

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BİR BETONARME BİNANIN DEPREM
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Ahmet Ekin ŞENTÜRK

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zekai CELEP

HAZİRAN 2004

**MEVCUT BİR BETONARME BİNANIN DEPREM
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İnş. Müh. Ahmet Ekin ŞENTÜRK
501021032**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Haziran 2004

Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Haziran 2004

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Zekai CELEP

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Feridun ÇILI (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2004

ÖNSÖZ

Bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan sayın hocam Prof. Dr. Zekai Celep'e,

Çalışmalarında ilgi ve yardımları dolayısıyla Ar. Gör. Kutlu Darılmaz'a, Ar. Gör. Yavuz Durgun'a ve Ar. Gör. Günhan Aksoylu'ya,

Çalışmalarım süresince bana gösterdikleri ilgi ve destekleri için aileme,

Teşekkür ederim.

Haziran 2004

Ahmet Ekin ŞENTÜRK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	X
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. PERFORMANS HEDEFİ.....	3
2.1. Giriş	3
2.2. Performans Seviyeleri.....	3
2.2.1. Taşıyıcı Elemanların Performans Seviyeleri.....	5
2.2.2. Taşıyıcı Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri	6
2.2.3. Bina Performans Seviyeleri.....	8
2.3. Deprem Hareketi.....	9
2.3.1. FEMA 273 ve FEMA 356 Raporlarında Tanımlanan Deprem Hareketleri	10
2.4. Performans Hedefleri	10
2.4.1. Temel Güvenlik Hedefi.....	11
3. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ	13
3.1. Giriş	13
3.2. Temel Kavramlar	13
3.3. Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri.....	15
3.3.1. Elastik Karşılık Spektrumunun Oluşturulması.....	18
3.3.2. Kapasite Eğrisinin Oluşturulması	20
3.3.3. Sismik Talebin Belirlenmesi	22
3.3.4. Kapasite Spektrumu Yöntemi ile Sismik Talebin Belirlenmesi	22
3.3.4.1. Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi	23
3.3.4.2. Elastik Karşılık Spektrumunun ve Kapasite Spektrumunun ADRS Formatına Dönüştürülmesi	26

3.3.4.3.	Kapasite Spektrumu'nun İdeal Hale Getirilmesi	27
3.3.4.4.	Sönüm Değerinin Tahmini ve %5 Sönümlü Talep Spektrumu'nun İndirgenmesi	28
3.3.4.5.	Kapasite Spektrumu ve Talep Spektrumu'nun Kesiştirilmesi	31
3.3.5.	Performans Noktasının Hesaplanması	32
3.3.5.1.	Performans Noktasının Bulunması İçin A Yöntemi	32
3.3.5.2.	Performans Noktasının Bulunması İçin B Yöntemi.....	33
3.3.5.3.	Performans Noktasının Bulunması İçin C Yöntemi.....	36
3.3.6.	Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi	36
4.	SINIR DURUMLARI.....	39
4.1.	Giriş	39
4.2.	Beklenen Performansı Tanımlayan Limitler	39
4.3.	Bina Kabul Limitleri.....	41
4.3.1.	Ağırlık Yükleri	41
4.3.2.	Yatay Yükler	41
4.3.3.	Yatay Yerdeğiştirmeler	42
4.4.	Eleman Kabul Limitleri.....	43
4.4.1.	Birincil ve İkincil Elemanlar	43
4.4.2.	Eleman Şekildeğiştirme Kapasitesi.....	43
4.4.3.	Çerçeve Sistemler.....	44
4.4.3.1.	Kolon – Kiriş Çerçeveler	44
4.4.3.2.	Döşeme – Kolon Çerçeveler	44
4.4.4.	Perdeli Sistemler	45
4.4.4.1.	Boşluksuz Perdeler.....	45
4.4.4.2.	Perde ve Çerçeveler.....	45
4.4.4.3.	Boşluklu Perdeler	46
4.4.5.	Performans Kriteri Uygunluk Tabloları	46
5.	PERFORMANSA DAYALI GÜÇLENDİRME	52
5.1.	Giriş	52
5.2.	Güçlendirme Stratejileri.....	52
5.2.1.	Rijitliğin ve Yapı Dayanımının Arttırılması	53
5.2.1.1.	Betonarme Perdeler	57
5.2.1.2.	Kafes Sistemler ve Köşegenel Bağlantılar	57
5.2.1.3.	Payandalar	57
5.2.2.	Şekildeğiştirme Kapasitesinin İyileştirilmesi.....	58
5.2.2.1.	Mantolama	59
5.2.2.2.	Kolonların Güçlendirilmesi.....	59
5.2.2.3.	Lokal Rijitlik Azaltımı	59
5.2.3.	Deprem Talebinin Azaltılması	59
5.2.3.1.	Taban İzolasyonu	60
5.2.3.2.	Enerji Sönümleyicilerin Kullanılması.....	61
5.2.3.3.	Kütle Azaltımı	62
6.	UYGULAMA	63

6.1. İncelenen Bina Hakkında Bilgi	63
6.2. Mevcut Binanın Deprem Performansının İncelenmesi	66
6.2.1. Giriş.....	66
6.2.2. Düşey Yükler	66
6.2.3. Deprem Yükleri.....	66
6.2.4. Kat Ağırlıklarının ve Kütlelerinin Hesaplanması	67
6.2.5. Sistemin SAP2000’de Modellenmesi ve Doğal Periyotların Bulunması	67
6.2.6. Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Bulunması ve Katlara Dağıtılması	69
6.2.7. Deprem Yüklerinin Sistem Modeli Üzerinde Etkitilmesi.....	70
6.2.8. Sistemin Çözülmesi ve Sonuçların İncelenmesi	71
6.2.8.1. Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü	71
6.2.8.2. A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü	72
6.2.8.3. B1 Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Kontrolü	73
6.2.8.4. B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) Kontrolü.....	74
6.2.8.5. Kolon Kapasiteleri Kontrolü.....	75
6.2.9. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi İle Sistemin Çözülmesi.....	78
6.2.9.1. Plastik Mafsal Özelliklerinin Elde Edilmesi	78
6.2.9.2. Plastik Mafsalların Kesitlere Atanması.....	79
6.2.9.3. Statik İtme Yükleme Durumlarının Belirlenmesi	79
6.2.9.4. Elastik Deprem Spektrumunun Elde Edilmesi.....	80
6.2.9.5. Doğrusal Olmayan Yatay İtme Analizi Sonuçları	80
6.2.10. Mevcut Bina Hakkındaki Sonuçlar	82
6.3. Mevcut Binanın Güçlendirilmesi.....	85
6.3.1. Perde Yerleşim Düzeni	85
6.3.2. Betonarme Perdelerin Boyutlandırılması	87
6.3.2.1. Enkesit Koşulları	87
6.3.2.2. Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği (H_{cr})	88
6.3.3. Güçlendirilmiş Sistemin SAP2000’de Çözülmesi ve Doğal Periyotların Bulunması	90
6.3.4. Güçlendirilmiş Sistem İçin Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Bulunması ve Katlara Dağıtılması	90
6.3.5. Güçlendirilmiş Sistemin Çözülmesi ve Sonuçların İncelenmesi	91
6.3.5.1. Güçlendirilmiş Sistemde Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü.....	92
6.3.5.2. Güçlendirilmiş Sistem İçin A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü	92
6.3.5.3. Güçlendirilmiş Sistem İçin B1 Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Kontrolü.....	93
6.3.5.4. Güçlendirilmiş Sistem İçin B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) Kontrolü.....	94
6.3.5.5. Güçlendirilmiş Sistemde Kolon Kapasiteleri Kontrolü	95
6.3.6. Güçlendirilmiş Sistemde Betonarme Perdelerin Donatı Hesabı	98
6.3.6.1. P1 Perdesi İçin Donatı Hesabı	99
6.3.6.2. P2 Perdesi İçin Donatı Hesabı	103
6.3.6.3. P3 Perdesi İçin Donatı Hesabı	107
6.3.6.4. P4 Perdesi İçin Donatı Hesabı	111
6.3.6.5. P5 Perdesi İçin Donatı Hesabı	115
6.3.6.6. P6 Perdesi İçin Donatı Hesabı	119

6.3.6.7.	P7 Perdesi İçin Donatı Hesabı	123
6.3.7.	Doğrusal Olmayan İtme Analizi İle Güçlendirilmiş Sistemin Çözülmesi	126
6.3.8.	Güçlendirilmiş Sistem Hakkındaki Sonuçlar	127
6.3.9.	Mevcut Sistem İle Güçlendirilmiş Sistemin Karşılaştırılması	128
6.3.10.	Temel Güçlendirmesi	129
7.	SONUÇLAR.....	134

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ADRS	: İvme – Yerdeğiştirme Karşılık Spektrumu
ATC	: Applied Technology Council
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
HK	: Hemen Kullanım Performans Seviyesi
CG	: Can Güvenliği Performans Seviyesi
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Bina Performans Seviyeleri ve Aralıkları.....	4
Tablo 2.2 Taşıyıcı Elemanların Performans Seviyeleri.....	5
Tablo 2.3 Taşıyıcı Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri.....	7
Tablo 2.4 Performans Hedefinin Belirlenmesi.....	10
Tablo 2.5 Çoklu Performans Hedefinin Belirlenmesi.....	11
Tablo 2.6 Temel Güvenlik Hedefi.....	12
Tablo 3.1 Zemin Sınıflarının Tanımı.....	18
Tablo 3.2 C_A Deprem Katsayısı Tablosu.....	18
Tablo 3.3 C_V Deprem Katsayısı Tablosu.....	19
Tablo 3.4 Zemin Spektrum Karakteristik Periyotlarının Belirlenmesi.....	20
Tablo 4.1 Taşıyıcı Elemanlar İçin Performans – Hasar Tablosu.....	40
Tablo 4.2 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar İçin Performans – Hasar Tablosu.....	41
Tablo 4.3 Yatay Rölatif Yerdeğiştirme Sınırları.....	42
Tablo 4.4 Betonarme Kirişler İçin Kabul Limitleri Dahilinde Plastik Mafsallı Dönmeleri.....	47
Tablo 4.5 Betonarme Kolonlar İçin Kabul Limitleri Dahilinde Plastik Mafsallı Dönmeleri.....	48
Tablo 4.6 Betonarme Kolon Kiriş Birleşimleri İçin Kabul Limitleri Dahilinde Toplam Kayma Açılımları.....	49
Tablo 4.7 Betonarme Döşemeler ve Kolon Döşeme Birleşimleri İçin Kabul Limitleri Dahilinde Plastik Mafsallı Dönmeleri.....	50
Tablo 4.8 Betonarme Perdeler İçin Kabul Limitleri Dahilinde Plastik Mafsallı Dönmeleri.....	51
Tablo 6.1 Kat Kütlelerinin Hesabı.....	67
Tablo 6.2 Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Katlara Paylaştırılması.....	70
Tablo 6.3 Yük Kombinasyonları	70
Tablo 6.4 x Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü.....	71
Tablo 6.5 y Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü.....	72
Tablo 6.6 x Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü.....	72

