildiği yapı türleri. Doğal titreşim periyodu 1 sn ye kadar olan yapılar için kapasite eğrisi genellikle yapıların birinci mod şekillerine uygulanır.

ÖRNEK IV. Bu yapılar ilk mafsallara kadar 3. seviyedeki yapılar gibidir. İlk mafsaldan sonraki her artış deforme olmuş şekle göre yük artımının uygun bir şekilde ayarlanması gerektirmektedir.

ÖRNEK V. 3 ve 4'e benzer fakat daha yüksek mod şekillerinin de göz önünde bulundurulmasını gerektirir. Yüksek mod etkileri "Yüksek Mod İtme Analizi" ile belirlenmektedir.

2.adım: Yatay ve düşey yükün gerekli kombinasyonları için eleman kuvvetleri hesaplanır.

3.adım: Bazı eleman veya eleman grupları için yatay yük eleman dayanımının %10'u kadar kuvvet olarak ayarlanır. Ancak çoğu yapılar için birinci ve ikinci adımlar yeterlidir.

4.adım: Her bir taban kesme kuvvetini ve çatı deplasmanı kaydedilir. Performans kontrolünde gerekli olacağı için eleman kuvvetlerini ve dönmelerini kaydetmekte faydalıdır.

5.adım: Mafsallaşan elemanlar için rijitliği sıfır alıp model tekrar kontrol edilir.

6.adım: Diğer bir eleman (veya eleman grubu) akmaya ulaşana (mafsallaşana) kadar yatay yüke yeni bir artış vermeye devam eldir.

7.adım: Taban kesme kuvvetine karşılık çatı deplasmanı oldukça fazla artsa da yatay yüklemeye devam edilir.

8.adım: $V - u$ ($P-\Delta$) etkileri bir birinden çok fazla farklılık gösteren düzenli olmayan bir duruma geldiğinde yapı elemanları veya eleman grupları göçmeye başlıyor demektir. Bu durumda yapı düşey yük taşıma kapasitesini de aşıyor demektir. Bu nokta pushover'ın son noktasıdır. (Mühendislerin bu noktadan sonra da yüklemeye devam ederek perdeli yapılar gibi özel yapılarda perde davranışı ve yapı yıkılımı hakkında görsel bilgi edinmeleri faydalı olacaktır) [1].

4.2.2. Talep Spektrumunu Belirlemek İçin Adım Adım İşlemler

Talep spektrumu belirli bir yapının, deprem hareketine, deprem süresince verdiği maksimum karşılığı göstermektedir. Talep spektrumu eğer bina tamamen elastik yapılsaydı inelastik deplasman elastik deplasmana eşit olurdu yaklaşımını kullanır. Betonarme yapının tasarımında kullanılacak olan performans amacının belirlenmesi nedenli önemli ise, belirli bir deprem etkisi altında muhtemel maksimum deplasmanın da saptanması o denli önemlidir.

Kapasite Spektrum Metodundaki deprem talep deplasmanı kapasite spektrumu üzerinde “Performans Noktası” diye adlandırılan bir noktada oluşur. Bu performans noktası, yapının sismik kapasitesini yani belirli bir depremle zorlanan yapının cevabını (karşılığını) gösterir [1].

4.2.3. Kapasite Spektrum Metodu Kullanılarak Sismik İstem Hesaplanması

Performans noktasının belirlenmesi için pek çok metod mevcuttur ancak en yaygın olarak kullanılanlardan biri olan Kapasite Spektrum Metodu bu çalışmada kullanılacaktır. Performans noktası kapasite spektrumu eğrisinin ve %5 sönümlü elastik karşılık spektrumundan indirgenmiş talep spektrumunun üzerinde olmalıdır. Genel olarak performans noktasının belirlenmesi bu iki kriterin sağlanması ile ortaya çıkar. Aşağıda bu iteratif işlemi kolaylaştırmak için üç ayrı prosedür ve metodun

kavramsal ifadesi bulunmaktadır. Temel itibariyle üç prosedür de aynıdır ama matematik ifadeleri farklılıklar gösterir [1].

Prosedür A : Kavramın en direk uygulaması bu prosedürdür. Tamamıyla iteratif bir yöntemdir; fakat formüllendirilmiş esaslar kolaylıkla bilgisayar programlarına uygulanabilir. Grafikten çok analitik bir metoddur. Yeni başlayanlar için en uygun prosedürdür.

Prosedür B : Kapasite eğrisinin iki doğrultuda modellenmesini sağlayan basit bir yöntemdir. Performans noktasının gerçek değerini küçük iterasyonlarla bulur. Grafikten çok analitik bir metoddur.

Prosedür C : Performans noktasını bulmak için kullanılan zayıf bir grafik metoddur. El ile analiz için en uygun metoddur, bilgisayara adaptesi tam değildir (Tablo 4.1) [1].

Tablo 4. 1. Prosedür seçim tablosu

PROSEDÜR	AÇIKLAMA
A	En açık, anlaşılır metodolojinin en direk uygulamasıdır.
	Analitik bir metoddur.
	Programlama için uygundur.
	Yeni başlayanlar için en uygun olanıdır.
	Direk sonuca gider ve anlaşılması kolaydır.
B	Analitik bir metoddur.
	Basitleştirme kabulleri dolayısıyla prosedür A dan daha basittir.
	Bilgisayar programlaması için en uygun olanıdır.
C	Grafik bir metoddur.
	El analizi için en uygun olanıdır.
	Bilgisayar programları için uygun değildir.

4.2.4. Kapasite Spektrum Metodunun Kavramsal Oluşumu

Performans noktasının belirlenmesinde kullanılan metotlardan biri ivme-yer değiştirme tepki spektrum metodu (ADRS) olarak ta bilinen kapasite spektrum metodudur.

Kapasite spektrum metodu hem kapasite eğrisi hem de spektral tepki ordinatı ile ifade edilen talep eğrisini gerektirir. Sismik talep %5 sönümlü lineer elastik tepki spektrumunun karakterize edilmesiyle oluşturulur ve elastik olmayan yer değiştirme talebini tahmin etmek için talep spektrumu indirgenir.

Kapasite eğrisiyle indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktası talep edilen performans noktasıdır [1].

4.2.4.1. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

Kapasite Spektrum Metodunun kullanılabilmesi için taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanının yani kapasite eğrisinin mutlaka ADRS (Acceleration Displacement Response Spectra) formatındaki kapasite eğrisine dönüştürülmesi gerekmektedir. Kapasite eğrisini kapasite spektrumuna dönüştürmek için 1. moddaki spektral koordinatların noktadan noktaya çevrimi ile oluşturulabilir.

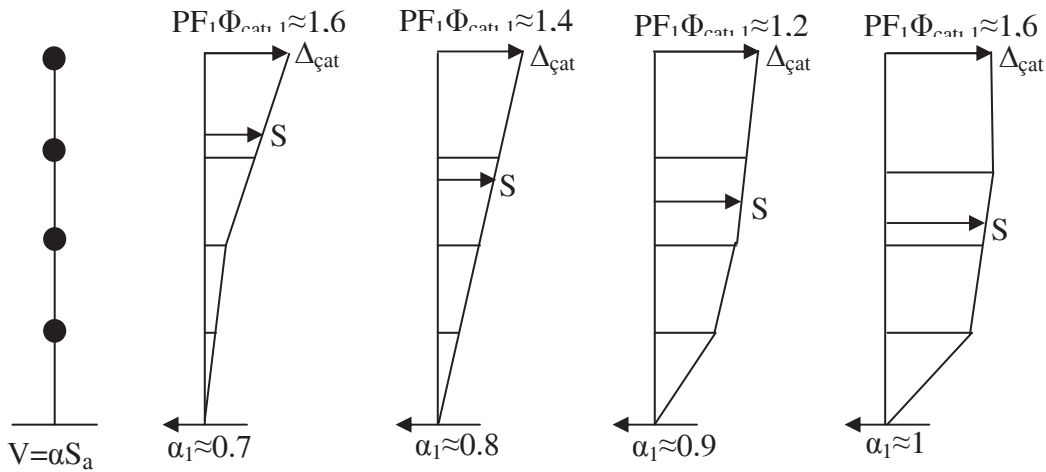
Kapasite eğrisi üzerinde bulunan herhangi bir noktadaki taban kesme kuvveti (V_i) ve yer değiştirme (u_i) değerleri aşağıdaki denklemler kullanılarak S_{ai} , S_{di} 'ye çevrilir [1]. (Denklem (4.3) ve (4.4))

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (4.1)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (4.2)$$

$$S_{ai} = \frac{V_i / W}{\alpha_1} \quad (4.3)$$

$$S_{di} = \frac{u_i}{PF_1 \phi_{1,\text{çatı}}} \quad (4.4)$$



Şekil 4.5. α1 ve PF1 arasındaki ilişki için bir örnek

PF₁ : Birinci doğal mod için Modal Katılma Katsayısı

α₁ : Birinci doğal mod için Modal Kütle Katsayısı

w_i/g : i. Seviyedeki toplanmış kütle

Φ_{i1} : i. Seviyedeki modun şekli

N : Yapıdaki kat sayısı

V : Taban Kesme Kuvveti

W : Sabit yük + Hareketli Yük (Katsayısız)

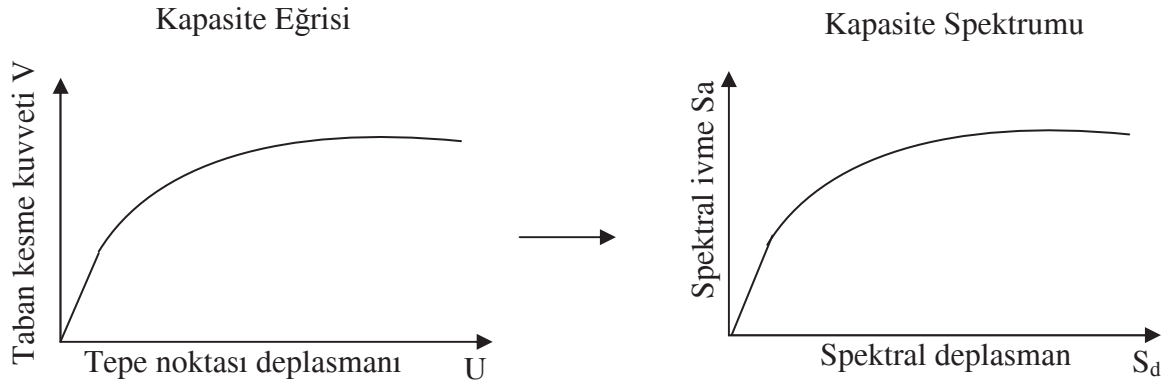
Δ_{çatı} : Çatı deplasmanı (V ve Δ_{çatı} kapasite eğrisini oluşturur)

S_a : Spektral ivme

S_d : Spektral Deplasman (yer değiştirme) (S_a ve S_d kapasite spektrumunu oluşturur)

Yer değiştirme artarken yapının periyodu artar bu doğrudan kapasite spektrumuna yansır. Elastik ötesi yer değiştirmeler sönümü arttırır ve talebi azaltır.

Kapasite spektrum metodu, yer değiştirmenin viskoz sönüm içinde sabit olduğu kapasite spektrumundaki bir kesişim noktası bulmak talebi azaltır [1].



Şekil 4.6. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi [1]

4.2.4.2. Talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi

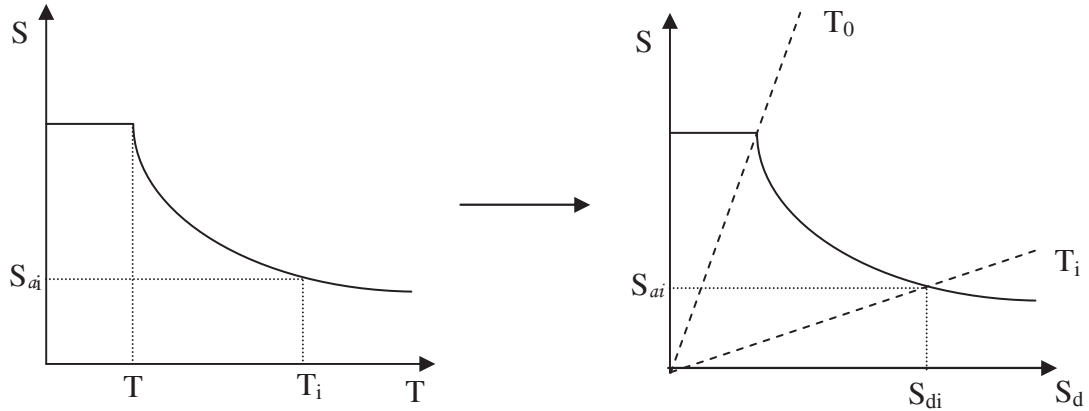
Standart $S_a - T$ formatında verilen karşılık spektrumunu ivme – yer değiştirme tepki spektrumuna (ADRS) dönüştürmek için eğri üzerindeki her bir noktanın spektral yer değiştirme değerlerini belirlemek gerekmektedir. Bu işlem aşağıda verilen denklemlerle yapılır.

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} \cdot S_{ai} \cdot g \quad (4.5)$$

Standart talep tepki spektrumu sabit spektral bir ivme oranını ve sabit bir ikincil spektral hız oranlarını içermektedir. T_i periyodundaki spektral ivme ve yer değiştirmeler aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilmektedir [1].

$$S_{ai} \cdot g = \frac{2\pi}{T_i} \cdot S_v \quad (4.6)$$

$$S_{di} = \frac{T_i}{2\pi} \cdot S_v \quad (4.7)$$

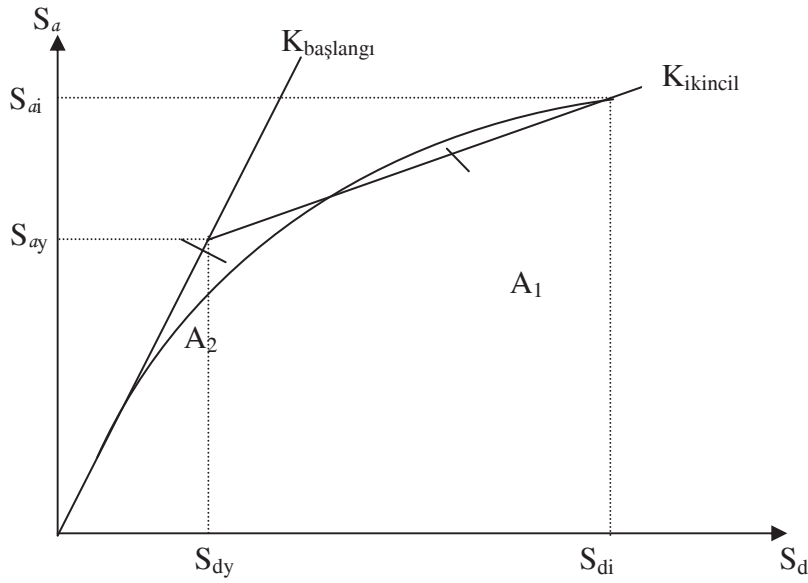
Standart Format (S_a, T)ADRS Formatında (S_a, S_d)

Şekil 4.7. Talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi [1]

4.2.4.3. Kapasite spektrumunun idealleştirilmesi

Sönümün belirlenmesinde kullanılan kapasite spektrumunun idealleştirilmesi, spektrum eğrisinin oluşturulması için S_{ai} ve S_{di} 'nin belirlenmesi gerekmektedir.

Bilinear gösterimi oluşturmak için orjinden başlangıç rijitliğide düşünülerek bir doğru çizilir, daha sonra saptanan S_{ai} , S_{di} noktasından geriye doğru A_1 ve A_2 alanları eşit olacak şekilde eğri çizilir. Bunun sebebi her iki eğrinin de eşit enerji sönümlemiş olduğunu göstermektir. Böylece kırıklı kapasite spektrumu oluşturulmuştur. Buradaki S_{ay} ve S_{dy} doğrusal elastik davranış sınırındaki, S_{ai} , S_{di} ise hedeflenen performans seviyesindeki spektral ivme ve yer değiştirme değerleridir [1].



Şekil 4. 8. Kapasite spektrum metodu için kapasite spektrumunu kırıklı gösterme [1]

4.2.4.4. Etkili sönümünün belirlenmesi

Elastik olmayan bölgede itilen yapıda oluşan sönüm, yapının ana sönümü olan viskoz sönümün ve histeretik sönümün bir kombinasyonudur. Histeretik sönüm, taban kesme kuvvetine karşılık yapı deplasmanı şeklindeki çevrimlerdeki alanlarla ilişkilidir. İsterik sönüm eşdeğer viskoz sönüm olarak ifade edilebilir. Böylece toplam etkili sönüm aşağıdaki denklemlerle hesaplanır [1].

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 0.05 \quad (4.8)$$

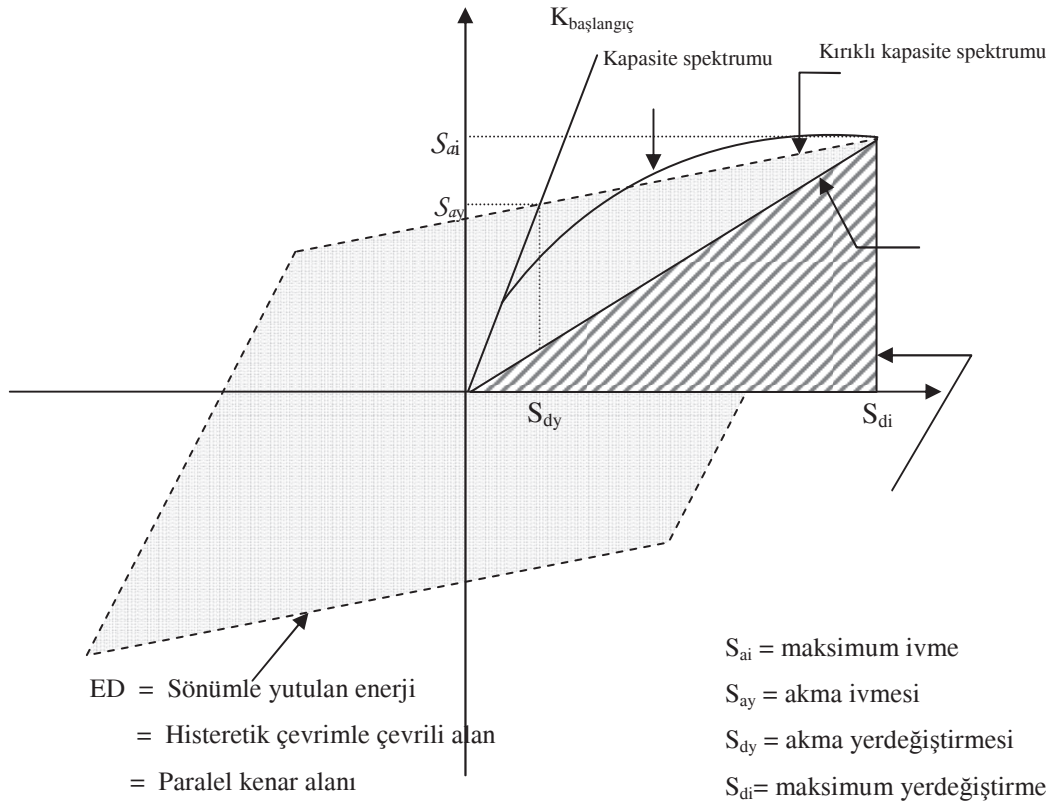
$$\beta_0 = \frac{E_D}{4\pi E_{s0}} \quad (4.9)$$

β_0 : İsterik sönüm

0.05: Yapıların sabit kabul edilen %5 viskoz sönümü

E_D = Sönümle yutulan enerji

E_{s0} = Maksimum şekil değiştirme enerjisi



$$\begin{aligned} \text{ESO} &= \text{Maksimum gerilme enerjisi} \\ &= \text{Taralı üçgen alanı} \\ &= S_{ai} \cdot S_{di} / 2 \end{aligned}$$

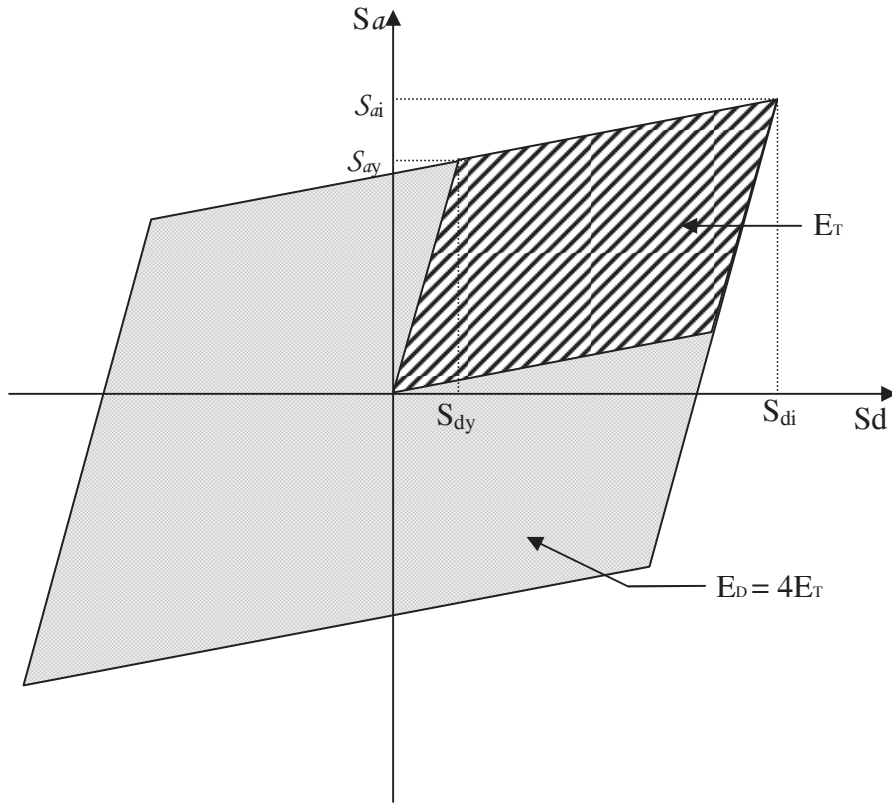
Şekil 4.9. Spektral indirgeme için sönümün ifadesi [1]

ED, yapı hareketinin bir kez meydana gelmesi için harcanan enerjidir ki bu tekli histeretik çevrim tarafından çevrili olan alandır.

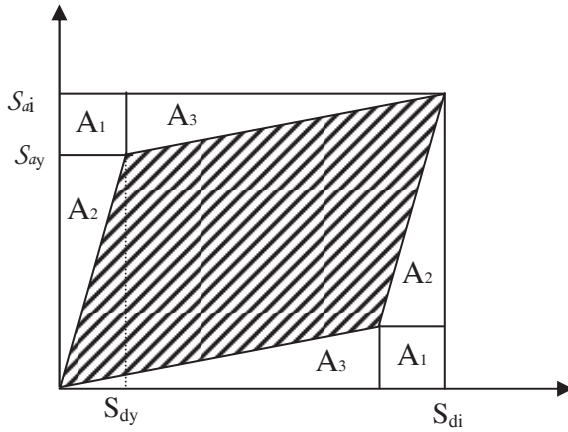
ESO, yapı hareketinin bir kez meydana gelmesi için harcanan maksimum şekil değiştirme enerjisine eşittir ki taralı üçgenin alanına eşittir.

β_o 'ın hesaplanması için denklem 4.9'da da görüldüğü gibi ED ve ESO'nun belirlenmesi gerekmektedir.

Şekil 4.10 yardımıyla geometrik bağıntılar kullanılarak ED ve ESO'nun hesaplanmasına aşağıda yer verilmiştir [1].



Şekil 4.10. ED ile söntümlenen enerjinin ifadesi [1]



Gösterilen alanlar için formüller

$$A1 = (S_{ai} - S_{ay}) S_{dy}$$

$$A2 = (S_{ay} S_{dy}) / 2$$

$$A3 = [(S_{ai} - S_{ay})(S_{di} - S_{dy})] / 2$$

Şekil 4.11. ED ile söntümlenen enerjinin hesaplanması [1]

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11' e göre E_D aşağıdaki gibi hesap edilebilir.

$$E_D = 4E_T \quad (4.10)$$

$$E_D = (S_{ai} S_{di} - 2A1 - 2A2 - 2A3) \quad (4.11)$$

$$= [S_{ai} S_{di} - S_{ay} S_{dy} - (S_{di} - S_{dy})(S_{ai} - S_{ay}) - 2S_{dy}(S_{ai} - S_{ay})] \quad (4.12)$$

$$= 4(S_{ay} S_{di} - S_{ai} S_{dy}) \quad (4.13)$$

$$ED=4(S_{ay} S_{di} - S_{ai} S_{dy}) \quad (4.14)$$

Şekil 4.9' e bağlı olarak E_{so} aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$E_{so} = S_{ai} S_{di} / 2 \quad (4.15)$$

β_0 , aşağıdaki gibi de yazılabilir:

$$\beta_0 = 1/4\pi [4(S_{ay} S_{di} - S_{ai} S_{dy}) / (S_{ai} S_{di} / 2)] = 2/\pi [(S_{ay} S_{di} - S_{ai} S_{dy}) / (S_{ai} S_{di})] \quad (4.16)$$

$$\beta_0 = 0.637 [(S_{ay} S_{di} - S_{ai} S_{dy}) / (S_{ai} S_{di})] \quad (4.17)$$

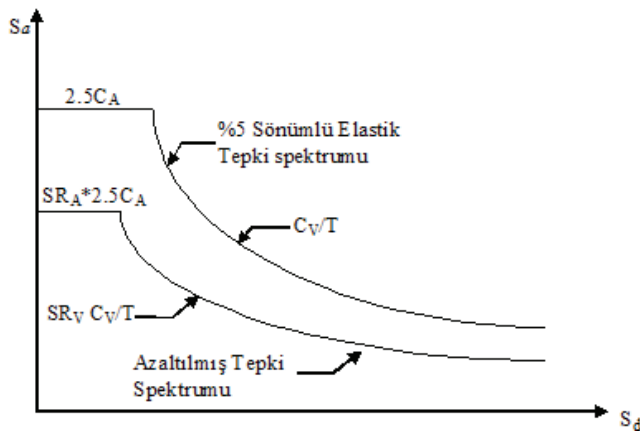
β_0 , kritik sönümün % oranı olarak yazılırsa

$$\beta_0 = 63.7 [(S_{ay} S_{di} - S_{ai} S_{dy}) / (S_{ai} S_{di})] \quad (4.18)$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5 = 63.7 [(S_{ay} S_{di} - S_{ai} S_{dy}) / (S_{ai} S_{di})] + 5 \quad (4.19)$$

Şekil 4.12 da görüldüğü gibi, spektral indirgeme faktörleri (SR_A ve SR_V), elastik karşılık spektrumunu (%5 sönümlü) indirgemek için kullanılır. Sönümün %25 den az olduğu durumlar için Spektral indirgeme faktörleri denklem 4-19 daki Newmark-Hall eşitliğinden hesaplanır. %25 den %50 ye kadarki sönümlü spektrumları indirgemek için SR_A ve SR_V kullanılmamalıdır. B ($B = 1/SR$) gibi bir indirgeme katsayısıyla indirgenmelidir [1].

SR_A ivme değerleri için spektral indirgeme faktörleridir. SR_V hız değerleri için spektral indirgeme faktörleridir.



Şekil 4.12. İndirgenmiş karşılık spektrumu [1]

Şekil 4.9' daki idealizasyonun kabul edilebilirliği oldukça yüksektir. Her ne kadar mükemmel sonuç vermese de karışık olan B katsayısı ile hesap yapmaktan daha kolaydır. Fakat yinede arada oluşan farkın kapatılması için bir katsayıya gerek duyulmuştur onun için denklem 4.20 aşağıdaki Tablo 4.2'de gösterildiği gibi λ katsayısı ile modifiye edilmiştir. Buna göre etkin sönüm β_{eff} ;

$$\beta_{eff} = \lambda\beta_o + 0,05 = \lambda 63.7 [(S_{ay} S_{di} - S_{ai} S_{dy}) / (S_{ai} S_{di})] + 5 \quad (3.20)$$

Tablo 4.2. Düzeltme katsayısı λ nın değerleri [1]

Yapı Davranış Türü	β_o (%)	λ
A Tipi	$\leq 16,25$	1,0
	$\geq 16,25$	$1,13 - 0,51 (S_{ay} S_{di} - S_{ai} S_{dy}) / (S_{ai} S_{di})$
B Tipi	≤ 25	0,67
	≥ 25	$0,845 - 0,446 (S_{ay} S_{di} - S_{ai} S_{dy}) / (S_{ai} S_{di})$
C Tipi	Değer Yok	0,33

λ sönüm modifikasyon faktörü, Şekil 4.9'daki paralel kenarın alanı olarak gösterilen bina kesin isterik alanının ölçüsüdür. λ faktörü binanın yapısal davranışına bağlı olduğundan Tablo 4.2'de 3 tip olarak ayrılmıştır buna göre bina tiplerinin belirlenmesi gerekir. Bu tabloya göre A tipi davranışta yüksek sönüm oranları hariç Tablo 4.2'dekine benzer tüm isterik çevrimlerde kabul edilip kullanılabilir, bu tipte $\lambda = 1.0$ olarak belirlenmiştir. B tipinde $\lambda = 2/3$ olarak atanır ve orta sönümlü bir paralel kenar alanını ifade eder [1].

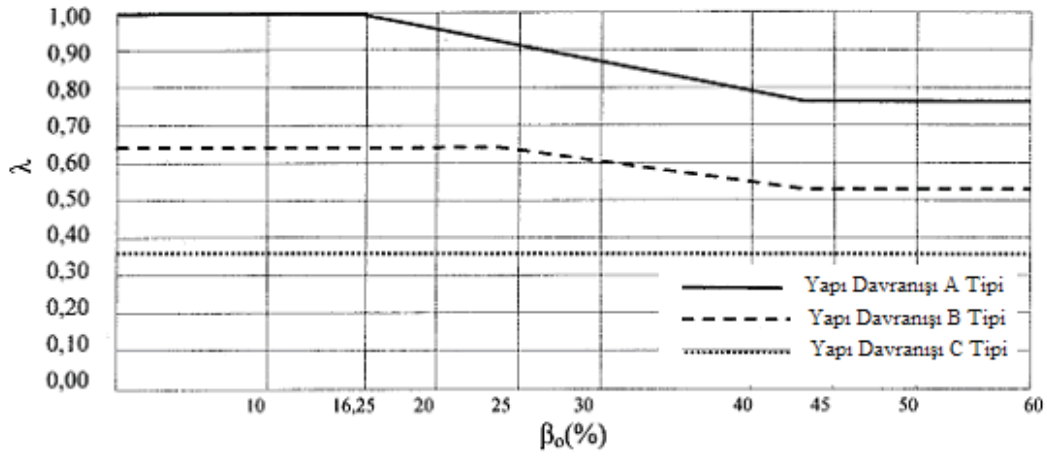
4.2.4.5. Spektral indirgemenin nümerik çıkarılışı

Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması için tanımlanan etkili sönüm (β_{eff}) değerlerine bağlı olarak talep spektrumunda SRA ve SRV katsayıları ile azaltma yapılır. Bu katsayılar yapıda deprem etkisine bağlı olarak çıkacak olan sönüme ve yapı davranış türüne bağlı olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır.

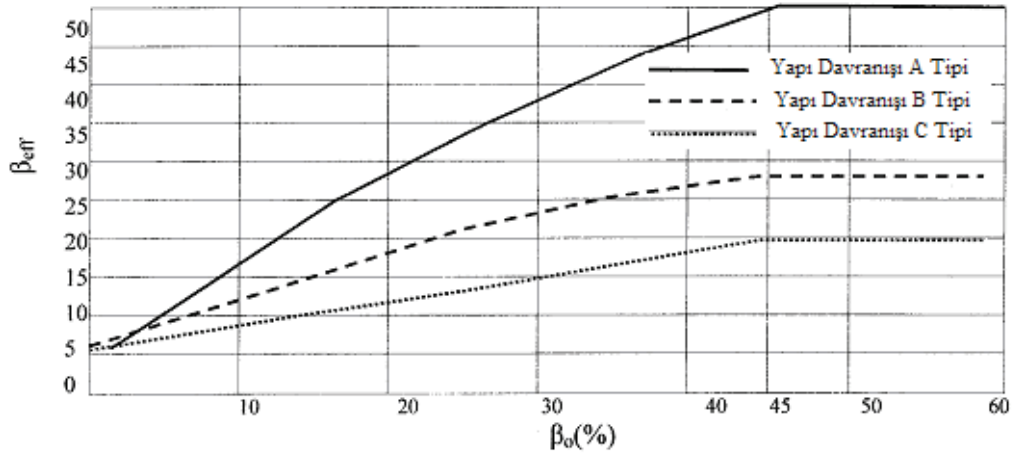
$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln(\beta_{eff})}{2,12} \geq \text{Tablo 4.5 deki değerler} \quad (4.21)$$

$$SR_V = \frac{2,31 - 0,41 \ln(\beta_{eff})}{1,65} \geq \text{Tablo 4.5 deki değerler} \quad (4.22)$$

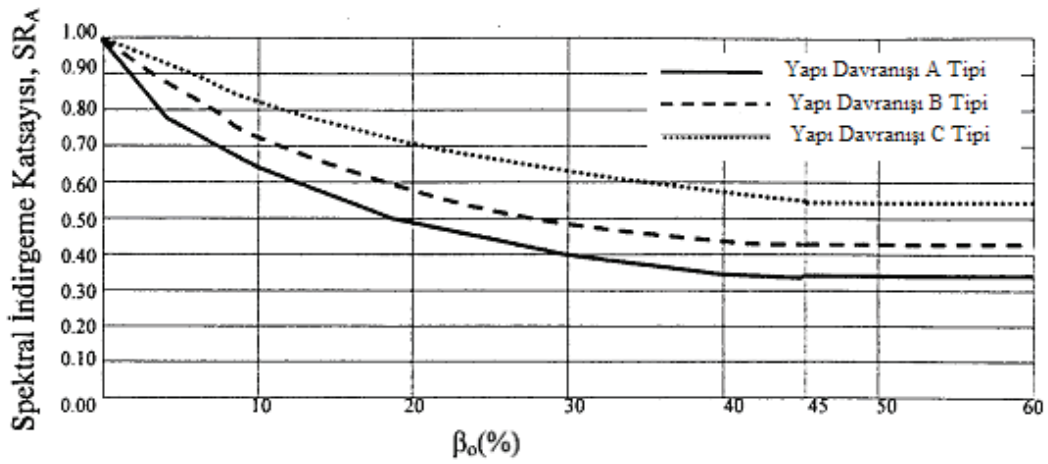
Yapısal davranış tiplerinin spektral indirgeme faktörleri üzerindeki etkisi aşağıdaki Şekil 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 de λ , β_{eff} , SR_A ve SR_V ye karşın β_0 ' a bağlı olarak A, B, C yapı tipleri için verilmiştir [1].