Tablo 6.7	y Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü.....	73
Tablo 6.8	B1 Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Kontrolü.....	73
Tablo 6.9	x Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin B2 Yumuşak Kat Kontrolü.....	74
Tablo 6.10	y Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin B2 Yumuşak Kat Kontrolü.....	74
Tablo 6.11	Kolon Kapasiteleri Kontrolü.....	76
Tablo 6.12	x ve y Doğrultuları İçin Yatay Yük Taşıma Kapasiteleri....	82
Tablo 6.13	Sisteme İlave Edilecek Betonarme Perdeler.....	87
Tablo 6.14	Perde Uç Bölgeleri.....	88
Tablo 6.15	Perde Uç Bölgeleri Uzunlukları.....	89
Tablo 6.16	H_{cr} Kritik Perde Yükseklikleri.....	89
Tablo 6.17	Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Katlara Paylaştırılması.....	91
Tablo 6.18	x Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü.....	92
Tablo 6.19	y Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü.....	92
Tablo 6.20	x Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü.....	93
Tablo 6.21	y Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü.....	93
Tablo 6.22	x Doğrultusu B1 Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Kontrolü.....	94
Tablo 6.23	y Doğrultusu B1 Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Kontrolü.....	94
Tablo 6.24	x Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin B2 Yumuşak Kat Kontrolü.....	95
Tablo 6.25	y Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin B2 Yumuşak Kat Kontrolü.....	95
Tablo 6.26	Güçlendirilmiş Sistemde Kolon Kapasiteleri Kontrolü.....	96
Tablo 6.27	x ve y Doğrultuları İçin Yatay Yük Taşıma Kapasiteleri....	127
Tablo 6.28	Radye Ek Donatıları.....	133

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1	Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz Analitik İşlem Sırası.....	17
Şekil 3.2	%5 Sönümlü Elastik Karşılık Spektrumu.....	19
Şekil 3.3	ABYYHY'e Göre %5 Sönümlü Elastik Karşılık Spektrumu.....	20
Şekil 3.4	Kapasite Eğrisi.....	21
Şekil 3.5	Klasik Spektrum ve ADRS Spektrum Gösterimi.....	25
Şekil 3.6	Karşılık Spektrumları Üzerinde Kapasite Spektrumu'nun Gösterilmesi.....	25
Şekil 3.7	Klasik Spektrum'un ADRS Spektrumu'na Dönüştürülmesi.....	26
Şekil 3.8	Kapasite Eğrisi'nin ADRS Spektrumu'na Dönüştürülmesi	27
Şekil 3.9	Kapasite Spektrumu'nun İdealleştirilmiş Hale Getirilmesi	28
Şekil 3.10	Spektral İndirgenme İçin Sönümün Gösterilişi.....	30
Şekil 3.11	İndirgenmiş Talep Spektrumu'nun Elde Edilmesi.....	31
Şekil 3.12	Karşılık Talep ve Kapasite Spektrumu'nun Kesiştirilmesi.	32
Şekil 3.13	Kapasite Spektrumu ile Karşılık Spektrumları'nın Çizilmesi.....	34
Şekil 3.14	a*,d* Koordinatlı Nokta ile İdealleştirilmiş Kapasite Spektrumu'nun Elde Edilmesi.....	34
Şekil 3.15	Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi'nin Gösterimi.....	37
Şekil 5.1	Yapı Dayanımı'nın Arttırılması.....	52
Şekil 5.2	Yapı Rijitliğinin Arttırılması.....	52
Şekil 5.3	Rijitlik ve Dayanımın Arttırılması.....	53
Şekil 5.4	Şekil Değiştirme Kapasitesi'nin İyileştirilmesi.....	56
Şekil 5.5	Taban İzolasyonu'nun Etkisi.....	58
Şekil 5.6	Enerji Sönümleyicileri'nin Etkisi.....	59
Şekil 6.1	Bina Kat Kalıp Planı.....	64
Şekil 6.2	Bina Temel Planı.....	65
Şekil 6.3	SAP2000'de Modellenmiş Sistem.....	68
Şekil 6.4	Plastik Mafsallık Özelliklerinin Response 2000 Programı ile Elde Edilmesi.....	78
Şekil 6.5	Elastik Deprem Spektrumu.....	80
Şekil 6.6	x Doğrultusu İtme Yüğü – Yatay Yerdeğiştirme Grafiği....	81

Şekil 6.7	y Doğrultusu İtme Yüğü – Yatay Yerdeğıştirme Grafiğı....	81
Şekil 6.8	Perde Yerleşim Planı.....	86
Şekil 6.9	P1 Perdesi Boyutları.....	99
Şekil 6.10	P2 Perdesi Boyutları.....	103
Şekil 6.11	P3 Perdesi Boyutları.....	107
Şekil 6.12	P4 Perdesi Boyutları.....	111
Şekil 6.13	P5 Perdesi Boyutları.....	115
Şekil 6.14	P6 Perdesi Boyutları.....	119
Şekil 6.15	P7 Perdesi Boyutları.....	123
Şekil 6.16	x Doğrultusu İtme – Yatay Yerdeğıştirme Grafiğı.....	126
Şekil 6.17	y Doğrultusu İtme – Yatay Yerdeğıştirme Grafiğı.....	126
Şekil 6.18	x Doğrultusu İtme – Yatay Yerdeğıştirme Grafiğı.....	128
Şekil 6.19	y Doğrultusu İtme – Yatay Yerdeğıştirme Grafiğı.....	128
Şekil 6.20	SAP2000’de Oluşturulan Radye Modeli.....	130
Şekil 6.21	x Ekseni Etrafındaki Eğilme Momenti Kontur Diyagramı..	131
Şekil 6.22	y Ekseni Etrafındaki Eğilme Momenti Kontur Diyagramı..	132

SEMBOL LİSTESİ

A_s	: Çekme donatısı alanı
A_s'	: Basınç donatısı alanı
A_g	: Kesit alanı
α_1	: 1. doğal mod için kütle katsayısı
a_{pi}	: Başlangıç tahmini performans noktasının spektral ivme koordinatı
a_y	: İdealleştirilen kapasite spektrumundaki akma spektral ivmesi
β_{eq}	: Etkili sönüm oranı
β_0	: Eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilen histeretik sönüm
b_w	: Kiriş genişliği
C_A, C_V	: Zemin sismik katsayısı
C_0, C_1, C_2, C_3	: Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi için düzeltme katsayıları
d	: Kiriş faydalı yüksekliği
d_{pi}	: Başlangıç tahmini performans noktasının spektral yerdeğiştirme koordinatı
d_y	: İdealleştirilen kapasite spektrumundaki akma spektral yerdeğiştirmesi
δ	: Yatay yerdeğiştirme
δ_t	: Hedef yerdeğiştirme
$\Delta_{\text{çatı}}$	: Çatı uç yerdeğiştirmesi
E_D	: Sönümle yutulan enerji
E_{So}	: Elastik şekil değiştirme enerjisi
f_y	: Donatı akma dayanımı
f_c'	: Beton basınç dayanımı
$\phi_{i,1}$	: i. kattaki birinci mod şekli
$\phi_{\text{çatı},1}$	: Çatı katındaki birinci mod şekli
g	: Yer çekimi ivmesi
κ	: Yapının taşıyıcı sistemi ile depremin süresine bağlı katsayı
K_e	: Elastik rijitlik
K_{eff}	: Etkin rijitlik
K_s	: Elastoplastik rijitlik
K_r	: Güçlendirilmiş yapının başlangıç rijitliği
l_w	: Perde genişliği
N	: Standart penetrasyon sayısı

v_s	: Kayma dalgası hızı
P	: Eksenel kuvvet
PF_1	: Birinci doğal mod için modal katılım katsayısı
P_0	: Dışmerkezliğin olmadığı gerçek eksenel kuvvet dayanımı
P_i	: i. kattaki zati ve hareketli yüklerin toplamı
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
$S_{a\%5}$	: Hedeflenen performans noktasına karşılık gelen spektral ivme
$S_{d\%5}$	: Hedeflenen performans noktasına karşılık gelen spektral yerdeğiştirme
S_{RA}, S_{RV}	: Spektral indirgeme katsayıları
S_{au}'	: Hedeflenen performans noktasının spektral ivmesi
S_{au}	: Başlangıç performans noktasının spektral ivmesi
s_u	: Drenajsız kayma direnci
T	: Periyot
T_A, T_B	: Zemin karakteristik periyotları
T_e	: Etkin doğal periyot
T_i	: Hesap yapılan doğrultudaki elastik doğal periyot
T'	: Güçlendirilmiş yapının başlangıç periyodu
t_w	: Perde kalınlığı
V	: Yanal kuvvet
V_T	: Taban Kesme Kuvveti
V_i	: i katı için hesaplanan yatay kesme yükü
V_g	: Döşeme kritik kesitine etkiyen yerçekimi kesme kuvveti
V_n	: Birleşim bölgesi kesme dayanımı
V_r	: Güçlendirme sonrasında yapının karşılaması istenen maksimum taban kesme kuvveti
V_u	: Yapının başlangıçta sahip olduğu taban kesme kuvveti kapasitesi
V_0	: Zımbalama kesme dayanımı
w_i	: i. kat ağırlığı
W	: Yapıya etkiyen zati ve hareketli yüklerin toplamı

MEVCUT BİR BETONARME BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde kullanılan geleneksel yapı analizi yöntemleri, yapının deprem yer hareketi etkisi altındaki lineer olmayan davranışı, akma olayı sırasında yapı elemanları üzerindeki kuvvet dağılımları ve göçme durumunun hangi koşullarda meydana gelebileceği konularında yeterli bilgi vermemektedir.

Mevcut binaların geleneksel yöntemler yerine lineer olmayan itme analizi kullanılarak performansının incelenmesi sonucunda sismik yükler altındaki yapının elastik ötesi davranışının belirlenmesi, yapıda meydana gelebilecek mekanizma durumları ve bunların sırası, yapıda deprem sonrasında gözlenecek kapasite kayıplarının yaklaşık bir şekilde belirlenmesi ve deprem sonrasında gerekebilecek doğru güçlendirme stratejisinin verimli bir şekilde elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışma, mevcut bir binanın deprem performansının lineer olmayan itme analizi yöntemi ile incelenmesini içermektedir.