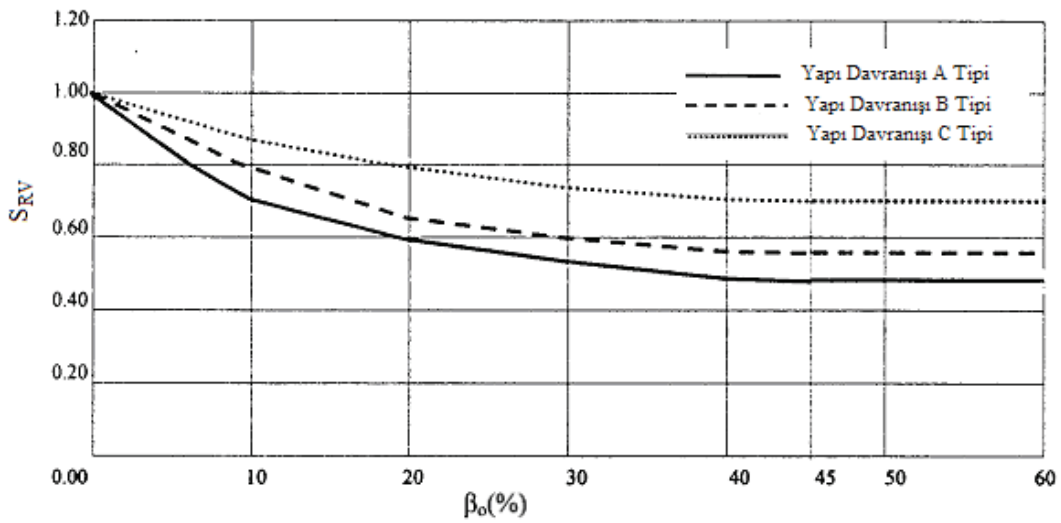
Şekil 4.13. Yapısal davranış tipleri A, B, C için λ sönüm faktörü [1]



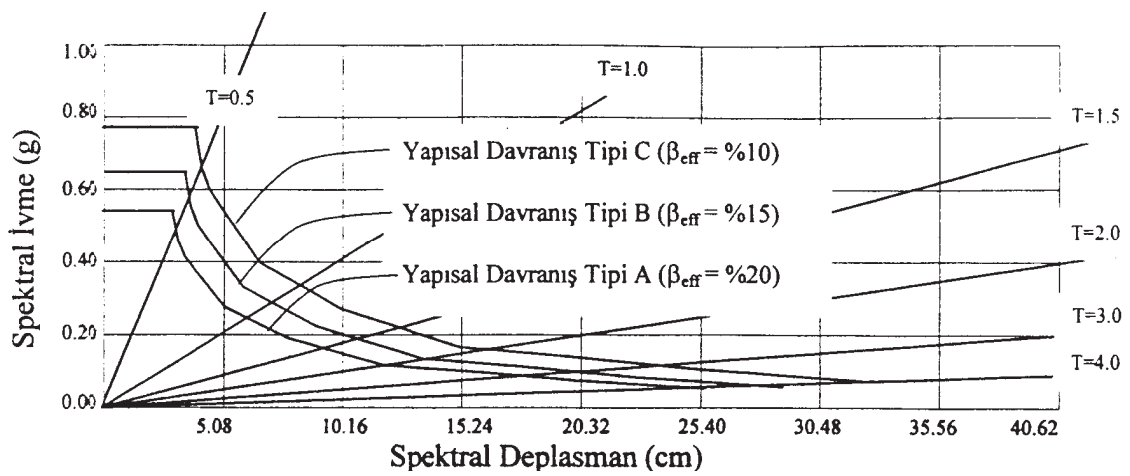
Şekil 4.14. Yapısal davranış tipleri A, B, C için β_{eff} etkin sönüm [1]



Şekil 4.15. Yapısal davranış tipleri A, B, C için spektral indirgeme katsayısı SRA [1]



Şekil 4.16. Yapısal davranış tipleri A, B, C için spektral indirgeme katsayısı SRV [1]



Şekil 4.17. Yapısal davranış tipleri A, B, C için ADRS karşılık spektrumuna bir örnek [1]

Zemin profil tipi = S_B

$ZEN = 0.4$

$C_A = 0.4$

$C_B = 0.4$

$\beta_0 = 63.7 [(S_{ay} S_{di} - S_{ai} S_{dy}) / (S_{ai} S_{di})] = \%15$ değerleri için grafik çizilmiştir.

Spektral indirgeme faktörleri S_{RA} ve S_{RV} çizelge şeklinde aşağıdaki gibi verilmiştir [1].

Tablo 4.3. Spektral indirgeme katsayıları, $S_{RA} = 1/B_S$ ve $S_{RV} = 1/B_L$ [1]

β_0	Yapı Davranış Türü								
	A Tipi			B Tipi			C Tipi		
	β_{eff}	S_{RA}	S_{RV}	β_{eff}	S_{RA}	S_{RV}	β_{eff}	S_{RA}	S_{RV}
0	5	1,00	1,00	5	1,00	1,00	5	1,00	1,00
5	10	0,78	0,83	8	0,83	0,87	7	0,91	0,93
15	20	0,55	0,66	15	0,64	0,73	10	0,78	0,83
25	28	0,44	0,57	22	0,53	0,63	13	0,69	0,76
35	35	0,38	0,52	26	0,47	0,59	17	0,61	0,70
≥ 45	40	0,33	0,50	29	0,44	0,56	20	0,56	0,67

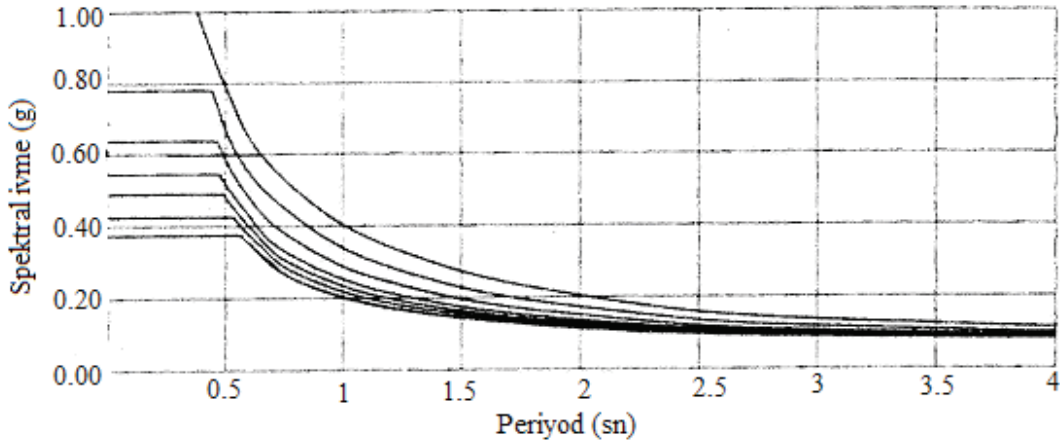
Yapısal davranış tipleri bina sarsılma süreleri ve bina dizayn durumlarına göre aşağıdaki gibi tespit edilir.

Tablo 4.4. Yapısal davranış tipleri [1]

Deprem Süresi	Genel Olarak Yeni Bina	Ortalama Mevcut Bina	Zayıf Eski Bina
Kısa	A Tipi	B Tipi	C Tipi
Uzun	B Tipi	C Tipi	C Tipi

Kapasite Spektrumunun Geliştirilmesi

%5 sönümlü karşılık spektrumu 2. Bölümdeki bilgiler kullanılarak çıkarılabilir. Şekil 4.12'de indirgenmiş karşılık spektrumu çizilmiştir. Standart S_A ve T formatındaki karşılık spektrumunu S_A ve S_D formatına dönüştürmek için yapılması gerekenler bu bölümde verilmiştir [1].



Şekil 4.18. Standart S_A ve T formatında karşılık spektrumu topluluğu [1]

Zemin Profili = SB

ZEN = 0.4

CA = 0.4 , CV = 0.4

β_{eff} = %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35, %40 değerleri için grafik çizilmiştir.

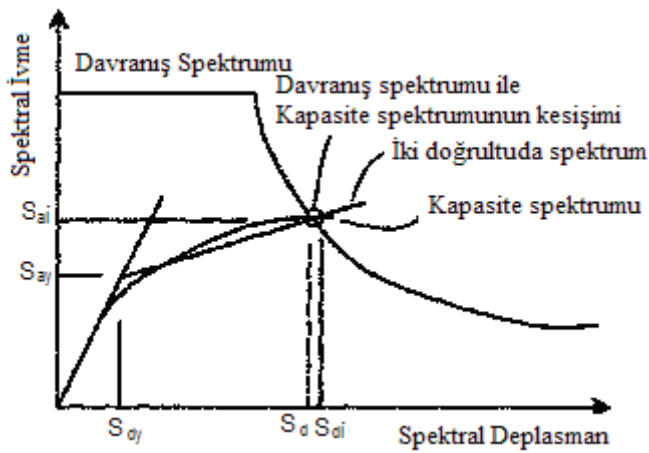
Şekil 4.18 karşılık spektrumu topluluğu için bir örnektir. Her bir spektrum eğrisi farklı bir efektif sönüm seviyesi için çizilmiştir. İkili veya çoklu performans amaçları, iki veya daha fazla performans amacını, farklı yer sarsıntılarına göre seçmekle oluşturulabilir [1].

Kapasite ve Talep Spektrumlarının Kesişimi

Kapasite spektrumu ile Karşılık spektrumunun kesişim di'si, S_{ai} , S_{di} deneme performans noktalarının S_{di} performans noktalarının $\pm\%5$ 'i kadar ise ($0.95 S_{di} \leq S_d \leq 1.05 S_{di}$) performans noktası bulunmuş demektir. Eğer, Kapasite spektrumu ile Karşılık Spektrumunun kesişim noktası kabul edilebilir tolerans içerisinde değilse, yeni bir S_{ai} , S_{di} noktası seçilir ve iterasyona devam edilir. Şekil

4.19 kavramı ifade eder. Performans noktası deprem hareketine karşılık binada oluşabilecek maksimum yapısal deplasmanı gösterir [1].

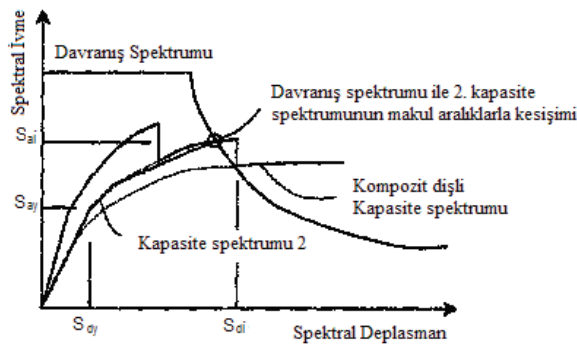
Eğer kapasite spektrumu dişli ise, birleşik kapasite spektrumu birkaç farklı kapasite spektrallarından oluşturulmalı ve performans noktasını bulurken de özel bir dikkat sarf edilmelidir. Analizin kabul edilebilir olabilmesi için iki doğrultuda gösterilen spektrum ile kompozit kapasite spektrumunun kesişme noktalarının aynı olması gerekir. Şekil 4.20 dişli kapasite spektrumunun oluşumunu gösterir [1].



Şekil 4.19 Karşılık ve kapasite spektrumlarının kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası [1]

Şekil 4.19 da; S_{ai} , S_{di} = deneme performans noktası ve S_d = kesişim noktasının deplasman değeri dir.

Deneme performans noktası S_{ai} , S_{di} , $0.95S_{di} \leq S_d \leq 1.05 S_{di}$ hassasiyetinde ise kabul edilebilir değere ulaşılmış demektir [1].



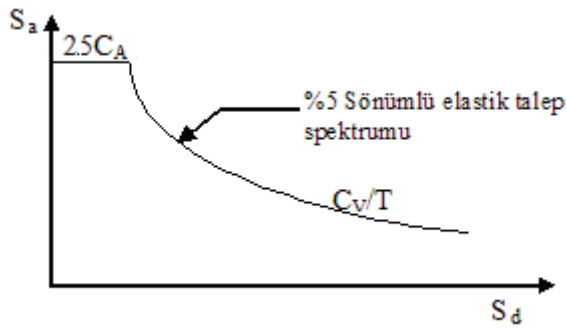
Şekil 4.20. Karşılık ve kompozit "Sawtooth" kapasite spektrumlarının kesişim noktası [1]

4.2.4.6. Prosedür A' yı kullanarak performans noktasının hesaplanması

Performans noktasının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan her biri diğerinden belli yönleriyle avantajlı olan üç prosedür kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki işlemler en açık ve en anlaşılabilir prosedür olan prosedür A kullanılarak yapılacaktır.

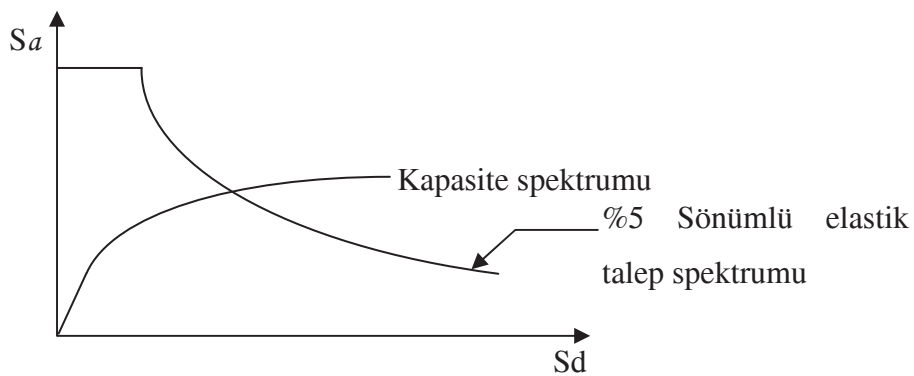
Prosedür A'ya göre performans noktasının belirlenmesinde izlenen yol aşağıda gösterilmiştir [1].

1. Bölümde anlatılan metodlar kullanılarak site için uygun olan %5 sönümlü elastik karşılık spektrumunu çizilir.



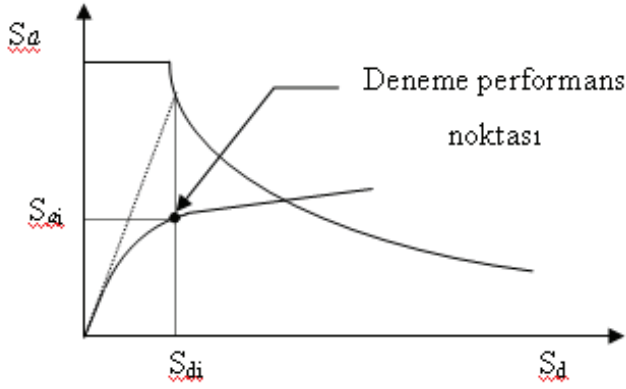
Şekil 4.21. Kapasite spektrumlu A prosedürü birinci adım [1]

2. Kapasite Spektrumunun dönüştürülmesi konusundan ve 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4 denklemlerinden yararlanarak kapasite eğrisini kapasite spektrumuna dönüştürülür. Kapasite eğrisi ile %5 sönümlü elastik karşılık spektrumunu Şekil 4.22' de ki gibi aynı grafikte gösterilir. (S_a (spektral ivme), S_d (spektral deplasman))



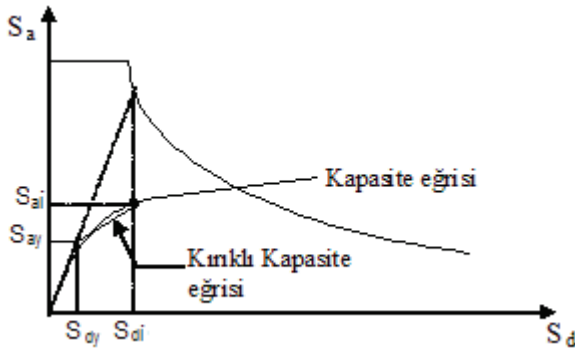
Şekil 4.22. Kapasite spektrumlu A prosedürü ikinci adım [1]

3. Şekil 4.23' de gösterildiği gibi tahmini bir başlangıç S_{ai} , S_{di} performans noktası belirlenir.



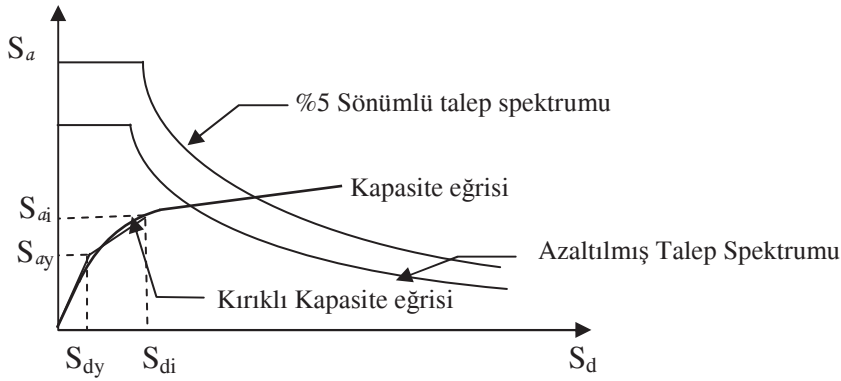
Şekil 4.23. Kapasite spektrumu A prosedürü üçüncü adım [1]

4. Kapasite spektrumunun geliştirilmesi başlığı altında anlatılan işlemleri kullanarak kırıklı kapasite spektrumu oluşturulur.