Birinci bölümde yöntemin gelişimi ve özellikleri hakkında genel bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde “Performans Hedefi” konusu anlatılmış, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri ile bunların kombinasyonları olan bina performans seviyeleri hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölüm lineer olmayan itme analizi konusuna ayrılmıştır. Bu bölümde konu ile ilgili genel kavramlar anlatılmış, doğrusal olmayan hesaba ilişkin hesap yöntemi açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde bir yapının seçilen performans hedefine ulaşp ulaşmadığının kontrolünde kullanılacak sınır durumları hakkında bilgi verilmiştir. Kolonlar, kirişler, perdeler gibi yapı elemanlarının sınır durumlarıyla ilgili tablolar bu bölümde yer almaktadır.

Beşinci bölüm performans kavramı kullanılarak mevcut bir binadaki güçlendirme stratejisinin seçilmesi konusıyla ilgilidir. Bu bölümde yapıya uygulanacak güçlendirme uygulamasının yapı performansına olan etkileri ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Altıncı bölüm ise mevcut bir betonarme yapının doğrusal olmayan itme ve güçlendirme analizlerini içeren uygulama çalışmasına ayrılmıştır.

SEISMIC PERFORMANCE ANALYSIS OF AN EXISTING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

SUMMARY

The conventional structural analysis methods are not adequate enough while examining the structure's nonlinear behaviour under the effect of earthquake ground motion, force distribution during the yielding event, and the failure conditions.

By using nonlinear pushover analysis instead of conventional linear elastic methods, it has become possible to define the elastoplastic behaviour of the structure under seismic loading and possible mechanism states that may occur, determine the approximate capacity degradation after an earthquake, and to choose the most efficient strengthening strategy which may be necessary.

In this MSc thesis, seismic performance analysis of an existing reinforced concrete structure by using nonlinear pushover procedures is presented.

The first chapter is about the development and properties of the method.

In the second chapter, the concept of "Target Performance" is introduced, and information given about structural, nonstructural and combined building performance levels.

The third chapter is completely about pushover analysis. In this chapter, the methodology of the nonlinear analysis is explained in detail. It also contains information about the assumptions, step by step application of the method, and the mathematical formulation about pushover analysis.

The fourth chapter is about the response limits which will be used to verify whether the requirements of the chosen performance level are achieved, or not. Tables which are related with the response limits of structural elements such as columns, beams, and shear walls can also be found in this chapter.

In the fifth chapter, the preliminary design of an efficient strengthening strategy using the performance concept is introduced. The effects of different strengthening strategies which may be applied to the structure are covered in detail.

The sixth chapter is an application which utilizes the nonlinear pushover analysis and retrofitting analysis of an existing reinforced concrete structure.

1. GİRİŞ

Günümüzde yapıların inşasına yönelik yönetmeliklerin tamamı can güvenliğini sağlama konusuna odaklanmışlardır. Yapının deprem sonrasında kullanılabilirliği, ve deprem hasarının yol açtığı ekonomik zararlar ikinci planda düşünülmektedir. Geçtiğimiz yıllarda yaşanan depremler sonucu ortaya çıkan büyük ekonomik zararlar sonucunda bina sahibinin, mimarın ve mühendisin birlikte karar verecekleri belirli bir deprem etkisine maruz kalan binanın kendisinin ve bina içerisindeki yapısal olmayan elemanların sismik performansını belirleyebilecekleri bir yöntem gereksinim duyulmuştur. Bu amaçla Performansa Dayalı Sismik Dizayn konusu ortaya çıkmıştır.

Bu yöntem ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'ndeki FEMA kuruluşu tarafından çıkartılan FEMA – 273 raporuyla bir nitelik kazanmıştır. Daha sonra yine FEMA tarafından çıkartılan FEMA – 356 raporu ile güncellenmiş ve ayrıntı seviyesi artmıştır. Yine Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bir kuruluş olan ATC tarafından 1995 yılında yayımlanan ATC – 40 raporu ile yöntemin metodolojisi belirlenmiş, ve uygulamaları hakkında geniş bilgiler verilmiştir. Bu yöntem başlangıçta mevcut yapıların sismik dayanımının incelenmesi için geliştirilmiş olsa da artık depreme dayanıklı yapı tasarımı için kullanılabilir hale gelmiştir.

Teknik açıdan incelendiğinde, performansa dayalı analizin en önemli özelliği mühendise bir yapının deprem sırasındaki davranışını gerçekçi bir şekilde sunabilmesidir. Bu analiz yöntemi ile deprem yer hareketi etkisi altındaki sistemin lineer olmayan davranışının belirlenmesi ve yapıda meydana gelmesi muhtemel olan mekanizma durumları ve bunların sırası hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Bununla birlikte performansa dayalı analiz, bir sistemin deprem sonrasındaki durumu ve deprem sonrasında gerekebilecek güçlendirme çalışmasının nasıl yapılacağı konusunda da önemli bilgiler sunmaktadır.

Yapı tasarımında yapılan kabuller yapıların bir yedek dayanımlarının olduğuna işaret etmektedir [1]. Yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarında meydana gelebilecek hasarların ve yapının deprem davranışının sınırlarının bilinmesi için yapının sahip olduğu bu yedek dayanımın hesaplanması gerekmektedir. Bu hesabın yapılması lineer olmayan itme analizi yöntemiyle mümkün olmaktadır. Aynı zamanda depremde hasar görmüş yapıların onarım veya güçlendirme öncesindeki ve sonrasında yatay yük taşıma güçlerinin hesaplanmasında da kullanılan lineer olmayan itme analizi, mevcut yapının performansının belirlenmesinde de kullanılan hesap yöntemidir.

2. PERFORMANS HEDEFİ

2.1. Giriş

Performans hedefi, bir yapının belirli bir deprem hareketi etkisi altında gösterdiği istenen sismik performansı olarak tanımlanır. Sismik performans ise belirli bir deprem yer hareketi etkisi altında kabul edilebilir maksimum hasar olarak tanımlanmıştır. Bir performans hedefi belirli bir deprem durumuna göre belirlenebileceği gibi çeşitli deprem durumlarını bir arada kapsayacak şekilde de belirlenebilir. Böyle bir duruma “Çoklu Performans Hedefi” adı verilmektedir.

Bir yapının performans yöntemine göre boyutlandırılması ve tasarlanması bina için öngörülen performans hedefinin saptanması ile başlar. Bundan sonra mühendis yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistemlerinin analizde kullanacağı sismik talebi ve kabul edilebilirlik sınırlarını belirler. Bu bölümde yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistemleri için belirlenmiş performans seviyeleri ve bunların kombinasyonu olan “Bina Performans Seviyeleri” hakkında bilgi verilecektir.

2.2. Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri, verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarlarının sınır durumlarıdır [2]. Burada sözü edilen sınır durumları binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelen fiziksel hasarlar, bu hasarlar sonucu ortaya çıkan can güvenliği tehdidi, deprem sonrasında yapının kullanılabilirliği, ve hasarın sebep olduğu ekonomik kayıplar olarak tanımlanmaktadır.

Binanın taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanları için hedef performans seviyeleri ayrı ayrı belirlenir. Bina performans seviyeleri ise, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin kombinasyonundan oluşmaktadır.

Tablo 2.1 Bina Performans Seviyeleri ve Aralıkları

Bina Performans Seviyeleri ve Aralıkları						
Taşıyıcı Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri ve Aralıkları	Taşıyıcı Elemanların Performans Seviyeleri ve Aralıkları					
	SP-1 Hemen Kullanım	SP-2 Hasar Kontrol	SP-3 Can Güvenliği	SP-4 Sınırlı Güvenlik	SP-5 Göçmenin Önlenmesi (Yapısal Stabilitate)	SP-6 Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye
NP-A Kullanıma Devam	1-A Kullanıma Devam	2-A	TE	TE	TE	TE
NP-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım	2-B	3-B	TE	TE	TE
NP-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği	4-C	5-C	6-C
NP-D Azaltılmış Hasar	TE	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye	TE	TE	3-E	4-E	5-E Yapısal Stabilitate	Uygulanamaz

Tabloda “TE” ile gösterilen seviyeler tavsiye edilmemektedir. 1-A, 1-B, 3-C ve 5-E seviyeleri ATC – 40 tarafından en çok kullanılan yapısal performans seviyeleri olarak belirlenmiştir.

2.2.1. Taşıyıcı Elemanların Performans Seviyeleri

ATC-40 raporunda belirlenen taşıyıcı elemanlar için performans seviyeleri ve aralıkları Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Taşıyıcı Elemanların Performans Seviyeleri

Taşıyıcı Elemanların Performans Seviyeleri		
Performans Seviyesi	Performans Aralığı	Kod
Hemen Kullanım		SP-1
	Hasar Kontrol	SP-2
Can Güvenliği		SP-3
	Sınırlı Güvenlik	SP-4
Göçmenin Önlenmesi		SP-5
Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye		SP-6

Taşıyıcı elemanlar için olan performans seviyelerinin tanımları ise şu şekilde yapılmıştır [3]:

Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-1) : Taşıyıcı sistemde gözlenen hasar çok azdır. Mevcut yapının deprem öncesinde sahip olduğu mukavemet, rijitlik ve süneklik gibi özellikleri deprem sonrasında da aynen korunmaktadır. Yapının göçme riski ihmal edilebilecek kadar azdır ve bina tam kullanım için güvenli haldedir.

Hasar Kontrol Performans Aralığı (SP-2) : Bu terim spesifik bir performans seviyesini değil, Hemen Kullanım (S-1) ve Can Güvenliği (S-3) seviyeleri arasındaki aralığı kapsamaktadır. Örneğin yapısal hasarın Can Güvenliği seviyesinden yukarıda

tutulmak istendiği, ancak deprem sonrası hemen yerleşimin söz konusu olmadığı durumlarda kullanılmaktadır.

Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3) : Bölgesel veya toptan göçmenin söz konusu olmadığı, ancak taşıyıcı sistemde bu kısıtlama çerçevesinde önemli hasarın kabul edilebildiği seviyedir. Yapısal hasardan kaynaklanabilecek ölüm riski çok az seviyededir. Binanın tekrar kullanılabilmesi için gerekli yapısal onarım önemli miktarda olabilir, bazı durumlarda ekonomik sebeplerle onarım yapılmayabilir.

Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı (SP-4) : Tanım kolaylığı sağlaması amacıyla oluşturulmuş S-3 ve S-5 seviyeleri arasındaki bölgeyi işaret eden performans aralığıdır.

Göçmenin Önlenmesi (Stabilitenin Korunması) Performans Seviyesi (SP-5) : Bu seviye yapıyı kısmi veya toptan göçme sınırına getiren ağır hasar durumunu temsil etmektedir. Yapının yatay yüklere karşı dayanımı ve rijitliğinde kayda değer azalmalar gözlenirse de, yapının düşey yüklere karşı dayanımı göçmeyi önleyecek düzeydedir. Kısaca yapı düşey yükler altındaki stabilitesini korumakla beraber, olası bir artçı depremde ortaya çıkabilecek önemli oranda can güvenliği riski bulunmaktadır. Binadaki hasar seviyesi çok yüksek olduğu için ekonomik sebeplerden ötürü büyük olasılıkla bina onarım ve güçlendirme söz konusu olmayacaktır.

Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (SP-6): Bu bir performans seviyesi değildir, ancak sadece taşıyıcı olmayan elemanların sismik/güçlendirme analizinin yapılacağı durumlarda kullanılacaktır.

2.2.2. Taşıyıcı Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri

ATC-40 raporunda belirlenen taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri ve aralıkları Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Taşıyıcı Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri

Taşıyıcı Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri	
Performans Seviyesi	Kod
Kullanıma Devam	NP-A
Hemen Kullanım	NP-B
Can Güvenliği	NP-C
Azaltılmış Hasar	NP-D
Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye	NP-E

Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyelerinin tanımları ise şu şekilde yapılmıştır:

Kullanıma Devam Performans Seviyesi (NP-A): Deprem sonrasında taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisat ve ekipmanda hasar oluşmadığı veya ihmal edilebilecek kadar hasar olduğu gözlenmektedir. Gözlenebilecek bu hasar yapıda veya ekipmanlarda kullanımı engelleyebilecek bir durum oluşturmamaktadır.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi (NP-B): Deprem sonrasında taşıyıcı olmayan elemanlar ile ekipman ve tesisatta ihmal edilemeyecek derecede hasar oluşabilir. Ancak bu hasarın meydana getireceği kısıtlamalar kısa zamanda giderilebilecek düzeydedir ve yapılan onarımdan sonra yapı kullanılmaya devam edebilir.

Can Güvenliği Performans Seviyesi (NP-C): Bu performans seviyesi deprem sonrasında gözlenen hasarın kayda değer olduğuna ancak bina içinde veya dışındaki ağır elemanlarda yaralanmalara sebep olabilecek devrilmelerin, kopmaların ve düşmelerin söz konusu olmadığına işaret eder. Kısacası taşıyıcı olmayan elemanlar yüzünden meydana gelebilecek yaralanma riski az olmakla beraber binanın işlevini sürdürebilmesi için bu elemanların değiştirilmesi veya onarılması gerekmektedir.

Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (NP-D): Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta ciddi ölçüde hasar meydana gelebilir. Ancak dış duvarların devrilmesi, tavanların çökmesi, balkonların ve parapetlerin yıkılması gibi insanların gruplar halinde yaralanmalarına sebep olacak hasarlar oluşmaz.

Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (NP-E): Bazı durumlarda yapının davranışını ve kullanımını etkilemeyen bazı ikincil elemanlar için performansın dikkate alınmasına gerek olmayabilir. Bina performans seviyesi oluşturulurken sadece taşıyıcı elemanların etkisi dikkate alınmak isteniyorsa kullanılabilen bir seviyedir.

2.2.3. Bina Performans Seviyeleri

Taşıyıcı ve Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin kombinasyonu binanın toplam yapısal performans seviyesini oluşturur ve bu kombinasyon “Bina Performans Seviyesi” olarak adlandırılır. Bina performans seviyeleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Bu bölümde en çok kullanılan seviyeler ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Burada ayrıntılı olarak açıklanmayan diğer seviyeler ise ATC-40 raporu vasıtasıyla incelenebilir.

Kullanıma Devam Bina Performans Seviyesi (1-A): SP-1 ve NP-A seviyelerinin kombinasyonudur. Binada hasar yoktur veya ihmal edilebilecek/kolaylıkla onarılabilecek derecede sınırlı hasar mevcuttur. Yapı deprem öncesinde sahip olduğu dayanımını, rijitliğini ve sünekliğini korumaktadır. Bina kullanıma devam edebilecek durumdadır.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B): SP-1 ve NP-B seviyelerinin kombinasyonudur. Binada oldukça az seviyede hasar gözlenmektedir. Yapının taşıyıcı elemanlarının sahip olduğu dayanım, rijitlik ve süneklik özellikleri korunmaktadır. Ekipman ve tesisatta hasar gözlenirse de bunlar kısa süreli bir onarımla tekrar kullanılabilir durumdadır. Genel olarak en çok kullanılan bina performans seviyesidir.

Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C): SP-3 ve NP-C seviyelerinin kombinasyonudur. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda belirli ölçüde hasar gözlenmektedir. Yapı deprem öncesinde sahip olduğu rijitliğinin, dayanımının ve sünekliğinin bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardan kaynaklanabilecek tehlike riski çok az olmakla beraber binanın onarılmadan kullanılması can güvenliği açısından uygun değildir.

Göçmenin Önlenmesi (Stabilitenin Korunması) Performans Seviyesi (5-E) : SP-5 ve NP-E seviyelerinin kombinasyonudur. Bu seviyeye göre yapının taşıyıcı sistemi stabilitesini sadece düşey yükler altında koruyabilecek durumdadır. Yapının artçı depremlere karşı dayanımı minimum düzeydedir veya kalmamıştır. Bu durumdaki bir yapının kullanılmaması can güvenliği açısından kesinlikle kullanılmaması gerekir. Onarım ve güçlendirme işlemleri ise büyük ihtimalle ekonomik bakımdan uygun olmamaktadır.

2.3. Deprem Hareketi

Bir yapı için performans hedefinin belirlenebilmesi için yapılacak analizde kullanılmak üzere farklı seviyelerde deprem hareketleri tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak 50 yıllık yapı ömrü içindeki aşılma olasılıkları, ve benzer depremler arasındaki zaman aralığı yani dönüş periyodu ile ifade edilmektedir. ATC-40 raporunda belirlenen üç farklı seviyedeki deprem hareketi aşağıda açıklanmıştır.

Kullanım (Servis) Depremi (SE): 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 75 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır.

Tasarım Depremi (DE): 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 500 yıldır.

Maksimum Deprem (ME): Belirli bir bölgede, jeolojik veriler çerçevesinde meydana gelebilecek en büyük deprem hareketidir. 50 yılda aşılma olasılığı %5 olarak belirlenmiştir. Yaklaşık dönüş periyodu 1000 yıldır. Bu depremin etkisi tasarım depreminin 1.25 – 1.50 katı dolaylarındadır.

2.3.1. FEMA 273 ve FEMA 356 Raporlarında Tanımlanan Deprem Hareketleri

FEMA 273 ve 356 raporlarında tanımlanan iki deprem hareketi şu şekildedir [4]:

Temel Güvenlik Depremi – I (BSE – I): Özellikleri ATC-40 raporunda tanımlanan “Tasarım Depremi” ile aynıdır. Bu deprem hareketi aynı zamanda 1998 tarihli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYH)’de esas alınan deprem olarak kabul edilebilir.

Temel Güvenlik Depremi – II (BSE – II): 50 yılda aşılma olasılığı %2, dönüş periyodu ise yaklaşık 2500 yıl olan depremdir.

2.4. Performans Hedefleri

Bir binanın tayin edilen performans hedefi, verilen bir deprem hareketi seviyesi için istenen performansın seçilmesi ile belirtilir. Örnek bir performans hedefi Tablo 2.4’te gösterilmiştir.

Tablo 2.4 Performans Hedefinin Belirlenmesi

	Bina Performans Seviyesi			
Deprem Hareketi	Kullanıma Devam	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Stabilitenin Korunması
Kullanım Depremi				
Tasarım Depremi			✓	
Maksimum Deprem				

Tablo 2.4’teki örnekte bina için Tasarım Depremi (DE) sonrasında binanın Can Güvenliği Performans Seviyesi’ni korumasını öngören bir performans hedefi

seçilmiştir. Daha önce de değinildiği gibi bir performans hedefi belirli bir deprem durumuna göre belirlenebileceği gibi çeşitli deprem durumlarını bir arada kapsayacak şekilde de belirlenebilir. Böyle bir duruma “Çoklu Performans Hedefi” adı verilmektedir. Bu duruma karşılık gelen bir örnek Tablo 2.5’te görülmektedir:

Tablo 2.5 Çoklu Performans Hedefinin Belirlenmesi

	Bina Performans Seviyesi			
Deprem Hareketi	Kullanıma Devam	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Stabilitenin Korunması
Kullanım Depremi	✓			
Tasarım Depremi			✓	
Maksimum Deprem			✓	

Tablo 2.5’te görülen çoklu performans hedefi örneğinde her deprem hareketi için bir performans amacı belirlenmiştir. Buna göre binanın Kullanım Depremi (SE) altında Kullanıma Devam Performans Seviyesi’ni sağlaması, Tasarım Depremi (DE) ve Maksimum Deprem (ME) altında ise Can Güvenliği Performans Seviyesi’nin altına düşmemesi istenmektedir.

2.4.1. Temel Güvenlik Hedefi

Temel güvenlik hedefi, mevcut ve inşa edilecek binaların sağlaması gereken minimum performans hedefidir. Temel güvenlik hedefine göre bina Tasarım Depremi (DE) altında Can Güvenliği Performans Seviyesi’ni, Maksimum Deprem (ME) altında ise Stabilitenin Korunması Performans Seviyesi’ni sağlamalıdır. Bu iki kademeli performans hedefi Tablo 2.6’da görülmektedir.

Tablo 2.6 Temel Güvenlik Hedefi

	Bina Performans Seviyesi			
Deprem Hareketi	Kullanıma Devam	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Stabilitenin Korunması
Kullanım Depremi				
Tasarım Depremi			✓	
Maksimum Deprem				✓

3. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ

3.1. Giriş

Bu bölümde mevcut binalar için öngörülen performans analizi yöntemi analitik olarak incelenecektir. Öncelikle performansa dayalı tasarım ve değerlendirme konusunun temel kavramları açıklanacak, daha sonra kullanılmakta olan basitleştirilmiş lineer olmayan analiz yöntemleri hakkında bilgi verilecektir.