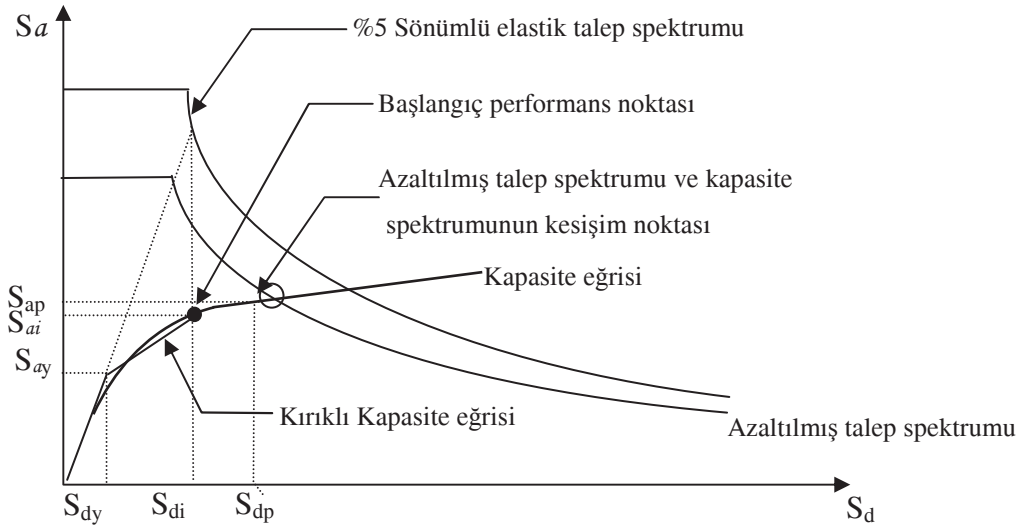
Şekil 4.24. Kapasite spektrumu A prosedürü dördüncü adım [1]

5. Denklem 4.12 ve 4.13 kullanılarak S_{RA} ve S_{RV} hesaplanır. %5 sönümlü karşılık spektrumundan bu indirgenme katsayıları ile indirgenmiş karşılık spektrumuna geçilir. Şekil 4.25' de gösterildiği gibi kapasite spektrumu ile indirgenmiş karşılık spektrumunu aynı grafikte çizilir.



Şekil 4.25. Kapasite spektrumu A prosedürü beşinci adım [1]

6. Kapasite Spektrumu ile indirgenmiş karşılık spektrumunun kesiştiği nokta belirlenir. S_{ai} , S_{di} noktası kesişim noktasına kabul edilebilir yaklaşıklıkta olsa yeterlidir. Yani azaltılmış talep spektrumu S_{ai} , S_{di} noktasında kapasite spektrumuyla kesişirse veya kesişme noktası (S_{dp}) S_{di} 'nin %5 tolerans sınırları içinde yakınında olursa bu nokta performans noktasıdır. (Şekil 4.26)



Şekil 4.26. Kapasite spektrumu A prosedürü altıncı adım [1]

7. Kesişme noktası izin verilen tolerans sınırları içinde olmazsa yeniden bir başlangıç performans noktası seçilip 4. ile 7.adım aralarındaki işlemler tekrarlanır. 6.adımda

belirlenen kesişim noktası (S_{ap}, S_{dp}) gelecek iterasyon için başlangıç noktası olarak kullanılabilir.

8.Eğer S_{ai}, S_{di} noktası S_{ap}, S_{dp} noktasına kabul edilebilir yakınlıkta ise S_{ai}, S_{di} muhtemel deprem için maksimum yapısal deplasmandır [1].

4.2.5. Tahmin Edilen Maksimum Deplasmanda Adım Adım Performans

Kontrolü

Performans kontrolünde aşağıdaki adımlar takip edilmelidir;

1. Binanın global yanal yüke karşı global yanıtı için aşağıdakiler sağlanır:

- Yanal yük dayanımı %20 den daha fazla düşürülmemelidir.
- Maksimum yatay ötelemeler aşağıdaki Tablo 4.5 ile sınırlanmalıdır.

Tablo 4.5. Deformasyon limitleri [1]

Kat ötelenme Limitleri	Performans Seviyeleri			
	Kullanıma devam	Hemen kullanım	Can güvenliği	Yapısal stabilite
Maksimum toplam ötelenme	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33V_i/P_i$
Maksimum plastik ötelenme	0,005	0,005-0,015	Limitsiz	Limitsiz

2. Binada farklı cins yapılmış elemanlar belirlenip sınıflandırılır. Bunlar kolon- kiriş çerçeveler, plak-kolon çerçeveler, rijit duvarlar, perde çiftleri, düzenli açıklıklı duvarlar, düzensiz açıklıklı duvarlar, diyaframlar ve temeller gibi.

3. Tüm ana ve ikincil taşıyıcıları belirlenir. Bu sınıflandırma 5. aşamadaki deformasyonlar için gereklidir.

4. Kritik elemanları ve durumları kontrol edebilmek için karşılık limitlerini 2. maddede adı geçen her bir eleman için kontrol etmek gerekir.

5. Yapının performans noktasındaki kuvvet ve deformasyon karşılıkları karşılık limitlerinde verilen kapasitelere eşit veya daha az olmalıdır.

6. Yapısal elemanlar öngörülen performans değerinden daha fazla yatay yük taşınamamalıdır.

7. Yapısal olmayan elemanlarda öngörülen performans seviyesine göre kontrol edilmelidir [1].

Lineer olmayan analizlerde düşey ve yatay yükler doğal olarak kullanılmalıdır. Herhangi bir artım veya azaltım yapılmamalıdır. Yani nonlineer analizler için TS 498' de tanımlanan yapı yüklerini TS 500' deki gibi 1.4, 1.6 gibi artışları yapmadan kullanmamız gerekir.

BÖLÜM 5. SAYISAL UYGULAMALAR

5.1. Giriş

Bu bölümde, Bölüm 2, Bölüm 3 ve Bölüm 4 de teorik olarak anlatılan performansa dayalı tasarım metodu ile kullanım amacı okul olan 4 katlı bir binanın performans düzeyinin TDY 2007'ye göre belirlenmesine yer verilmiştir.

Yapı taşıyıcı sistemi, x doğrultusunda 12 eksen, y doğrultusunda ise 9 eksenden oluşmaktadır. Bodrum kat perde duvarlarla çevrelenmiştir. Yapının kat yükseklikleri her katta 3,30 metre olup, yapı çerçeve sistem olarak teşkil edilmiştir (Şekil 5.1, Şekil 5.2). Döşeme sistemi plak ve asmolen olmak üzere karma bir sistemdir. Asmolen döşemelerin yer aldığı bölümlerde yatık kirişler kullanılmıştır.

Bölümde, TDY 2007'ye göre belirtilen hesap yöntemlerinden doğrusal elastik olmayan artımsal mod birleştirme yöntemi kullanılarak binanın x ve y doğrultusu için çözüm yapılmış ve performans düzeyleri belirlenmiştir.

Statik itme analizinin daha iyi anlaşılabilmesi için parametrik çalışmalar yapılmıştır. Sisteme etkiyen yükler (deprem yükleri, hareketli yükler, sabit yükler) sabit tutularak; kat yüksekliği, malzeme özellikleri (E , f_c , f_y) değiştirilip bu parametrelerin performans noktası değerlerine etkileri araştırılmıştır.

Bilgisayar uygulamaları için SAP2000 [11] programı kullanılarak çözümlene gerçekleştirilmiştir. Bu program, pek çok akademik ve güncel çalışmalarda kullanılan çok amaçlı ve ülkemizde kullanımı oldukça yaygın olan bir analiz programıdır. Bu bölümde statik itme analizi için programın nasıl kullanılacağı kısaca özetlenmiştir.

5.2. Genel Bilgiler

Bina Bilgileri

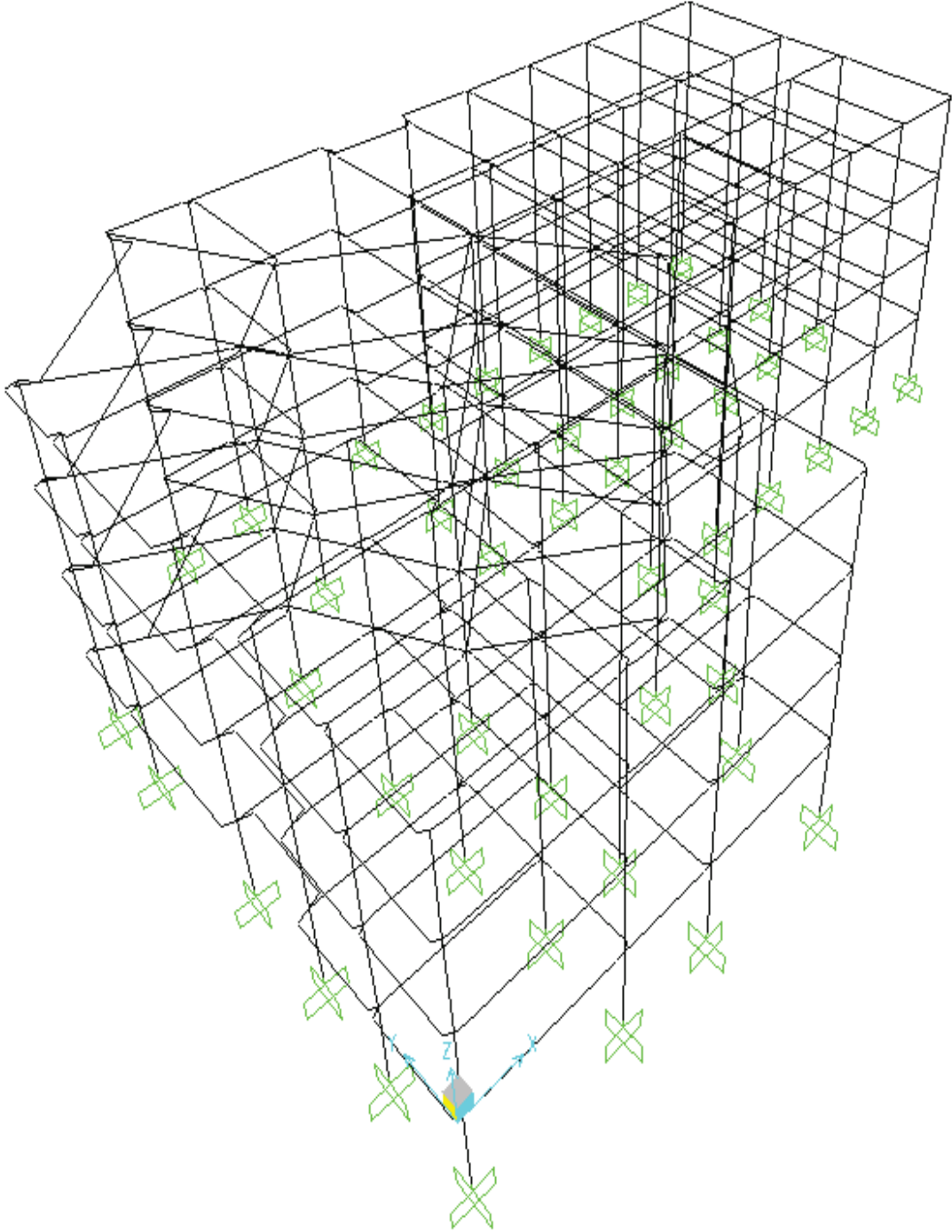
1. Kat Adedi	4
2. Bina Kat Yüksekliği	3,30 m
3. Toplam Bina Yüksekliği	13,20m
4. Bina Oturma Alanı	342m ²
5. Kullanım Amacı	Okul

Malzeme Bilgileri

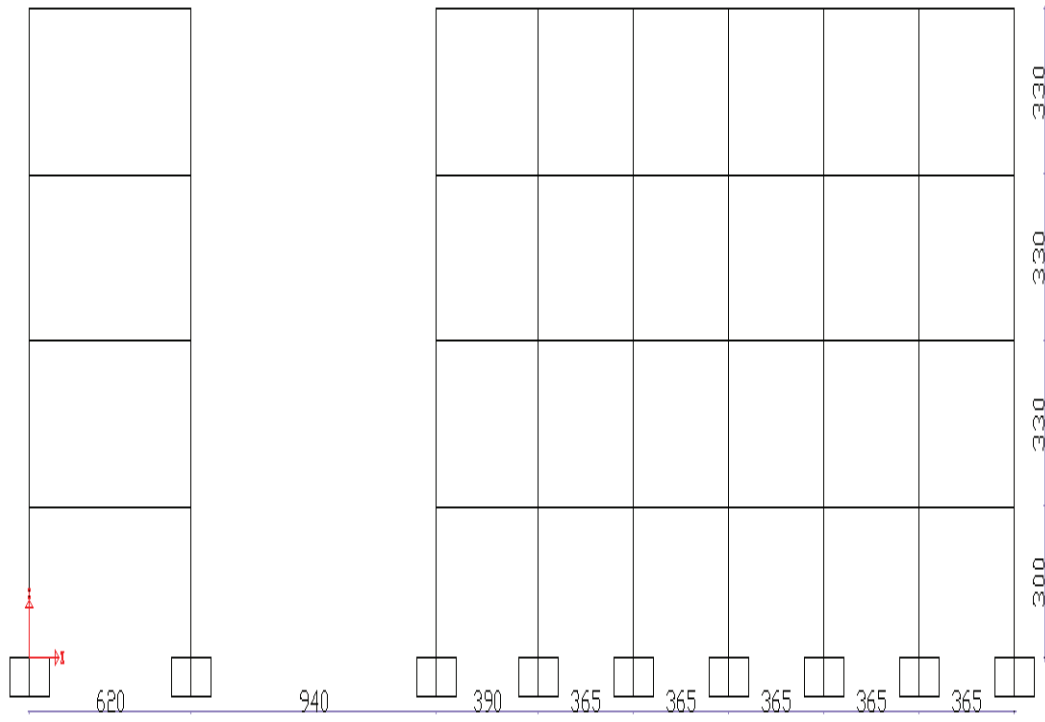
1. Beton	C6($f_{ck}=6$ MPa)
2. Donatı Çeliği	S220 ($f_{yk}=220$ MPa)
3. Betonarme Elastisite Modülü	28 GPa
4. Donatı Çeliği Elastisite Modülü	200 GPa
5. Beton Malzeme Güvenlik Katsayısı	1
6. Donatı Çeliği Malzeme Güvenlik Katsayısı	1

Proje Parametreleri

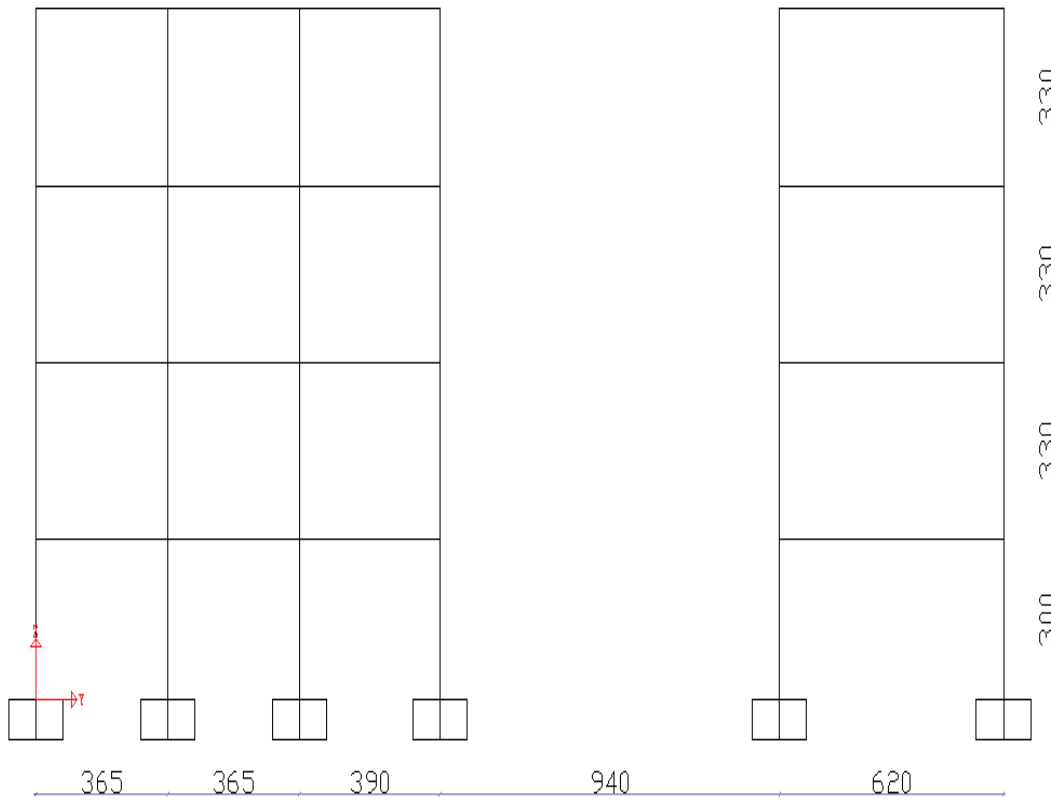
1. Deprem Bölgesi	2
2. Yerel Zemin Sınıfı	Z2
3. Spektrum Karakteristik Periyotları	$T_A=0.15$, $T_B=0.4$
4. Etkin Yer İvme Katsayısı	0.30
5. Bina Kalıp Planları	Mevcut
6. Betonarme Uygulama Çizimleri	Mevcut
7. Bilgi Düzeyi	Kapsamlı
8. Bilgi Düzeyi Katsayısı	1
9. Donatı Gerçekleşme Katsayısı	1



Şekil 5.2. Yapının 3 boyutlu bilgisayar modeli



Şekil 5.3. X – Z doğrultusundaki en kesit



Şekil 5.4. Y – Z doğrultusundaki en kesit

Örnek alınan binanın onaylı projeleri daha önce yapılmış röleve ve laboratuvar sonuçları mevcuttur. Bu durumda Deprem Yönetmeliği 7.2.6' ya göre bina bilgi düzeyi “kapsamlı” olarak belirlenmiş ve bilgi düzeyi katsayısı 1 alınmıştır. Katlardaki genel kolon boyutları, D=70, 30x60, 30x70, 30x80, 30x90, 30x115, 30x150'dir. Kiriş boyutları ve donatı bilgisi ise Tablo 5.1'de verilmiştir. Taşıyıcı sistemde perde elemanlar bulunmamaktadır.