Bilindiği gibi lineer elastik analiz ile yapının elastik kapasitesi ve yapı elemanlarında gözlenecek ilk akmanın yeri tespit edilebilmektedir. Ancak bu hesap yöntemi ile yapıda meydana gelebilecek mekanizma durumları ve akma olayı sırasındaki kuvvet dağılımları incelenememektedir. Elastik ötesi davranışı içeren hesap yöntemlerinin kullanılması ile bahsedilen dezavantajların önüne geçilebilmekte, yapının göçme anına kadar olan davranışının ve oluşabilecek mekanizma durumlarının incelenebilmesi mümkün olmaktadır.

3.2. Temel Kavramlar

Performans analizi ile ilgili iki temel parametre istem (talep) ve kapasite (karşılanabilecek etki) kavramlarıdır. İstem yapıya etkiyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir. Kapasitenin talebe karşılık verebilme durumu da performansın göstergesidir. Bir binanın belirlenmiş olan performans hedefine ulaşabilmesi için binanın yapısal kapasitesinin depremin talebine karşılık verebilecek durumda olması gerekmektedir.

Deprem sırasındaki yer hareketi zamana bağılı olarak karmaşık yatay yerdeğiştirme şekilleri ortaya çıkarmaktadır. Her zaman aralığında bu hareketi incelemek, yani zamana bağılı analiz yapmak verinin karmaşıklığı açısından pratik olmamaktadır. Lineer olmayan bir hesap izlenerek dizayn kriteri olarak bir dizi yatay yer değiştirmeyi baz almak hesabı kolaylaştıracak ve sonuca doğrudan olarak ulaşılmasını sağlayacaktır. Belirli bir yapı ve yer hareketi için bu tür bir hesapta kullanılacak talep yerdeğiştirmesi, binanın deprem sırasında yapması beklenen en büyük yerdeğiştirme karşılığıdır.

Bir yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin birleşimi yapısal kapasiteyi oluşturur. Lineer olmayan bölgedeki yapısal kapasitenin belirlenebilmesi için malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teoriye göre hesap yapılması gerekmektedir.

Yapısal kapasite, kapasite eğrisi ise temsil edilir. Kapasite eğrisi ise genel olarak yapının tepe noktasının yerdeğiştirmesi ile taban kesme kuvveti arasındaki bağıntı çizilmesiyle elde edilmektedir. Bu eğrinin elde edilmesi aşamasında sistem hesabının sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında taşıma kapasitesinin sona erdiği limit duruma kadar yapılması gerekmektedir.

Yapısal kapasite eğrisinin bulunmasında genellikle binanın birinci doğal titreşim modu esas alınarak belirlenen eşdeğer statik deprem kuvvetleri altında yapılan hesap kullanılır. Özel periyodu 1.00 saniyenin altında olan yapılar için birinci doğal titreşim modunun etkin olduğu varsayılabilir. Özel periyodu 1.00 saniyenin üstünde olan yapılarda diğer titreşim modlarının etkilerinin de göz önüne alınması gerekmektedir. Kapasite eğrisinin elde edilmesi konusu, ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanacaktır [2].

Bir kapasite eğrisinin ve talep yerdeğiştirmesinin belirlenmesi yapı için bir performans kontrolünün yapılabilmesine olanak sağlar. Performans kontrolü ile yapıya etkiyen deprem kuvvetleri, ve bu kuvvetlerin oluşturduğu yerdeğiştirme talebi sonucunda yapıdaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelen zararların önceden seçilmiş olan performans hedefinin kabul limitleri içerisinde kalıp kalmadığı kontrol edilir.

3.3. Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri

Mevcut betonarme binalar için kullanılabilecek çeşitli lineer ve lineer olmayan hesap yöntemleri bulunmaktadır. Zamana bağlı analiz temel alınarak yapılan lineer olmayan hesap son derece karmaşık olduğu için basitleştirilmiş lineer olmayan hesap yöntemlerine gereksinim duyulmuştur. Yapıların deprem etkisi altındaki performanslarının belirlenebilmesi amacıyla kullanılan basitleştirilmiş lineer olmayan hesap yöntemleri, yapının yatay kuvvetler altındaki davranışını temsil eden yatay kuvvet ve yatay yerdeğiştirme ($P - \delta$) arasındaki ilişkinin malzeme ve ikinci mertebe etkilerin hesaba katıldığı geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bu ilişkinin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Kapasite eğrisinin kullanımıyla yapıdaki mevcut zayıf elemanlar ve bunların yerinin tespiti mümkün olmakta, böylece olası bölgesel ve/veya toptan göçme mekanizmaları belirlenebilmektedir. Sonuç olarak belirli bir deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin kontrolü yapılabilmektedir.

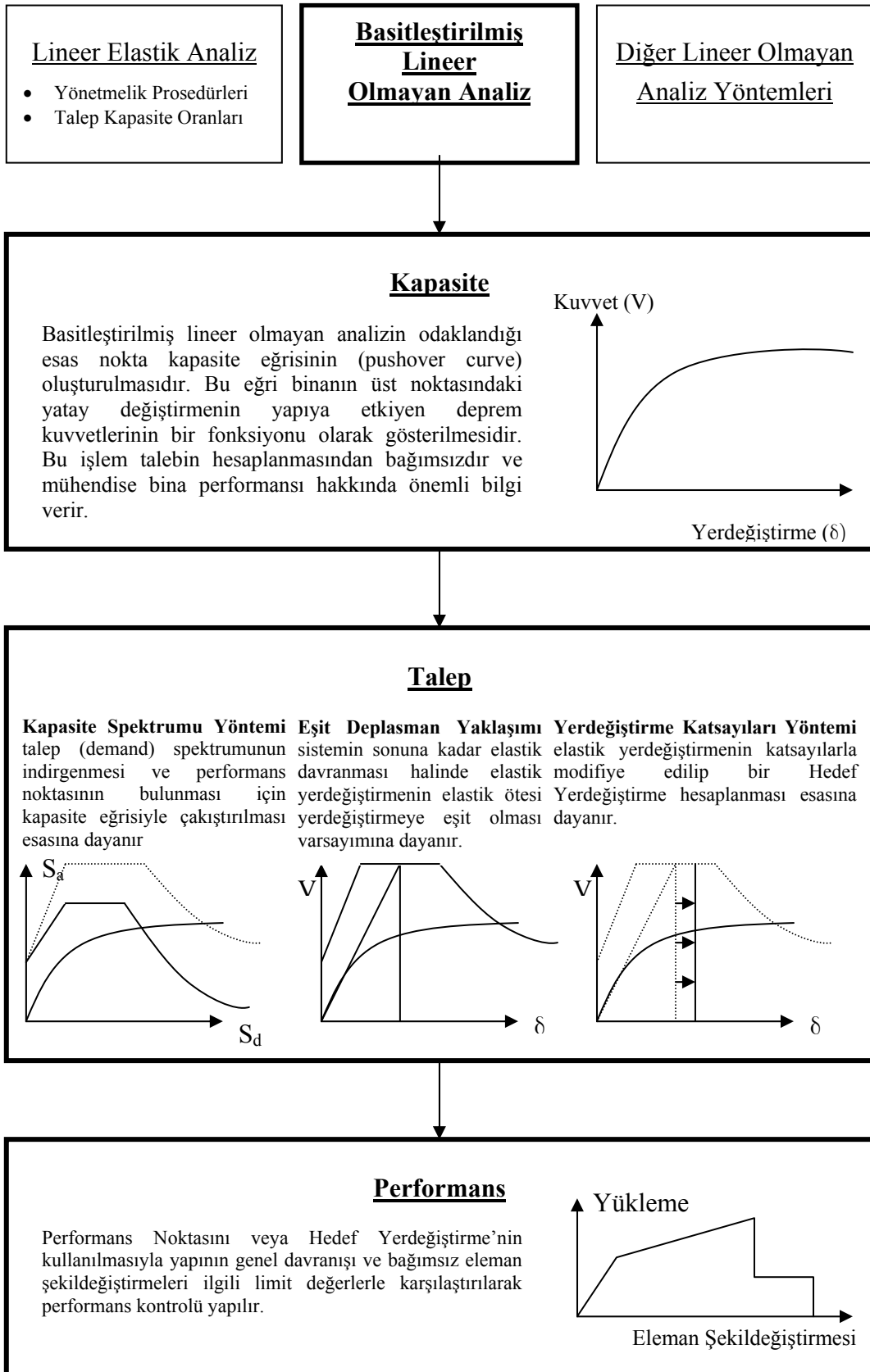
Sözü geçen yöntemler ile performans analizi genel olarak iki farklı kriter göz önüne alınarak yapılır. İlk kriter, yapıya etkiyen deprem yükleri yönetmeliklerde öngörülen belli seviyelere ulaştığında, dayanım, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeler açısından yapıdan istenilen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığının kontrolüdür. İkinci kriter ise yerdeğiştirme kontrollüdür, yani belirli bir deprem yükü altında yapıdaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığının kontrolüdür.

Basitleştirilmiş lineer olmayan analiz yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntemlerin kısaca tanımları şu şekildedir:

Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC – 40): Maksimum yerdeğiştirmeyi bulmak amacıyla kapasite eğrisi ile indirgenmiş karşılık spektrumunun kesiştirilmesiyle uygulanır.

Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (FEMA – 273): Bu yöntem kapasite spektrumu yöntemine benzer bir biçimde kapasite ve istemin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde, yerdeğiştirme istemi grafik olarak değil, sayısal bir şekilde belirlenir. Bu yöntemde kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürölmesine gerek duyulmamaktadır.

Bahsi geçen analiz yöntemlerinin ATC 40 raporunda açıklanan analitik işlem sırası şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz Analitik İşlem Sırası

3.3.1. Elastik Karşılık Spektrumunun Oluşturulması

Performans analizinde kullanılacak olan Elastik Karşılık Spektrumu, zemin sismik katsayıları C_A ve C_V katsayıları kullanılarak elde edilir. C_A katsayısı zeminin efektif pik ivme değerini temsil etmektedir. $2.5C_A$ terimi, %5 sönümlü sönüme sahip, kısa periyotlu sistemin ivme etki alanındaki ortalama pik karşılığını göstermektedir. C_V katsayısı ise 1 saniye periyotlu %5 sönüme sahip sistemin karşılığıdır. C_V katsayısının periyoda bölümü hız etki alanındaki ivme karşılığını verir. Bu katsayılar Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 kullanılarak elde edilebilmektedir.

Tablo 3.1 Zemin Sınıflarının Tanımı

Zemin Sınıfı	Kayma Dalgası Hızı (v_s)	Standart Penetrasyon Sayısı (N)	Drenajsız Kayma Direnci (s_u)	Tanım
S_A	$v_s > 1500$ m/s	-	-	Sert Kaya
S_B	750 m/s $< v_s < 1500$ m/s	-	-	Kaya
S_C	350 m/s $< v_s < 750$ m/s	$N > 50$	$s_u > 100$ kPa	Çok sıkı zemin ve yumuşak kaya
S_D	180 m/s $< v_s < 350$ m/s	$15 < N < 50$	50 kPa $< s_u < 100$ kPa	Sert Zemin
S_E	$v_s < 180$ m/s	$N < 15$	$s_u < 50$ kPa	Yumuşak Zemin
S_F	Yerel zeminin incelenmesi gerekmektedir			

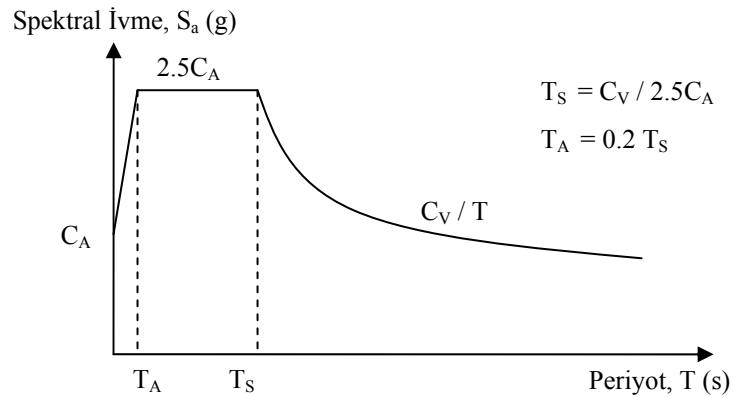
Tablo 3.2 C_A Deprem Katsayısı Tablosu

	Deprem Katsayısı ZEN					
Zemin Sınıfı	= 0.075	= 0.15	= 0.2	= 0.3	= 0.4	> 0.4
S_A	0.08	0.15	0.2	0.3	0.4	1.0*ZEN
S_B	0.08	0.15	0.2	0.3	0.4	1.0*ZEN
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	1.0*ZEN
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	1.1*ZEN
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	0.9*ZEN
S_F	Yerel zeminin incelenmesi gerekmektedir					

Tablo 3.3 C_V Deprem Katsayısı Tablosu

	Deprem Katsayısı ZEN					
Zemin Sınıfı	= 0.075	= 0.15	= 0.2	= 0.3	= 0.4	> 0.4
S _A	0.08	0.15	0.2	0.3	0.4	1.0*ZEN
S _B	0.08	0.15	0.2	0.3	0.4	1.0*ZEN
S _C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	1.4*ZEN
S _D	0.18	0.32	0.4	0.54	0.64	1.6*ZEN
S _E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	2.4*ZEN
S _F	Yerel zeminin incelenmesi gerekmektedir					

T_A, T_S, C_A ve C_V terimlerinin yardımıyla %5 sönümlü elastik karşılık spektrumu Şekil 3.2'deki gibi çizilir.

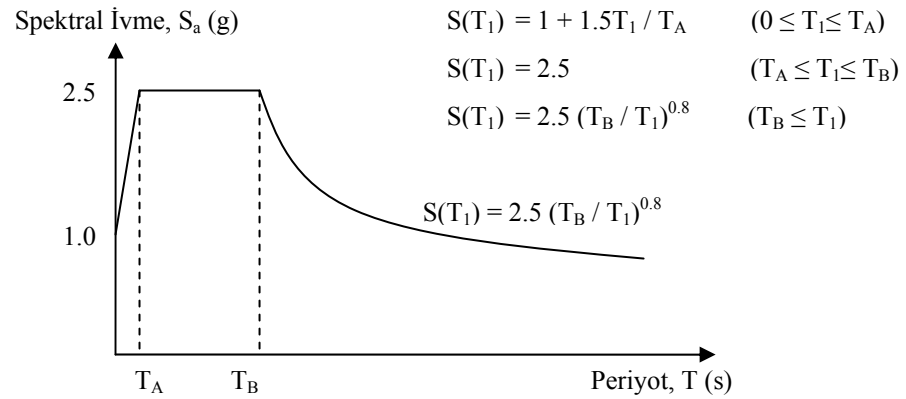


Şekil 3.2 %5 Sönümlü Elastik Karşılık Spektrumu

ABYYHY'te elastik karşılık spektrumunun oluşturulması ATC – 40 raporunda açıklanan yöntemden farklı olarak açıklanmıştır. Elastik karşılık spektrumunun oluşturulması sırasında kullanılacak diğer iki terim T_A ve T_B terimleridir. Bu iki terim saniye olarak Zemin Spektrum Karakteristik Periyotlarını göstermektedir. T_A ve T_B terimlerinin karşılıkları Tablo 3.4'te, spektrumun oluşturulması ilse Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

Tablo 3.4 Zemin Spektrum Karakteristik Periyotlarının Belirlenmesi

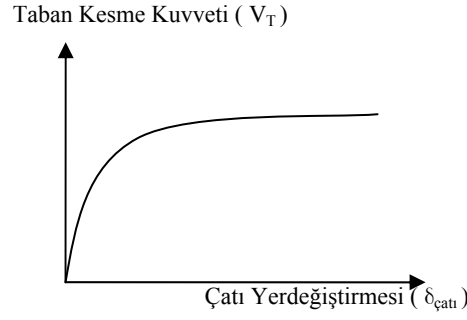
Zemin Grubu	Tanımlama		
A	Ayrışmamış sağlam kayalar, çok sıkı çakıl ve kum; sert kil ve siltli kil		
B	Ayrışmamış ve çatlaklı kayalar; sıkı çakıl ve kum; çok katlı kil ve siltli kil		
C	Yumuşak süreksiz düzlemli çok ayrılmış kayalar; orta sıkı çakıl ve kum; katı kil ve siltli kil		
D	Yeraltı su seviyesi yüksek olan yumuşak alüvyon tabakaları; gevşek kum; yumuşak kil ve siltli kil		
Zemin Sınıfı	Tanımlama	T_A (s)	T_B (s)
Z1	A grubu zeminler; en üst tabaka kalınlığı 15 m'den az B grubu zeminler	0.10	0.30
Z2	En üst tabaka kalınlığı 15m'den fazla B grubu zeminler; en üst tabaka kalınlığı 15m'den az C grubu zeminler	0.15	0.40
Z3	En üst tabaka kalınlığı 15m – 50m arasındaki C grubu zeminler; en üst tabaka kalınlığı 10m'den az olan D grubu zeminler	0.15	0.60
Z4	En üst tabaka kalınlığı 50m'den fazla C grubu zeminler; en üst tabaka kalınlığı 10m'den fazla olan D grubu zeminler	0.20	0.90



Şekil 3.3 %5 ABYYHY'e Göre Sönümlü Elastik Karşılık Spektrumu

3.3.2. Kapasite Eğrisinin Oluşturulması

Daha önce de belirtildiği gibi yapısal kapasite, kapasite eğrisi ile temsil edilmektedir. Bu kuvvet – yerdeğiştirme eğrisi genel olarak şekil 3.4'de gösterilen taban kesme kuvveti ile çatı uç noktasının yerdeğiştirmesinin bir fonksiyonudur.



Şekil 3.4 Kapasite Eğrisi

Bazı lineer olmayan hesap yapabilen bilgisayar programlarında (SAP2000 Nonlinear, DRAIN - 2DX vb.) kapasite eğrisi doğrudan elde edilebilirken, ETABS, SAP90 gibi sadece lineer elastik hesap yapabilen programlarda kapasite eğrisinin oluşturulabilmesi için ATC – 40 raporunun tavsiye ettiği yöntem şu şekildedir:

1. Yatay kat yükleri, kat kütle merkezlerine birinci mod şekliyle etkitilir. Bu analiz sırasında düşey ağırlık yüklerinin de hesaba katılması gerekmektedir.
2. Düşey ve yatay yüklerin gerekli kombinasyonları için eleman kuvvetleri hesaplanır.
3. Analiz sonucunda bulunan taban kesme kuvveti ve çatı yerdeğiştirmesi kaydedilir. Performans kontrolünde kullanılacağından eleman kuvvetleri ve dönmeler de kaydedilmelidir.
4. Plastik mafsalları oluşturan kesitler için rijitlik sıfır alınarak model tekrar oluşturulur.
5. Yapı elemanlarında yeni bir plastik mafsalları oluşumu gözlenene kadar yükler artırılır.
6. Yüklerdeki ve yerdeğiştirmedeki artışlar bir önceki adımda bulunan değerlere eklenir.
7. Yapı kapasitesi limit durumuna ulaşana kadar 4,5 ve 6. adımlar tekrar edilir. Burada sözü edilen limit durum, daha önceden belirlenen performans

hedefine göre seçilebilir, yani çatı yerdeğiştirmesinin belirli bir değere ulaşması veya yapıda bir göçme mekanizması oluşması gibi.

3.3.3. Sismik Talebin Belirlenmesi

Mevcut bir bina için kapasite eğrisinin belirlenmesi binanın performansı ve yapılabilecek güçlendirme projesi için mühendise değerli bilgiler sunmaktadır. Ancak bir performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığını görmek için binanın belirli bir deprem etkisi altında yapacağı maksimum yerdeğiştirmenin de incelenmesi gerekmektedir. Bu analiz için iki farklı yol önerilmektedir. Genellikle birbirine yakın sonuçlar veren bu iki yöntemin ilki FEMA – 273 raporunda açıklanan Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi, diğeri ise ATC – 40 raporunun temel aldığı Kapasite Spektrumu Yöntemidir.

Kapasite Spektrumu Yöntemi indirgenmiş talep karşılık spektrumu ile kapasite eğrisinin karşılaştırılması ve bu eğrilerin kesişme noktalarının bulunması esasına dayanmaktadır.

Kapasite Spektrumu Yöntemi'ndeki deprem talep yerdeğiştirmesi kapasite spektrumu üzerindeki “Performans Noktası” adı verilen bir noktada oluşur. Bu performans noktası, belirli bir deprem hareketi ve bunun sonucunda bir talep yerdeğiştirmesi altındaki yapının sismik kapasitesini göstermektedir.

FEMA – 273 raporunda açıklanan Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi'nde ise tek serbestlik dereceli sistemlerin zaman analizine bağlı istatistiki sonuçlarının değerlendirilmesi temel alınmıştır. Bu yöntemde talep yerdeğiştirmesine “hedef yerdeğiştirme” adı verilmektedir.