Tablo 5.1. Kiriş kesitleri ve donatı bilgileri

Kiriş Kesitleri	40/32	50/32	60/32	70/32	80/32	100/32	120/32	25/60
Kiriş Donatı Bilgileri	4φ12	4φ12	4φ12	7φ14	10φ14	12φ16	20φ16	4φ16+2φ16
	2φ12	3φ12	5φ14	6φ14	8φ14	8φ14	10φ16	4φ12

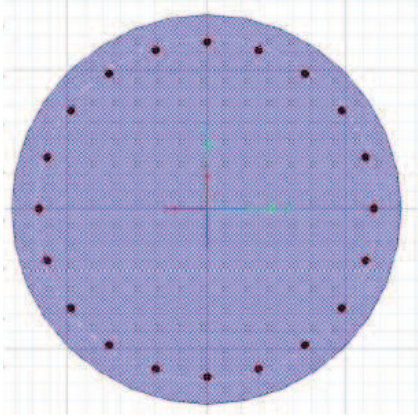
Mevcut binanın doğrusal analiz sonuçlarına göre rölatif kat burulmalarının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle “ Arıtsal Mod Birleştirme Yöntemi ” ile birden fazla modun katkısını göz önüne alarak performans analizi yapılmıştır.

Binanın kullanım amacının okul olması dolayısı ile 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde Hemen Kullanım, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem etkisinde Can Güvenliği performans hedefini sağlaması öngörülmektedir. İlerleyen bölümlerde 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için tasarım depremi, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem için şiddetli deprem ifadeleri kullanılacaktır.

Kiriş ve kolonlar için eleman uçlarına tanımlanacak olan plastik kesitlerin akma yüzeylerinin modellenmesinde Deprem Yönetmeliği madde 7.6.4.4 (a) ve (b) ye göre mevcut malzeme dayanımları dikkate alınmıştır. Bu dayanım değerlerine güvenlik katsayıları uygulanmamış buna karşın bilgi düzeyi katsayıları ile çarpılmıştır.

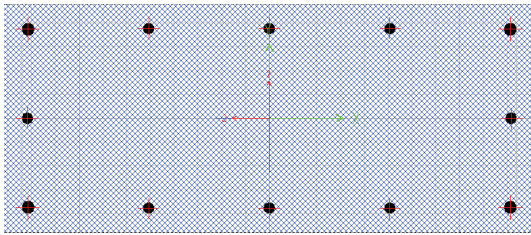
Kolonlar için plastik mafsallık özelliklerinin atanması, normal kuvvetin değişmediği kabulü ile programa normal kuvvet değeri verilerek iki eksenli eğilme durumu veya normal kuvvetin de değiştiği kabul edilerek üç değişkenli durum ile yapılabilir. Bu çalışmada normal kuvvet değişken kabul edilerek kolonlara P-M2-M3 mafsallık

atanmıştır. Kolon detayı Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da görüldüğü gibidir.



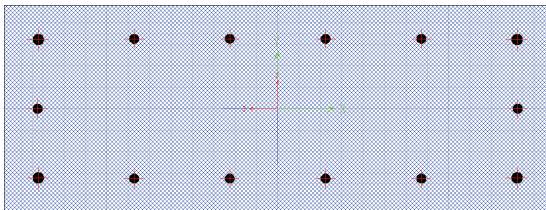
24 ϕ 16

Şekil 5.5. S (D=70) kolon detayı



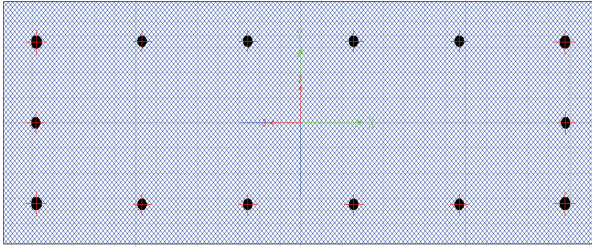
8 ϕ 14 - 4 ϕ 16

Şekil 5.6. S30/70 kolon detayı



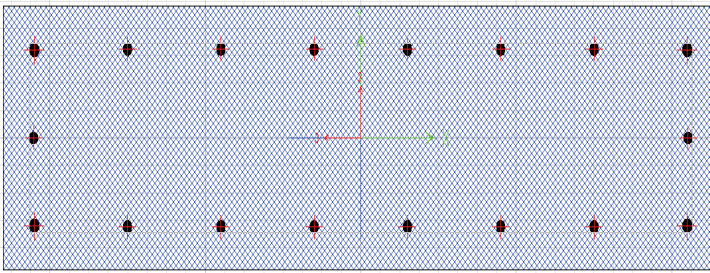
10 ϕ 14 - 4 ϕ 16

Şekil 5.7. S30/80 kolon detayı



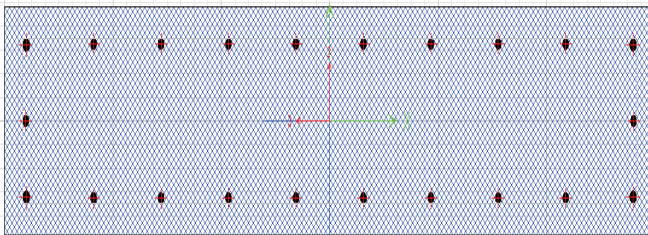
$10\phi 14 - 4\phi 16$

Şekil 5.8. S30/90 kolon detayı



$14\phi 14 - 4\phi 16$

Şekil 5.9. S30/115 kolon detayı



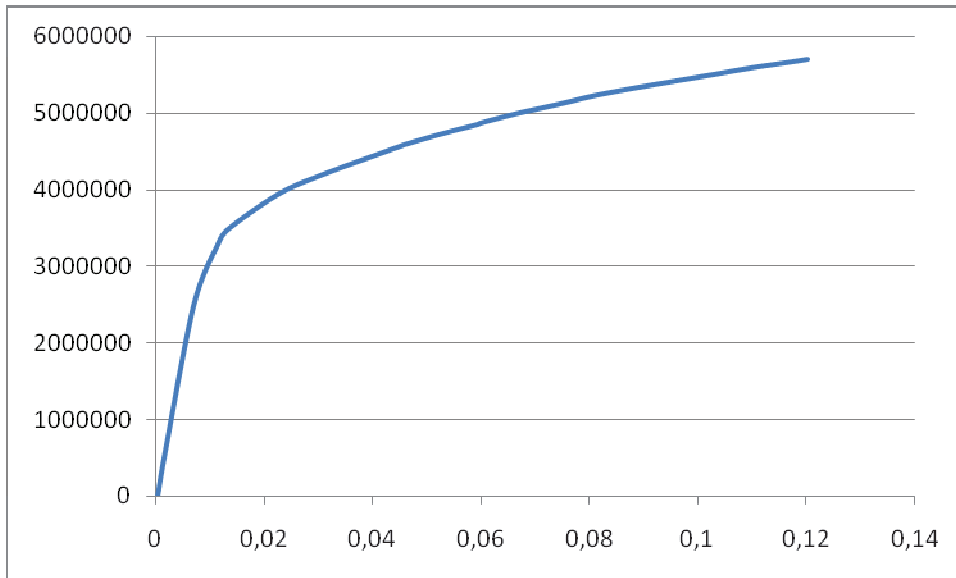
$18\phi 14 - 4\phi 16$

Şekil 5.10. S30/150 kolon detayı

5.3. Sayısal Çözümleme

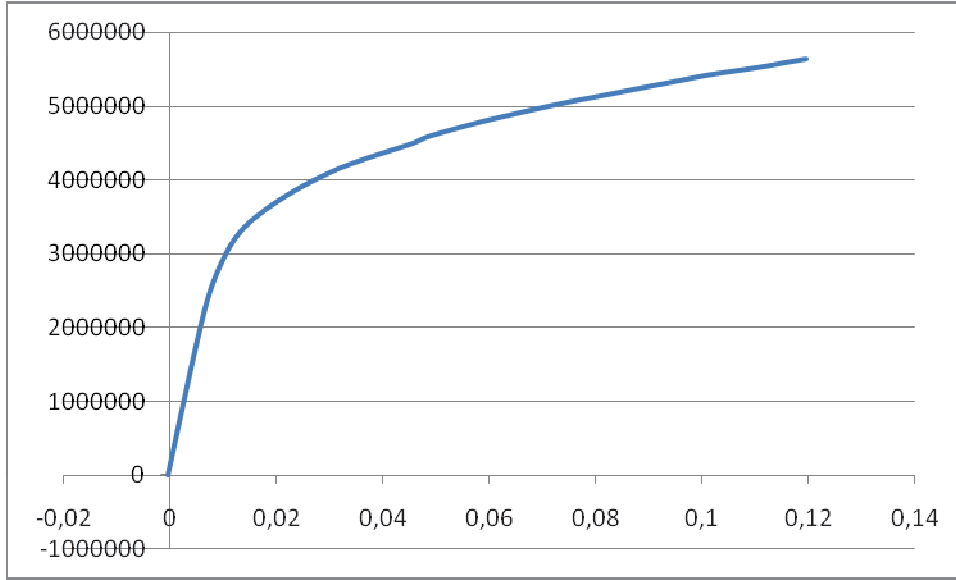
TDY 2007 7.6.3.(b)'ye göre artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılmıştır. Bu analiz sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınmıştır. Her iki doğrultuda yeteri kadar doğal titreşim modu ile orantılı olarak katlara gelen yükler altında yapılan itme analizinden, eksenleri tepe yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti olan itme eğrileri elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen x doğrultusu itme eğrisi Şekil 5.11'de y doğrultusu itme eğrisi Şekil 5.12'de sunulmuştur.

Taban Kesme Kuvveti (ton)



Tepe Deplasmanı (m)

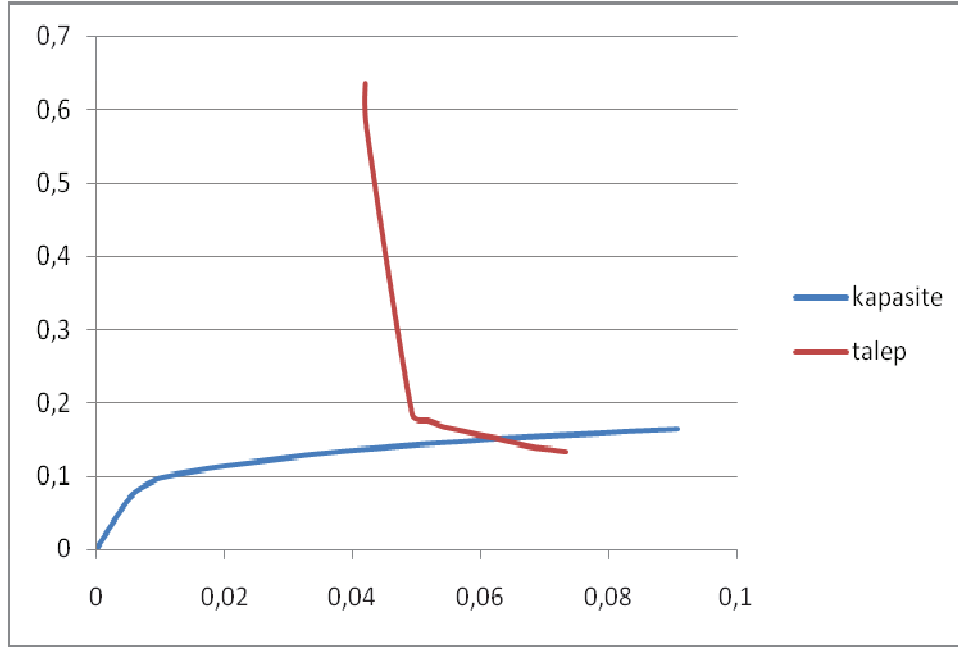
Şekil 5.11. X doğrultusunda itme eğrisi

Taban Kesme Kuvveti (ton)**Tepe Deplasmanı (m)**

Şekil 5.12. Y doğrultusunda itme eğrisi

x , y doğrultuları için statik itme eğrisi, eksenleri modal yerdeğiştirme – modal ivme olan modal kapasite diyagramına dönüştürüldükten sonra, tasarım depremi için spektrum eğrisi, talep (istem) spektrumuna dönüştürülmüş ve kapasite diyagramıyla ilişkisi incelenmiştir. X, y doğrultularında tasarım depremi için talep ve kapasite eğrileri Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’ de verilmiştir. Yapıya ait performans noktası değerleri aşağıdaki Tablo 5.2, Tablo 5.3’ de verilmiştir.

Spektral ivme (g)



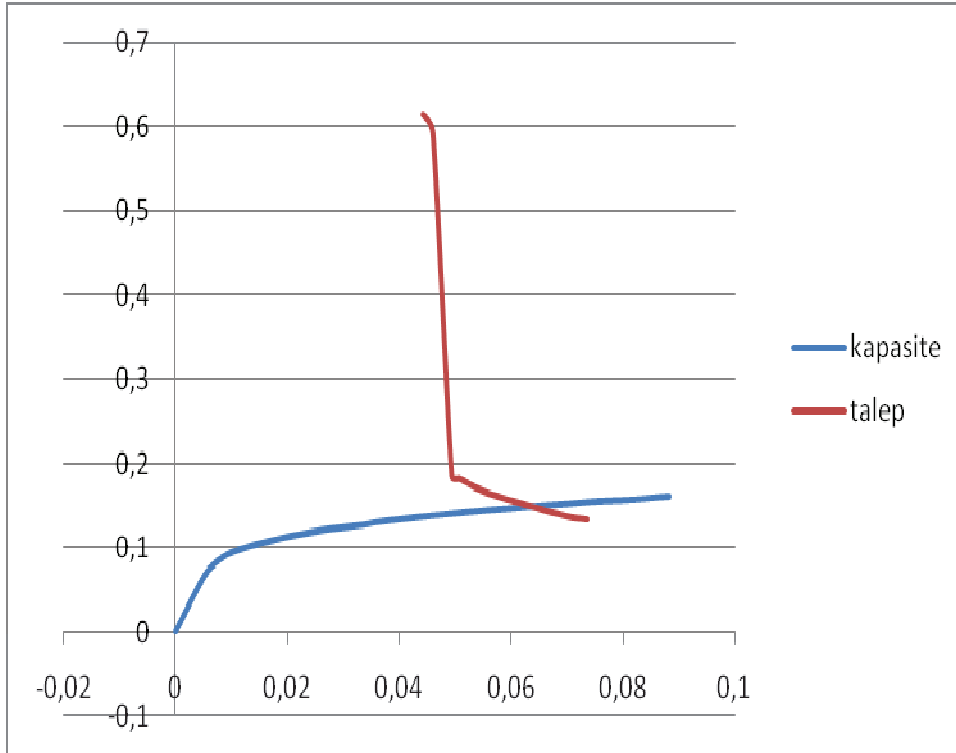
Spektral yerdeğiştirme (m)

Şekil 5.13. X doğrultusunda tasarım depremi için talep ve kapasite eğrileri

Tablo 5.2. X doğrultusunda tasarım depremi için performans noktası değerleri

Performans Noktası			
Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g Sa	Spektral yerdeğiştirme, Sd (m)
524.915	0.083	0.152	0.063

Spektral ivme (g)



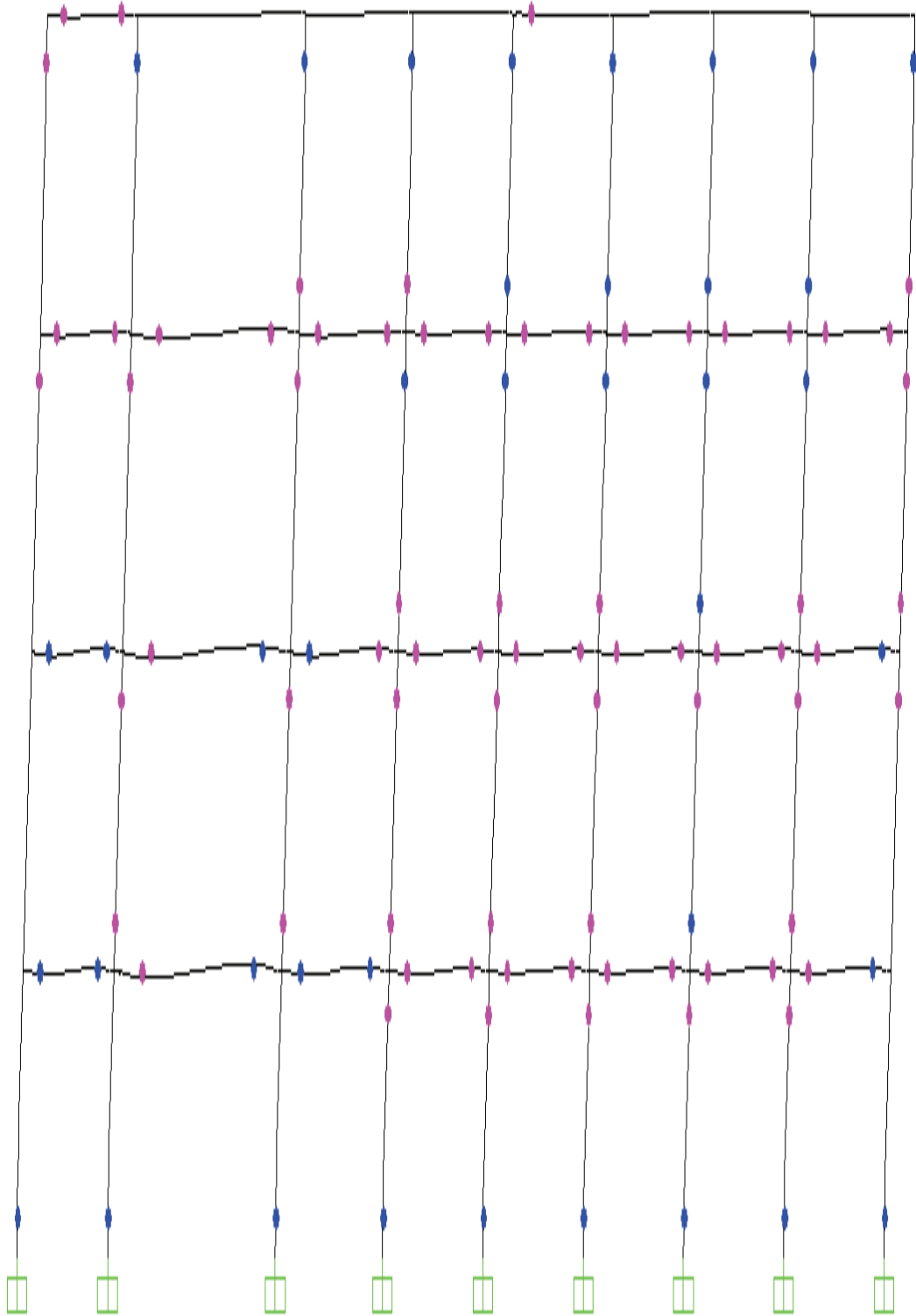
Spektral yerdeğiştirme (m)