3.3.4. Kapasite Spektrumu Yöntemi ile Sismik Talebin Belirlenmesi

Performans Noktası'nın yeri aşağıdaki iki bağıntıyı sağlamalıdır:

1. Nokta, yapının belirli bir yerdeğiştirme altındaki durumunun temsil edilebilmesi için kapasite spektrumu eğrisinin üzerinde yer almalıdır.

2. Nokta lineer olmayan talebin temsil edilebilmesi için %5 sönümlü elastik karşılık spektrumundan sönümle indirgenmiş talep spektrumu üzerinde yer almalıdır.

Genellikle performans noktasının yeri yukarıdaki iki kriteri sağlayacak deneme yanılma yöntemiyle belirlenir. ATC – 40 raporunda bu ardışık hesabı kolaylaştıracak üç adet yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerin açıklaması ilerideki bölümlerde ayrıntılı olarak yapılacaktır.

3.3.4.1. Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi

Kapasite Spektrumu Yöntemi'nin kullanılabilmesi için taban kesme kuvveti ve çatı yerdeğiştirmesinin fonksiyonunu gösteren klasik kapasite eğrisinin ADRS, yani İvme – Yerdeğiştirme Karşılık Spektrumu formundaki Kapasite Spektrumu'na dönüştürülmesi gerekmektedir.

Bu işlem sırasında kullanılacak formüller şu şekilde sıralanmıştır:

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (3.1)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.2)$$

$$S_a = \frac{V / W}{\alpha_1} \quad (3.3)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{çati}}}{PF_1 \phi_{\text{çati},1}} \quad (3.4)$$

Burada kullanılan terimler şu şekilde açıklanmaktadır:

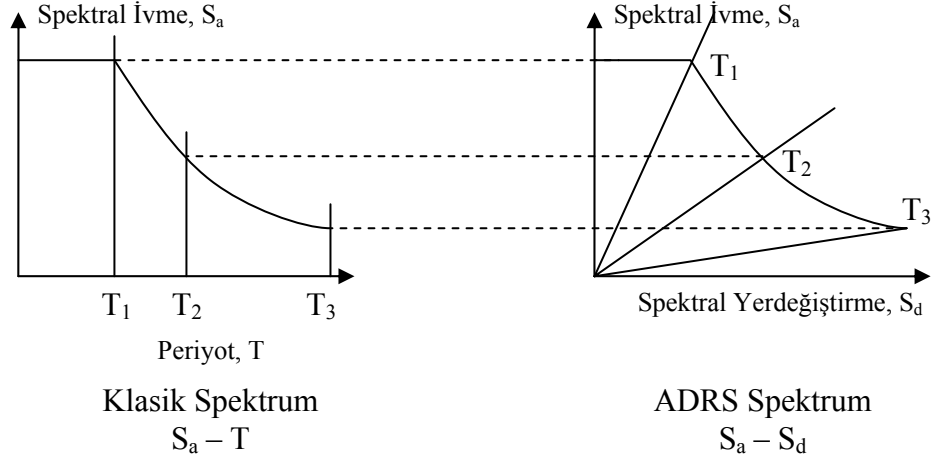
- PF_1 : Birinci doğal mod için Modal Katılım Katsayısı
 α_1 : Birinci doğal mod için Modal Kütle Katsayısı
 w_i / g : i. kat kütlesi
 ϕ_{1i} : i. kattaki mod şekli
 N : Yapı kat sayısı
 V : Taban kesme kuvveti
 W : Zati yük + hareketli yükler (katsayılarla çarpılmamış halde)
 $\Delta_{\text{çatı}}$: Çatı uç yerdeğiştirmesi
 S_a : Spektral ivme
 S_d : Spektral yerdeğiştirme

Kapasite eğrisinden kapasite spektrumuna geçmek için ilk olarak denklem 3.1 ve 3.2 kullanılarak PF_1 modal katılım katsayısı ile α_1 modal kütle katsayısı hesaplanır. Daha sonra denklem 3.3 kullanılarak taban kesme kuvvetinden S_a spektral ivmeye, denklem 3.4 kullanılarak $\Delta_{\text{çatı}}$ çatı uç yerdeğiştirmesinden S_d spektral yerdeğiştirmeye geçiş yapılır. Bu işlem kapasite eğrisi üzerindeki her nokta için tekrar edilerek kapasite eğrisinin dönüştürölmesiyle kapasite spektrumu elde edilir.

Genel olarak talep spektrumu spektral ivme – periyot, yani $S_a - T$ biçiminde gösterilmektedir. ADRS formatı ise bu kadar yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu iki format arasındaki geçiş kolaydır ve bu işlem denklem 3.5 ve denklem 3.6’da gösterilmektedir. Şekil 3.5’te ise bu geçişin grafik hali gösterilmiştir.

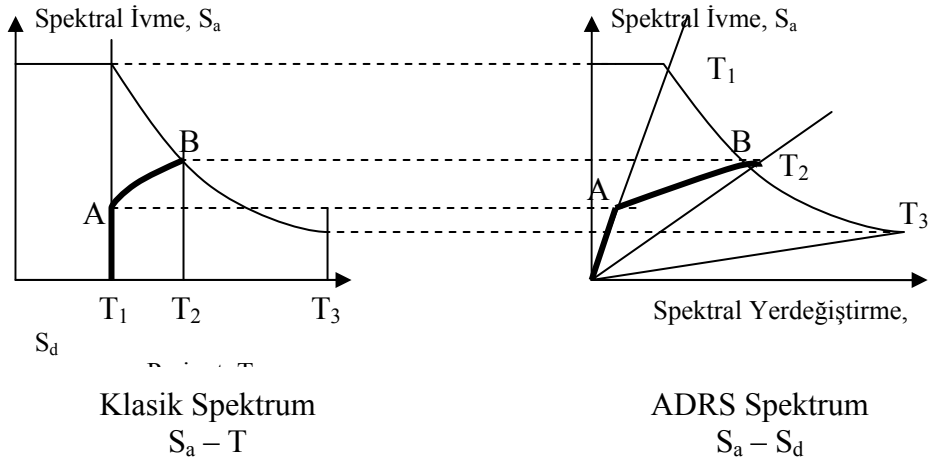
$$S_d = \frac{1}{4\pi^2} S_a T^2 \quad (3.5)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \quad (3.6)$$



Şekil 3.5 Klasik Spektrum ve ADRS Spektrum gösterimi

Şekil 3.6’da kapasite spektrumu ile karşılık spektrumunun çakıştırılmış hali klasik formatta ve ADRS formatında gösterilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde kapasite spektrumunun T_1 periyodunda A noktasına kadar sabit olduğu, B noktasına ulaştığında ise periyodun T_2 olduğu görülmektedir. Bu durum yapıda gözlenen lineer olmayan şekil değiştirmelerin artmasıyla periyodun da arttığını gösterir. Periyodun artışı klasik gösterimde açık olarak görülmektedir. Sabit periyotların başlangıçtan geçen doğrular olarak gösterildiği ADRS formatında da bu durum oldukça belirgindir.



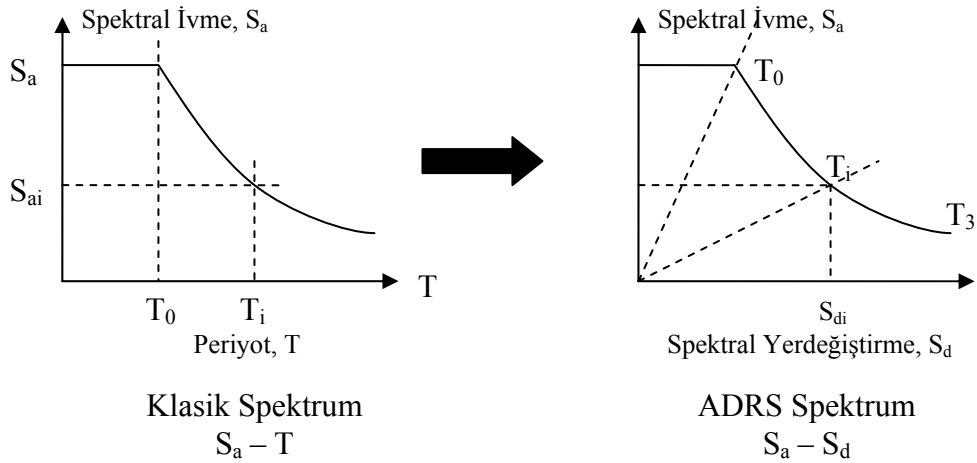
Şekil 3.6 Karşılık Spektrumları Üzerinde Kapasite Spektrumu’nun Gösterilmesi

3.3.4.2. Elastik Karşılık Spektrumunun ve Kapasite Spektrumunun ADRS Formatına Dönüştürülmesi

Kapasite Spektrumu Yöntemi'nin kullanılabilmesi için Elastik Karşılık Spektrumu'nun ve Yapısal Kapasite Eğrisi'nin spektral ivme ve spektral yerdeğiştirmenin bir fonksiyonu olarak gösterilmesi gerekmektedir. Bu şekilde oluşturulan bir spektrum “İvme – Yerdeğiştirme Karşılık Spektrumu” olarak adlandırılmıştır.

ADRS formatındaki bir spektrumun üzerindeki her nokta S_a (spektral ivme), S_v (spektral hız), S_d (spektral yerdeğiştirme), ve T (periyot) değerlerini içerir. Klasik formattaki bir spektrumu ADRS formatına çevirmek için her noktadaki S_d değerinin belirlenmesi gerekir. Bu işlem için daha önce de sözü edilen denklem 3.5'in genel hali kullanılır.

$$S_{di} = \frac{1}{4\pi^2} S_{ai} T^2 \quad (3.7)$$



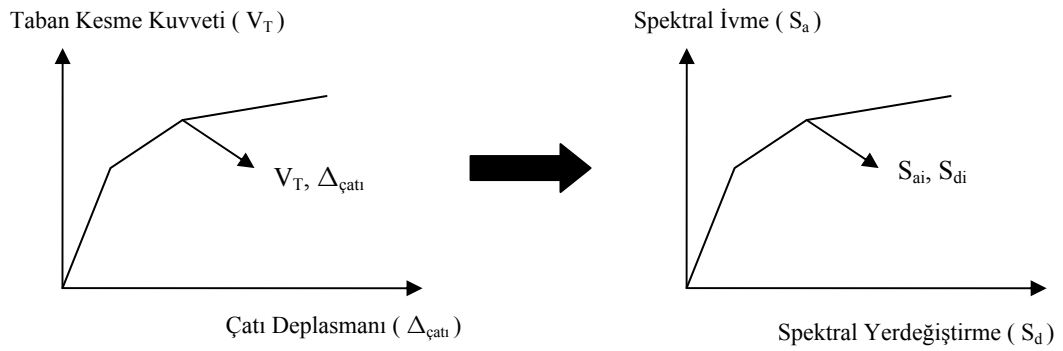
Şekil 3.7 Klasik Spektrumun ADRS Spektrumuna dönüştürülmesi

Kapasite eğrisinden kapasite spektrumuna geçmek için eğrinin her noktasında dönüşüm yapmak gerekmektedir. Kapasite eğrisi üzerindeki V_i ve $\Delta_{\text{çatı}}$ değerleri

denklem 3.8 ve denklem 3.9 kullanılarak bunlara karşılık gelen S_{ai} ve S_{di} değerlerine dönüştürülür.

$$S_{ai} = \frac{V_i / W}{\alpha_1} \quad (3.8)$$

$$S_{di} = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{PF_1 \times \phi_{\text{çatı},1}} \quad (3.9)$$



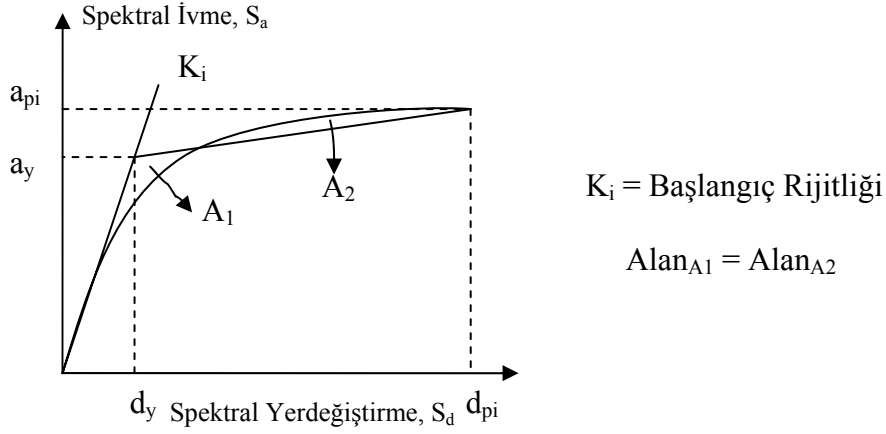
Şekil 3.8 Kapasite Eğrisinin ADRS Kapasite Spektrumuna dönüştürülmesi

3.3.4.3. Kapasite Spektrumu'nun İdeal Hale Getirilmesi

Etkin sönümün ve uygun bir şekilde indirgenmiş talep spektrumunun yaklaşık bir şekilde elde edilebilmesi için kapasite spektrumunun idealleştirilmiş hale getirilmesi gerekmektedir. Bu işlem için ise a_{pi} ve d_{pi} koordinatlı nokta belirlenmelidir. Bu nokta indirgenmiş talep spektrumunun elde edilebilmesi için seçilen tahmini bir performans noktasıdır. Eğer indirgenmiş karşılık spektrumu ile kapasite spektrumu a_{pi} ve d_{pi} noktasında kesişiyorsa, bu seçilen noktanın gerçek performans noktası olduğunu gösterir. Genellikle ilk seçilen nokta ile doğrudan sonuca ulaşamayacağından, ardışık deneme yanılma prosedürü ile gerçek performans noktasının yeri tespit edilir. ATC – 40 raporunda bu noktanın tespiti için önerilen üç yöntem hakkında bilgi Bölüm 3.3.5'te verilecektir.

Kapasite spektrumunun idealleştirilmiş hale getirilmesi için ilk önce başlangıç rijitliğine uygun olacak şekilde orijinden geçen bir doğru çizilir. İkinci adımda tahmini performans noktasından geriye eğrinin içinde kalan ve dışında kalan alanlar

eşit olacak şekilde bir doğru daha çizilir. Şekil 3.9'da da gösterildiği gibi A1 ve A2 alanlarını eşit olarak seçmenin sebebi, kapasite spektrumunun ve ideal hale getirilmiş kapasite spektrumunun altında eşit alan kalmasını sağlamaktır, böylece iki durumda da yapının sönmeyeceği enerji sabit kalacaktır.



Şekil 3.9 Kapasite Spektrumu'nun İdeal Hale Getirilmesi

3.3.4.4. Sönüm Değerinin Tahmini ve %5 Sönümlü Talep Spektrumu'nun İndirgenmesi

Kapasite ve elastik talep spektrumları, aynı spektral ivme-spektral yerdeğiştirme koordinat sisteminde, yani ADRS formatında ifade edildikten sonra, deprem etkileri altında yapı sisteminde oluşan lineer olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle artan sönüm oranına bağlı olarak, elastik istem spektrumunun indirgenmesi gerekir. İndirgenme işlemi için etkili sönüm yüzdesinden yararlanılır.

Etkili sönüm yüzdesi, histeretik ve viskoz sönüm toplamının kritik sönümüne oranı olarak tanımlanır. Viskoz sönüm genellikle %5 olarak alınmaktadır. Histeretik sönüm ise kapasite spektrumu içeren histeresizin alanı ile ilgilidir ve eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilebilir.

Kapasite spektrumunun iki doğru parçasından oluşan biçimiyle idealleştirilmesi halinde, etkili sönüm oranı için denklem 3.10 ve 3.11'in kullanılması gerekir.

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5 = \frac{63.7\kappa(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (3.10)$$

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{so}} \quad (3.11)$$

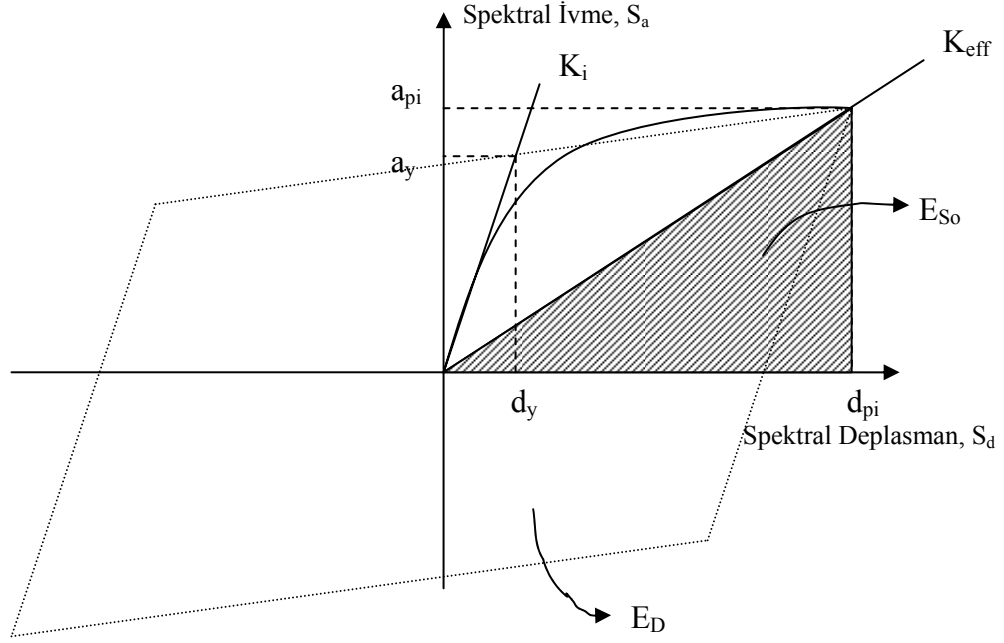
Bu bağıntıda yer alan terimler şu şekilde açıklanmıştır:

- β_{eq} : Etkili sönüm oranı
- β_0 : Eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilen histeretik sönüm
- κ : Yapının taşıyıcı sistemi ile depremin süresine bağlı olarak beliren ve değeri $0.33 \leq \kappa \leq 1.00$ arasında değişen bir katsayıdır.
- E_D : Sönümle yutulan enerji
- E_{so} : Elastik şekil değiştirme enerjisi

Şekil 3.10'da görüldüğü üzere, etkili sönüm oranının hesaplanabilmesi için performans noktasının başlangıçta bilinmesi veya tahmin edilmesi gerekmektedir. E_D ve E_{so} terimleri şekil üzerinde basit geometrik bağıntılar yardımıyla elde edilebilir. Bu bağıntılar denklem 3.12 ve 3.13'te gösterilmiştir.

$$E_D = 4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi}) \quad (3.12)$$

$$E_{so} = \frac{a_{pi} d_{pi}}{2} \quad (3.13)$$



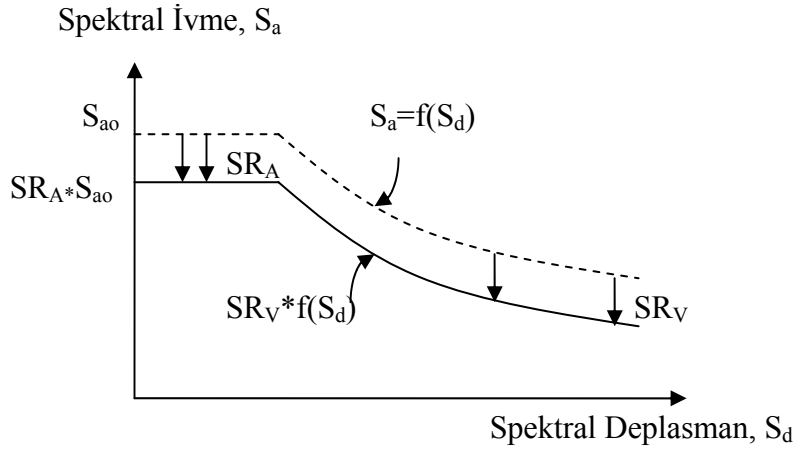
Şekil 3.10 Spektral indirgenme için sönümün gösterilişi

Spektral ivme – spektral yerdeğiştirme ADRS koordinat sisteminde ifade edilen elastik istem spektrumunun yatay koluna ve azalan bölümüne uygulanacak indirgeme katsayıları, SR_A ve SR_V 'nin elde edilmesi, β_{eq} etkili sönüm oranına bağlı olarak sırasıyla denklem 3.14 ve 3.15'te gösterilmiştir.

$$SR_A \approx \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eq})}{2.12} \quad (3.14)$$

$$SR_V \approx \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eq})}{1.65} \quad (3.15)$$

SR_A ve SR_V katsayıları kullanılarak yapılan indirgeme işlemi Şekil 3.11'de gösterilmektedir.