Şekil 5.14. Y doğrultusunda tasarım depremi için talep ve kapasite eğrileri

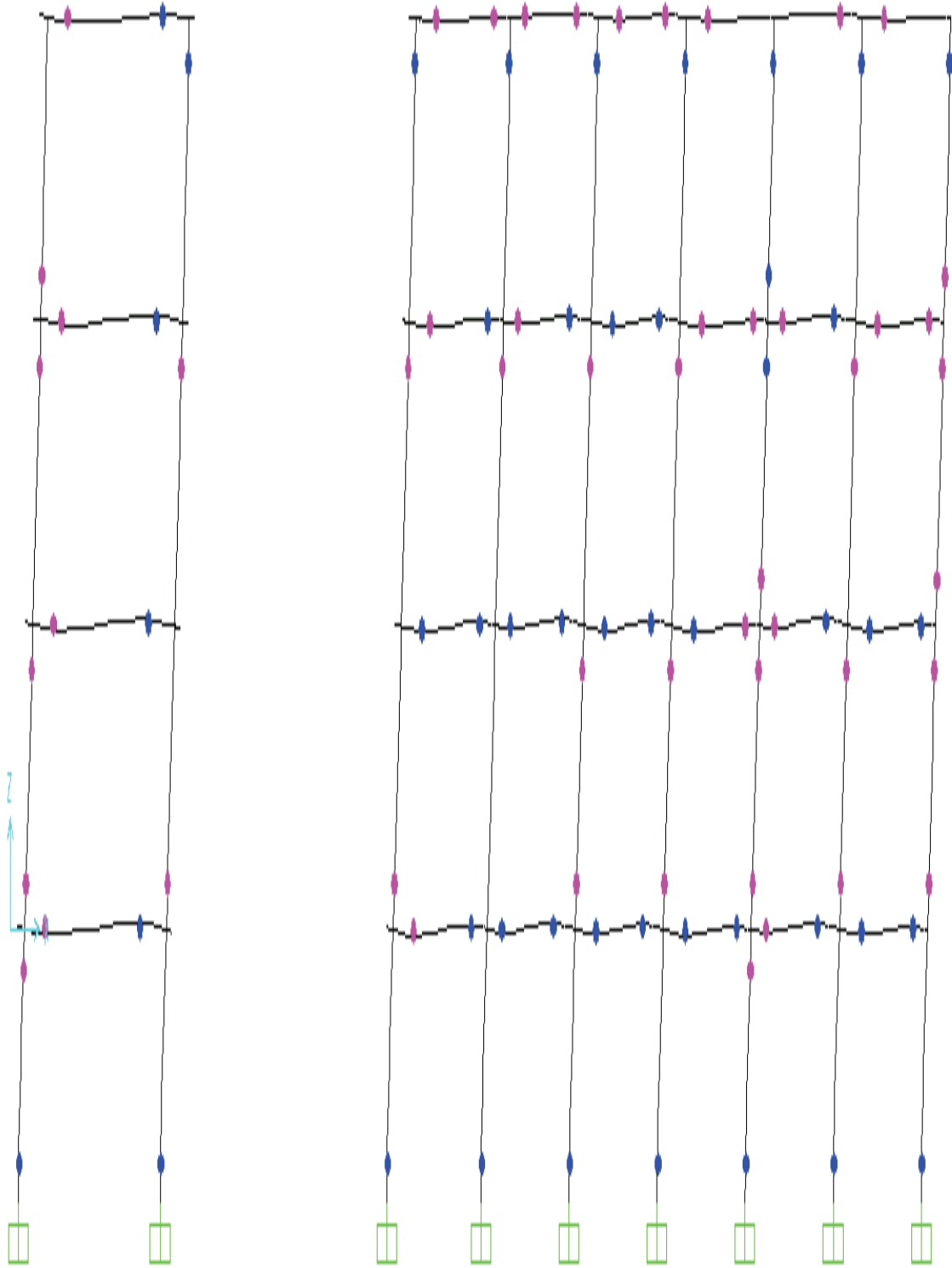
Tablo 5.3. Y doğrultusunda tasarım depremi için performans noktası değerleri

Performans Noktası			
Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g Sa	Spektral yerdeğiştirme, Sd (m)
522.254	0.086	0.149	0.064

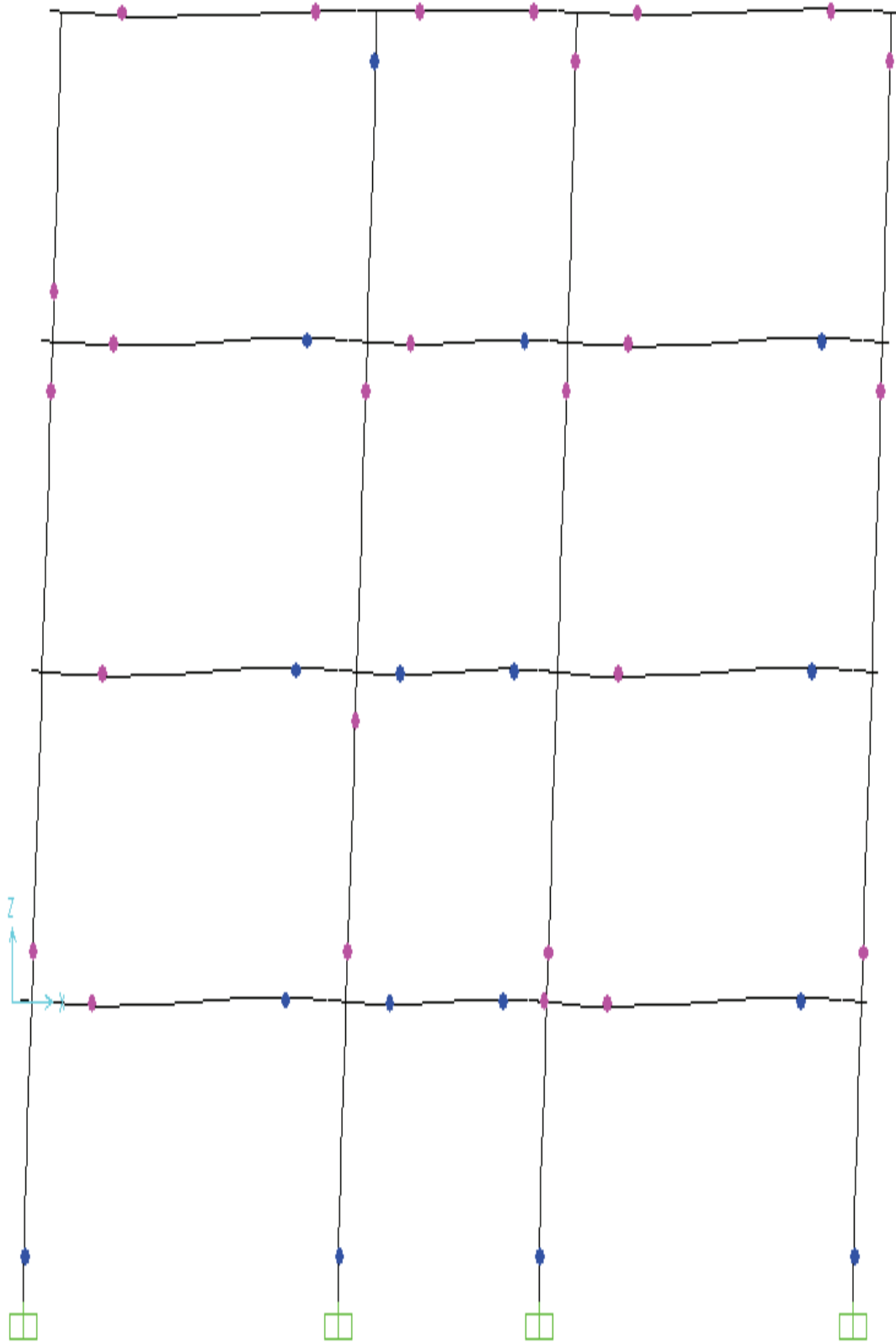
Taşıyıcı sistemin modal yerdeğiştirme istemi belirlenerek itme analizi yerdeğiştirme istemi sınır kabul ederek tekrarlanır. İtme analizi altında oluşan birim şekil değıştirmeler yönetmelikte belirtilen sınırlarla karşılaştırılarak taşıyıcı sistemin mevcut performans durumu belirlenir. Okul olarak kullanılan bu yapıda tasarım depremi altında hemen kullanım performans seviyesi, şiddetli deprem altında ise can güvenliği performans seviyesi elde edilmelidir. Oluşan plastik mafsallar aks bazında ekran görüntüsü olarak her iki yönde verilmiştir. Burada pembe renk ile gösterilen durum minimum hasar sınırını mavi renkle ifade edilen durum belirgin hasar sınırını ifade etmektedir.



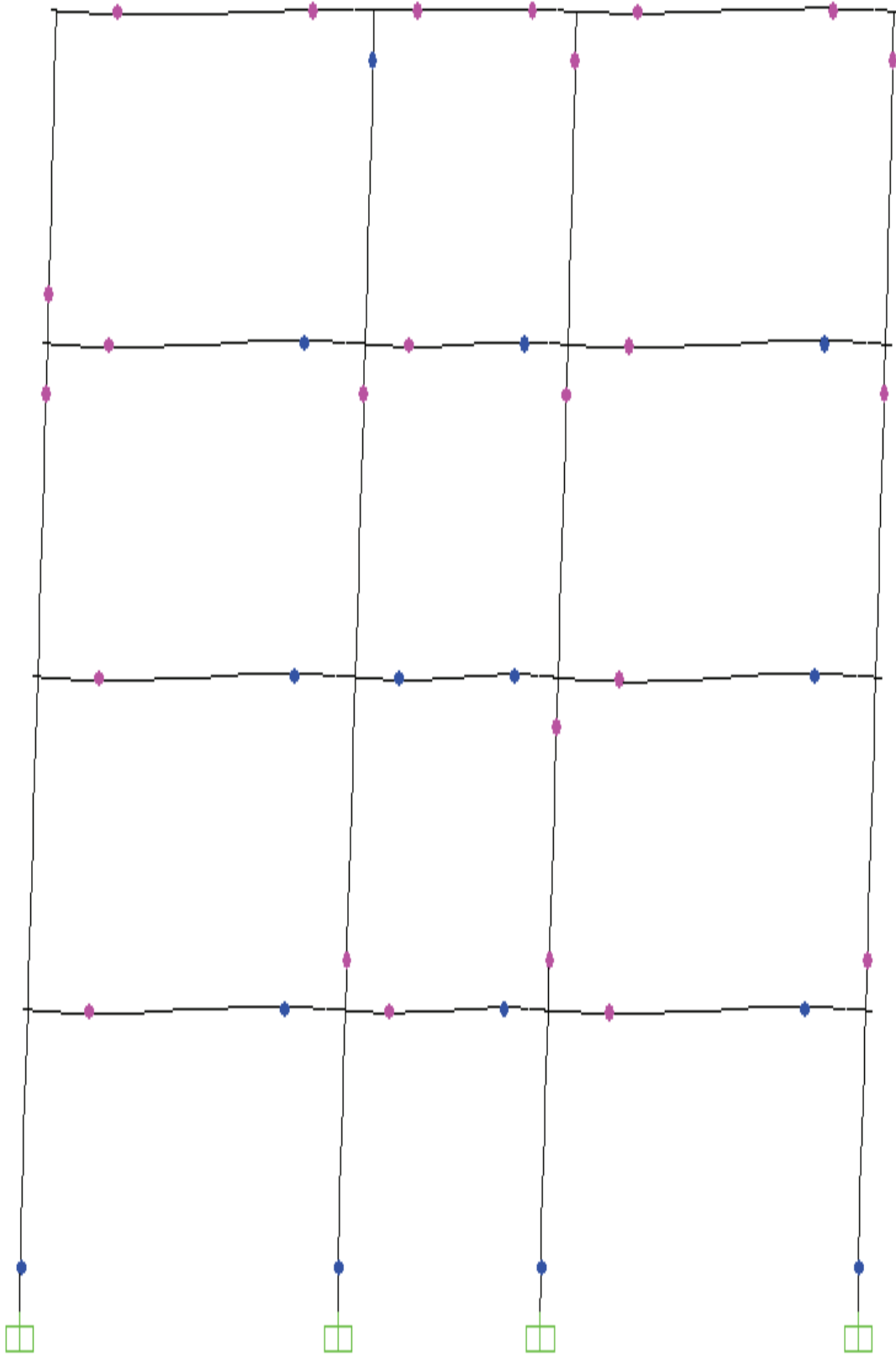
Şekil 5.15. A-A aksı, x doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsal durumu, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi)



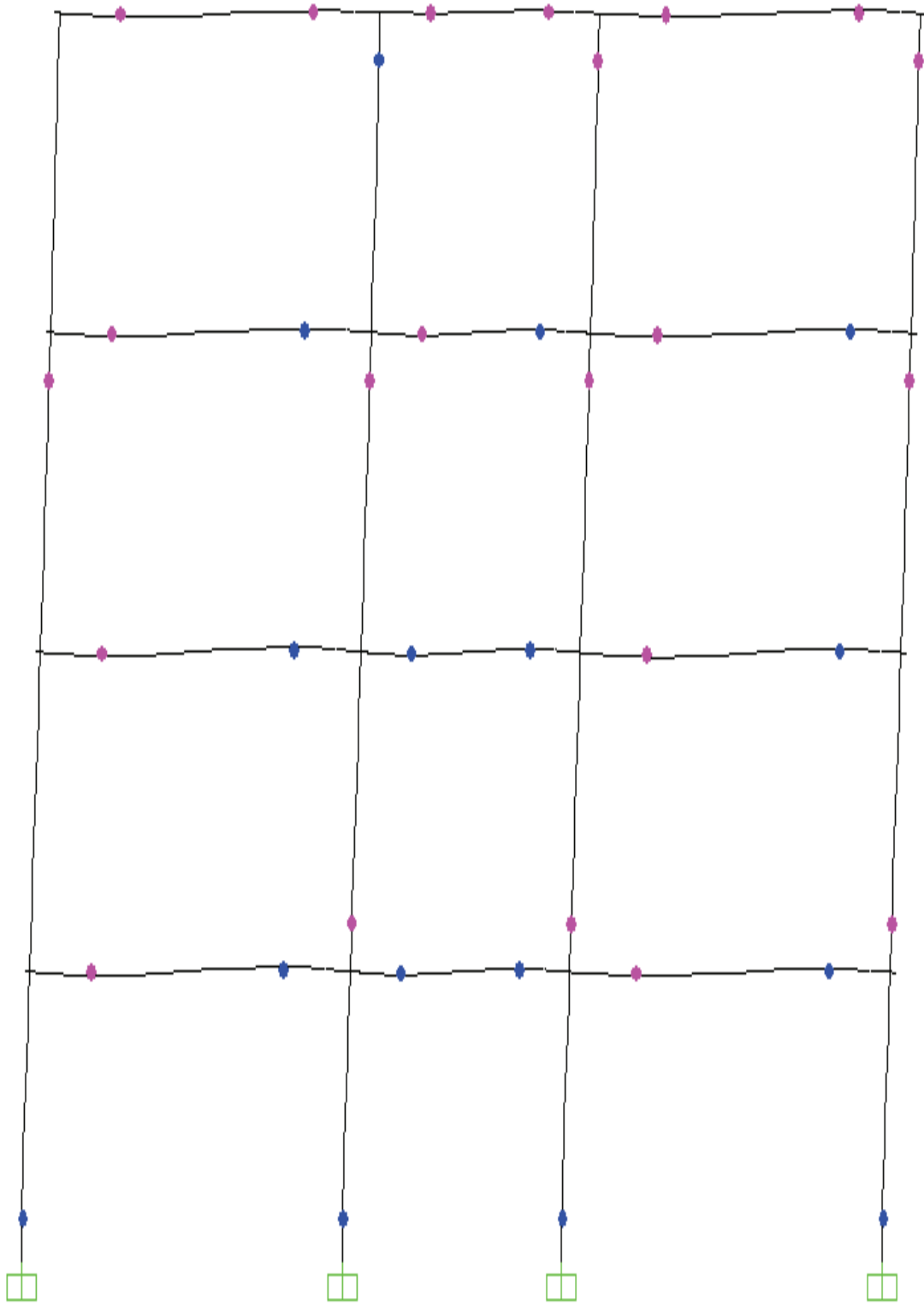
Şekil 5.16.C-C aksı, x doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsalları, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi)



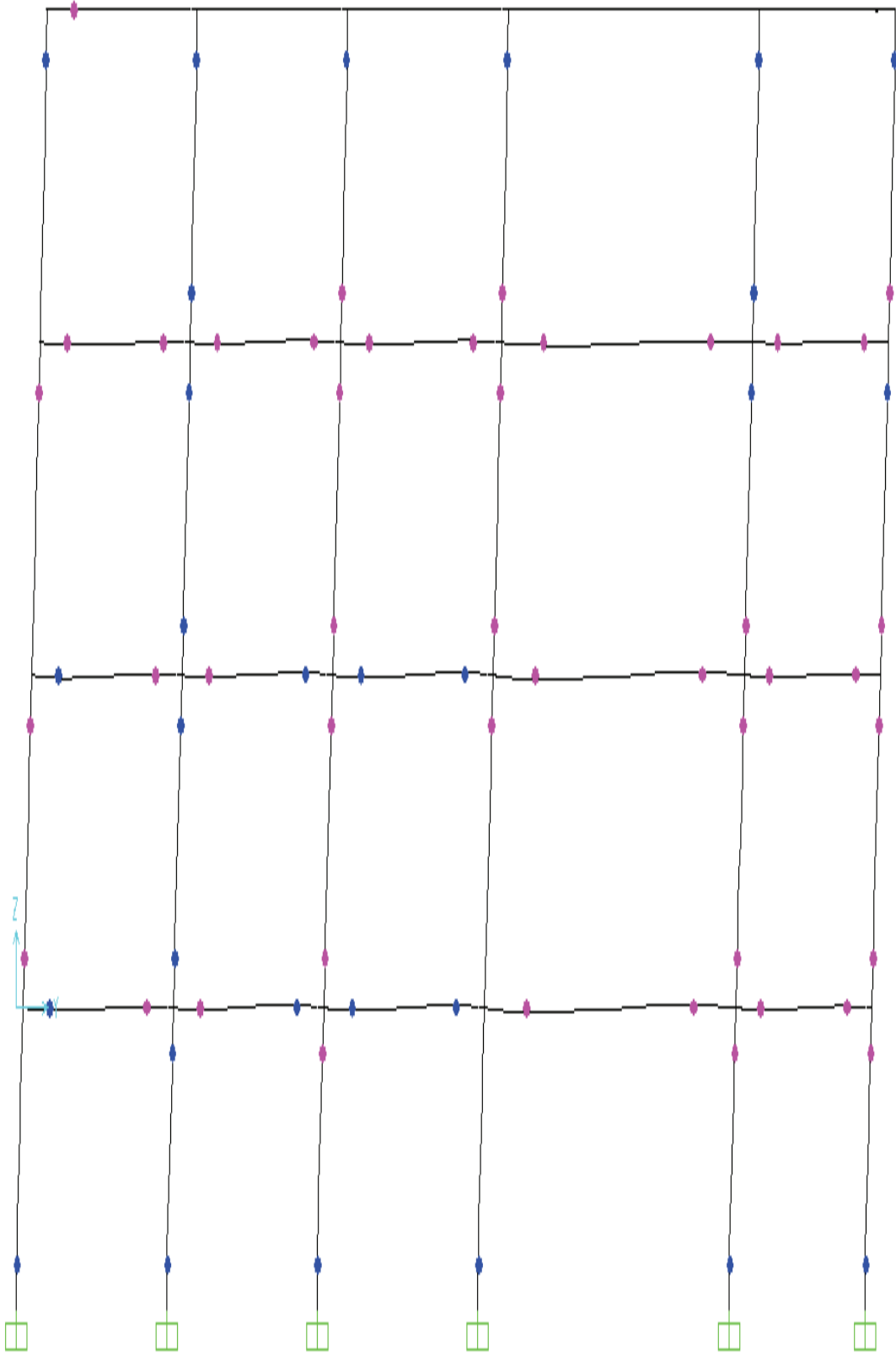
Şekil 5.17.G-G aksı, x doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsal durumu, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi)



Şekil 5.18.10-10 aksı, y doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsal durumu, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi)



Şekil 5.19. 8-8 aksı, y doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsalları durumu, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi)



Şekil 5.20. 1-1 aksı, y doğrultusu için analiz sonucunda oluşan plastik mafsalları, minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi)

DBYBHY'07 de, düşey taşıyıcı elemanların hiçbirinin minimum hasar seviyesini geçmemesi ve kirişlerin en fazla yüzde 10' unun belirgin hasar bölgesinde olması ve belirgin hasar bölgesinde kolon ve perde bulunmaması durumunda bina hemen kullanım durumunda olduğu kabul edilmektedir. Can güvenliği performans seviyesi içinse kirişlerin en fazla %30'u ileri hasar bölgesine geçebilir, ileri hasar bölgesinde kolon kesme kuvvetleri %20 (son kat %40) 'yi aşamaz, her iki ucu birden 'MN' sınırını aşan kolon kesme kuvvetleri %30' u aşamaz, kolon ve perdeler göçme bölgesine geçemez.

Tablo 5.4. Tasarım depremi x doğrultusu eleman hasar durumları

	Eleman	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme
4. Kat	Kiriş	%100	0	0	0
	Kolon	0	0	0	0
3. Kat	Kiriş	%96	%4	0	0
	Kolon	%27	%34	0	0
2. Kat	Kiriş	%67	%33	0	0
	Kolon	%22	%25	0	0
1. Kat	Kiriş	%58	%41	%1	0
	Kolon	%22	%98	0	0

Yukarıdaki ifadeye göre değerlendirildiğinde de; x doğrultusunda tasarım depremi için kirişlerin %10'dan daha fazlasının belirgin hasar bölgesinde olduğu için ve düşey taşıyıcı elemanların minimum hasar seviyesini geçtiği için hemen kullanım performans düzeyini sağlamamaktadır. (Tablo 5.4)

Tablo 5.5. Tasarım depremi y doğrultusu eleman hasar durumları

	Eleman	Minimum Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme
4. Kat	Kiriş	%99	%1	0	0
	Kolon	0	%1	0	0
3. Kat	Kiriş	%95	%5	0	0
	Kolon	%14	%17	0	0
2. Kat	Kiriş	%77	%23	0	0
	Kolon	%16	%16	0	0
1. Kat	Kiriş	%72	%28	0	0
	Kolon	%16	%87	0	0

Y doğrultusunda tasarım depremi için kirişlerin %10'dan daha fazlasının belirgin hasar bölgesinde olduğu için ve düşey taşıyıcı elemanların minimum hasar seviyesini geçtiği için hemen kullanım performans düzeyini sağlamamaktadır. (Tablo 5.5)

5.4. Parametrik Çalışma

Çalışmanın bu bölümünde mevcut okul binası üzerinde parametre değişikliklerinin performans noktasına etkisini incelemek amacıyla sırasıyla aşağıdaki değişiklikler yapılmıştır.

Performans noktasına beton ve donatı sınıfının etkisini incelemek amacıyla; kolon ve kiriş kesitleri, kat yükseklikleri sabit tutularak beton ve donatı sınıfları değiştirilip çözümlenmeler yapılmıştır.

Yine kolon ve kiriş boyutları, donatı sınıfı sabit tutularak; beton sınıfı ile kat yüksekliğinin performans noktasına etkisini incelemek amacıyla beton sınıfı ile kat yüksekliği değiştirilerek çözümlenmeler yapılmıştır.

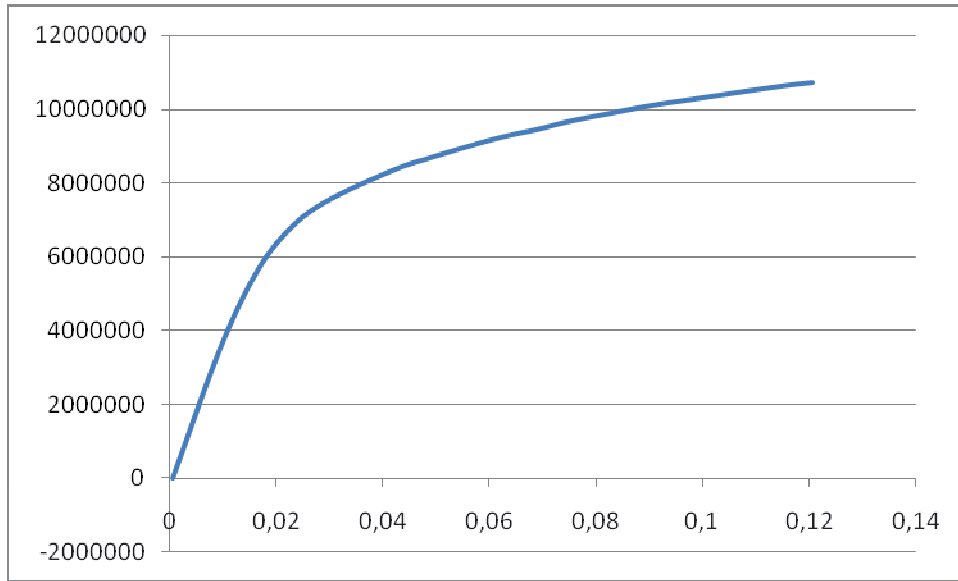
İlk çözümlene için beton ve donatı sınıfında yapılan değişiklikler Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6. Yapılan çözümlenmede değiştirilen beton ve donatı sınıfı

Beton Sınıfı (f_c)	Donatı Sınıfı (f_y)	Elastisite modülü, E (kN/m ²)	Beton basınç mukavemeti, f_c (kN/m ²)
C20	S420	28500000	20000

Beton ve donatı sınıfı değişimi sonucu oluşan itme eğrisi Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de, talep ve kapasite eğrileri Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'de gösterilmiştir.

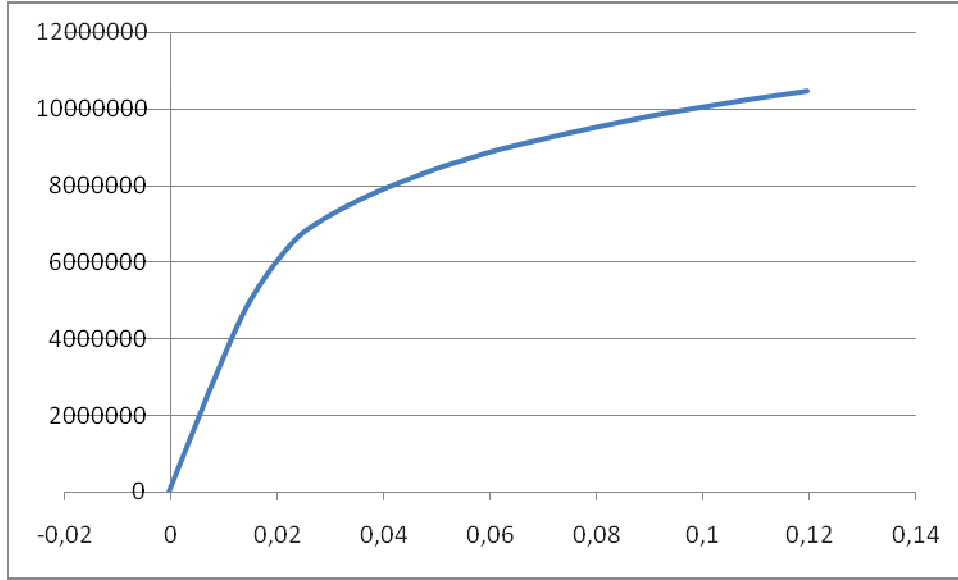
Taban Kesme Kuvveti (ton)



Tepe Deplasmanı (m)

Şekil 5.21. C20,S420 için X doğrultusunda itme eğrisi

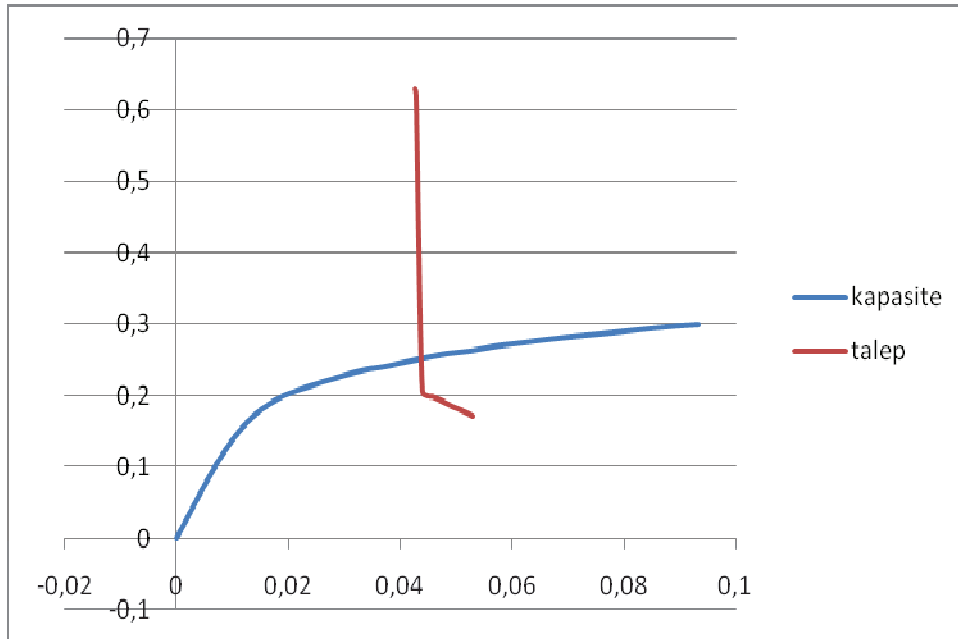
Taban Kesme Kuvveti (ton)



Tepe Deplasmanı (m)

Şekil 5.22. C20,S420 için Y doğrultusunda itme eğrisi

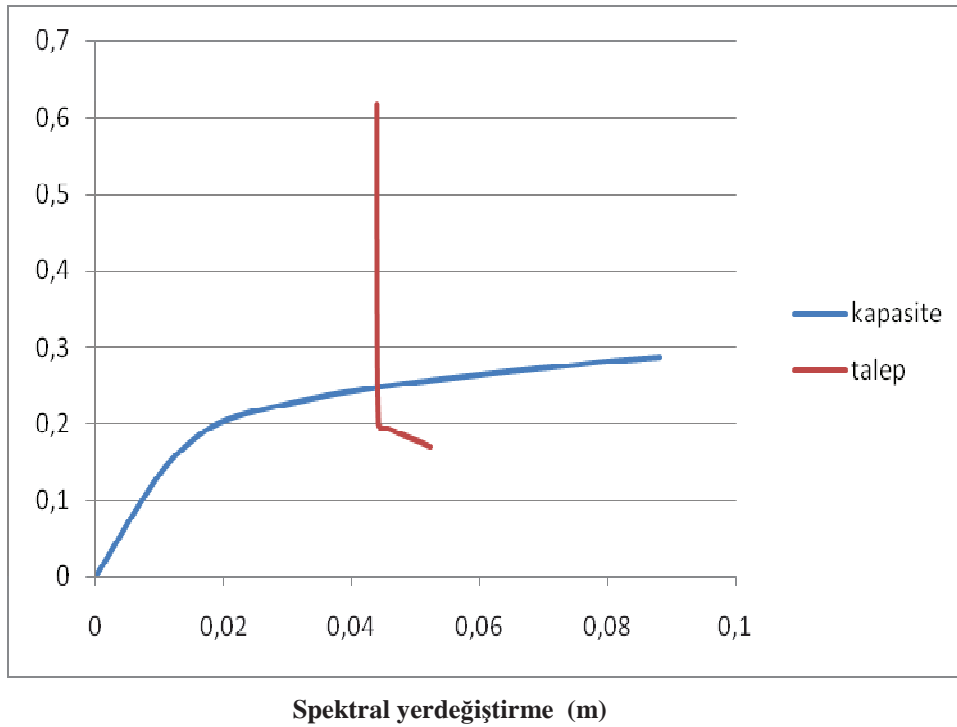
Spektral ivme (g)



Spektral yerdeğiştirme (m)

Şekil 5.23. C20,S420 için X doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri

Spektral ivme (g)



Şekil 5.24. C20,S420 için Y doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri

Beton ve donatı sınıfında yapılan değişiklik sonucunda X doğrultusunda performans noktasında (V , D , S_a , S_d) meydana gelen değişiklikler aşağıdaki Tablo 5.7' de verilmiştir.

Tablo 5.7. X doğrultusunda beton ve donatı sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi

Beton ve donatı sınıfı	Performans Noktası			
	Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g S_a	Spektral yerdeğiştirme, S_d (m)
C6,S220	524.915	0.083	0.152	0.063
C20,S420	877.460	0,051	0,243	0,039

Yapılan çözümlenme sonucunda beton sınıfının C6 iken C20 olması ile donatı sınıfının S220 iken S420 olması, X doğrultusunda performans noktasına karşılık gelen taban kesme kuvvetinde %67.16' lık bir artış meydana getirirken deplasman değerinde %38.55' lik bir azalma göstermektedir.

Beton ve donatı sınıfında yapılan değişiklik sonucunda Y doğrultusunda performans noktasında (V , D , S_a , S_d) meydana gelen değişiklikler aşağıdaki Tablo 5.8' de verilmiştir.

Tablo 5.8. Y doğrultusunda beton ve donatı sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi

Beton ve donatı sınıfı	Performans Noktası			
	Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g Sa	Spektral yerdeğiştirme, Sd (m)
C6,S220	522.254	0.086	0.149	0.064
C20,S420	857.164	0,053	0,241	0,039

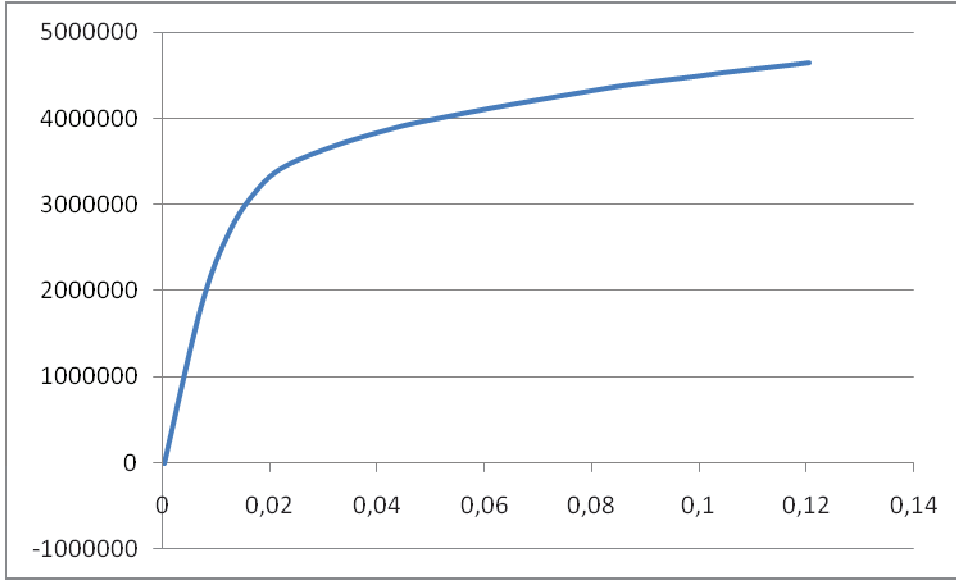
Yapılan çözümlleme sonucunda beton sınıfının C6 iken C20 olması ile donatı sınıfının S220 iken S420 olması, Y doğrultusunda performans noktasına karşılık gelen taban kesme kuvvetinde %64.13' lik bir artış meydana getirirken deplasman değerinde %38.37' lik bir azalma göstermektedir.

İkinci çözümlleme yapılan değişiklikler aşağıdaki Tablo 5.9' da verilmiştir.

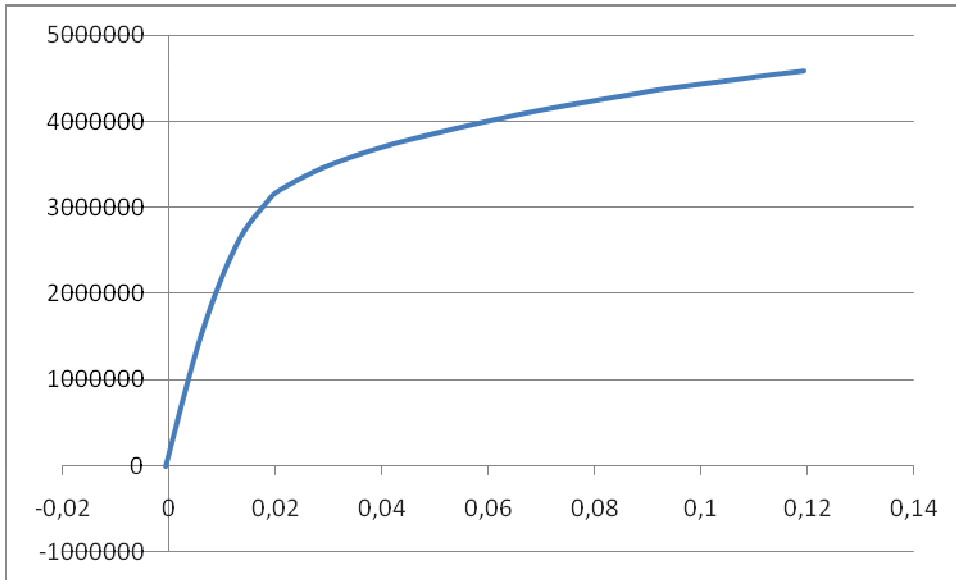
Tablo 5.9. Yapılan çözümlleme değiştirilen kat yüksekliği ve beton sınıfı

Bodrum Kat Yüksekliği (m)	Beton Sınıfı (fc)	Elastisite modülü, E (kN/m ²)	Beton basınç mukavemeti, fc (kN/m ²)
4,5	C14	26150000	14000

Bodrum kat yüksekliği ve beton sınıfı değişimi sonucu oluşan itme eğrisi Şekil 5.25 ve Şekil 5.26' da, talep ve kapasite eğrileri Şekil 5.27 ve Şekil 5.28' de gösterilmiştir.

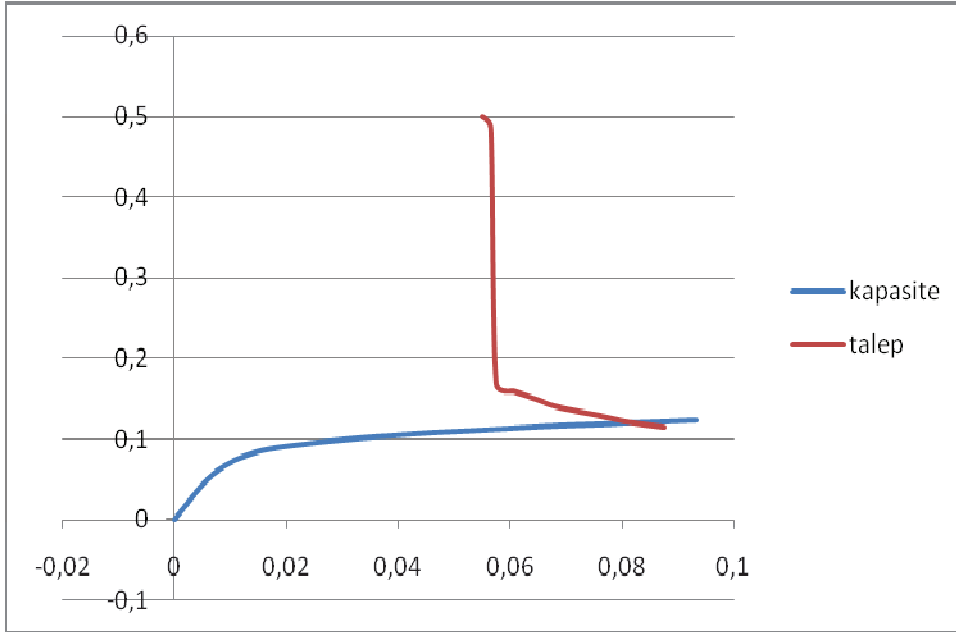
Taban Kesme Kuvveti (ton)**Tepe Deplasmanı (m)**

Şekil 5.25. C14 için X doğrultusunda itme eğrisi

Taban Kesme Kuvveti (ton)**Tepe Deplasmanı (m)**

Şekil 5.26. C14 için Y doğrultusunda itme eğrisi

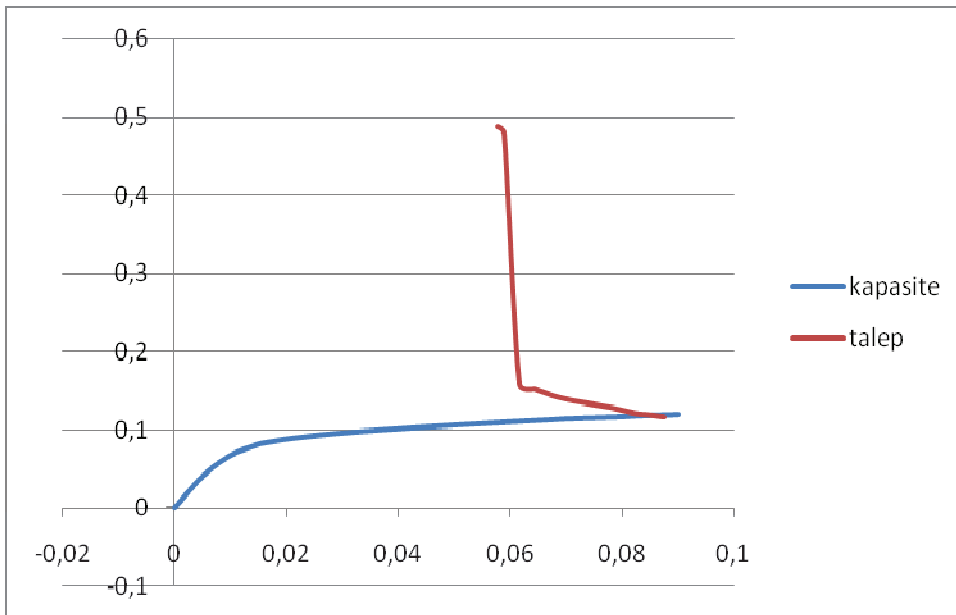
Spektral ivme (g)



Spektral yerdeğiştirme (m)

Şekil 5.27. C14 için X doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri

Spektral ivme (g)



Spektral yerdeğiştirme (m)

Şekil 5.28. C14 için Y doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri

Bodrum kat yüksekliği ve beton sınıfında yapılan değişiklik sonucunda X doğrultusunda performans noktasında (V , D , S_a , S_d) meydana gelen değişiklikler aşağıdaki Tablo 5.10' da verilmiştir.

Tablo 5.10. X doğrultusunda bodrum kat yüksekliği ve beton sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi

Beton sınıfı	Bodrum kat yüksekliği	Performans Noktası			
		Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g Sa	Spektral yerdeğiştirme, Sd (m)
C6	3	524.915	0.083	0.152	0.063
C14	4,5	454.291	0,107	0,12	0,083

Yapılan çözümlenme sonucunda beton sınıfının C6 iken C14 olması ile bodrum kat yüksekliğinin 3 iken 4,5 olması, X doğrultusunda performans noktasına karşılık gelen taban kesme kuvvetinde %13.45'lik bir azalma meydana getirirken deplasman değerinde %28.92'lik bir artma göstermektedir.

Bodrum kat yüksekliği ve beton sınıfında yapılan değişiklik sonucunda Y doğrultusunda performans noktasında (V, D, S_a, S_d) meydana gelen değişiklikler aşağıdaki Tablo 5.11' de verilmiştir.

Tablo 5.11. Y doğrultusunda bodrum kat yüksekliği ve beton sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi

Beton sınıfı	Bodrum kat yüksekliği	Performans Noktası			
		Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g Sa	Spektral yerdeğiştirme, Sd (m)
C6	3	522.254	0.086	0.149	0.064
C14	4,5	454.212	0.113	0.119	0.085

Yapılan çözümlenme sonucunda beton sınıfının C6 iken C14 olması ile bodrum kat yüksekliğinin 3 iken 4,5 olması, Y doğrultusunda performans noktasına karşılık gelen taban kesme kuvvetinde %13.03'lik bir azalma meydana getirirken deplasman değerinde %31.40'lık bir artma göstermektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bilindiği gibi ülkemiz aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Bu nedenle değişik zamanlarda önemli büyüklüklerde depremler meydana gelmektedir. Ülkemizdeki yapılar açısından gerçek deprem davranışı büyük önem taşımaktadır. Daha önceleri yapılan mühendislik hesaplamalarında elastik yöntemler kullanılmaktadır. Oysa yapılan çalışmalar nonlinear hesabın önemini ortaya çıkarmıştır. Elastik yöntemin kullanıldığı hesaplarda nonlinear davranış deprem yüklerinin azaltılması esasına göre dikkate alınmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar yapıların tasarımında nonlinearliğin dikkate alınması için çeşitli yöntemler öne sürmüştür. Çoğunlukla plastik mafsal teorisine dayalı basitleştirilmiş nonlinear hesap olarak bilinen “statik itme analizi” kullanılmaktadır. Bu analizde yapıda meydana gelen yer değiştirmeler ve buna karşı gelen kesit etkileri ve yapı elemanlarında meydana gelen lineer-nonlinear şekil değiştirmeler belirlenebilmektedir. Bu sonuçlardan yararlanarak yapıların performansları hakkında yorumlar yapmamıza olanak sağlamaktadır. Bu doğrultuda, doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan davranışı esas alan yaklaşımlar ile mevcut binaların değerlendirilmesi için Türk Deprem Yönetmeliği 2007’de (TDY 2007) yeni bir bölüm eklenmiştir.

Yapıların deprem yükleri altındaki gerçek davranışları ve buna bağlı kesit etkileri tasarım açısından oldukça önemlidir. Bu gereksinme sonucunda statik itme analizinden de faydalanarak yapıların nonlinear davranışlarının da dikkate alındığı performansa dayalı tasarım ön plana çıkmaktadır. Mevcut binaların veya yapılacak binaların istenen performans seviyesinde tasarımına imkan vermektedir. Bu çalışmada performansa dayalı tasarım teorik olarak mevcut yönetmelik kurallarına da bağlı olarak ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Sayısal çalışma olarak da yöntemin kullanıldığı mevcut bir yapının performansının belirlenmesi çalışması ve parametrik çalışma yapılmıştır.

Çalışmada incelenen mevcut okul binasının statik itme analizi yapılarak, yapıya ait kapasite eğrisi çizilmiş ve performans seviyesi belirlenmiştir. Söz konusu yapının taşıyıcı sistemi, TDY 2007' ye göre tasarım ve şiddetli deprem için hedeflenen performans düzeyini sağlayamadığı belirlenmiştir. Yapının güçlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yapılan parametrik çalışmada ise bazı parametrelerin performans noktası üzerindeki etkileri araştırılmıştır;

Donatı ve beton sınıfı değiştirilmesi durumunda;

Tablo 6.1. X doğrultusunda beton ve donatı sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi

Beton ve donatı sınıfı	Performans Noktası			
	Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g Sa	Spektral yerdeğiştirme, Sd (m)
C6,S220	524.915	0.083	0.152	0.063
C20,S420	877.460	0,051	0,243	0,039

Beton sınıfının C6 iken C20 olması ile donatı sınıfının S220 iken S420 olması, X doğrultusunda performans noktasına karşılık gelen taban kesme kuvvetinde %67.16'lık bir artış meydana getirirken deplasman değerinde %38.55'lik bir azalma göstermektedir.

Tablo 6.2. Y doğrultusunda beton ve donatı sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi

Beton ve donatı sınıfı	Performans Noktası			
	Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g Sa	Spektral yerdeğiştirme, Sd (m)
C6,S220	522.254	0.086	0.149	0.064
C20,S420	857.164	0,053	0,241	0,039

Beton sınıfının C6 iken C20 olması ile donatı sınıfının S220 iken S420 olması, Y doğrultusunda performans noktasına karşılık gelen taban kesme kuvvetinde %64.13'lük bir artış meydana getirirken deplasman değerinde %38.37'lik bir azalma göstermektedir.

Beton sınıfı ve kat yüksekliği değiştirilmesi durumunda;

Tablo 6.3. X doğrultusunda bodrum kat yüksekliği ve beton sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi

Beton sınıfı	Bodrum kat yüksekliği	Performans Noktası			
		Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g Sa	Spektral yerdeğiştirme, Sd (m)
C6	3	524.915	0.083	0.152	0.063
C14	4,5	454.291	0,107	0,12	0,083

Beton sınıfının C6 iken C14 olması ile bodrum kat yüksekliğinin 3 iken 4,5 olması, X doğrultusunda performans noktasına karşılık gelen taban kesme kuvvetinde %13.45'lik bir azalma meydana getirirken deplasman değerinde %28.92'lik bir artma göstermektedir.

Tablo 6.4. Y doğrultusunda bodrum kat yüksekliği ve beton sınıfındaki değişikliğin performans noktasına etkisi

Beton sınıfı	Bodrum kat yüksekliği	Performans Noktası			
		Taban kesme kuvveti, V (t)	Yerdeğiştirme, D (m)	Spektral ivme / g Sa	Spektral yerdeğiştirme, Sd (m)
C6	3	522.254	0.086	0.149	0.064
C14	4,5	454.212	0,113	0,119	0,085

Beton sınıfının C6 iken C14 olması ile bodrum kat yüksekliğinin 3 iken 4,5 olması, Y doğrultusunda performans noktasına karşılık gelen taban kesme kuvvetinde %13.03'lük bir azalma meydana getirirken deplasman değerinde %31.40'lık bir artma göstermektedir.

Performansa dayalı tasarımda, yapıların ekonomik boyutlandırılması ve performans seviyesinin daha sağlıklı belirlenmesi için giriş mekanizmasıyla göçmesinin sağlanması daha uygun olmaktadır.

Yapıların güçlendirilmesinde statik itme analizi kullanılması ve performansa göre dizayn edilmesi daha gerçekçi sonuçlar elde etmemizi sağlar. Buna bağlı olarak sistemin deprem sonrası mevcut durumunun belirlenmesi ve ona göre bir çözüm üretilmesi (güçlendirme yapılması) daha uygun olmaktadır. Ayrıca yeni yapılacak yapıların tasarımında, deprem sonrası olabilecek hasar durumlarının daha gerçekçi belirlenmesi açısından da kullanılması uygundur.

Bu güncel metodlar ışığında, eski yönetmeliklere göre tasarlanan ve inşa edilen mevcut binaların büyük bir bölümünün yeni yönetmeliklere göre güvenli olma ihtimali azalmıştır. Çoğunlukla 1975 Deprem Yönetmeliği şartlarına göre projelendirilmiş, inşa edilmiş ve önemli bir kısımda C18'den düşük beton dayanımına ve S220 sınıfı donatıya sahip olan bu binaların deprem performans seviyelerinin belirlenmesi ve yetersiz olanların güçlendirilerek gerekli performans seviyesine getirilmesi, meydana gelecek depremlerde can kayıplarının azaltılması bakımından son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] ATC (1996), "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC-40)", Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.
- [2] AYDINOĞLU, M.N., Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü, EQE 630 Ders Notları, 2004.
- [3] AYDINOĞLU, M.N., "Deprem Mühendisliğinde Dayanıma Göre Tasarımdan Şekil Değiştirmeye Göre Tasarıma", Sakarya Üniversitesi Semineri, 2005.
- [4] CELEP, Z., KUMBASAR, N, "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı" , Sema Matbaacılık, İstanbul, 1993.
- [5] CELEP, Z., "Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış Ve Çözümleme" , Beta Dağıtım, İstanbul, 2008.
- [6] CHOPRA, A.K., GOEL, R.K., "Capacity-Demand-Diagram Methods Based on Inelastic Design Spectrum" , Earthquake Spectra, pp. 637- 656, 1999.
- [7] CHOPRA, A.K., "Dynamics of Structures", Theory and Applications to Earthquake Engineering, 2nd Ed., Chapter 7, pp. 257-264, Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- [8] "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007", İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 2010.
- [9] FEMA, "NEHRP Commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings.", FEMA 274, Washington D.C., 1997.
- [10] POLAT, Z., KIRÇIL, M., HANCIOĞLU, B., "Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliklerinin İncelenmesi ve Performans Yaklaşımı", Y.T.Ü İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2004.
- [11] SAP 2000, Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 2000.
- [12] TS500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.

ÖZGEÇMİŞ

Feyza Dinçer, 14.02.1982 de Erzurum'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Erzurum'da tamamladı. 1999 yılında Hendek Anadolu Lisesi'nden mezun oldu ve eğitimine Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde devam etti, 2003 yılında mezun oldu. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı.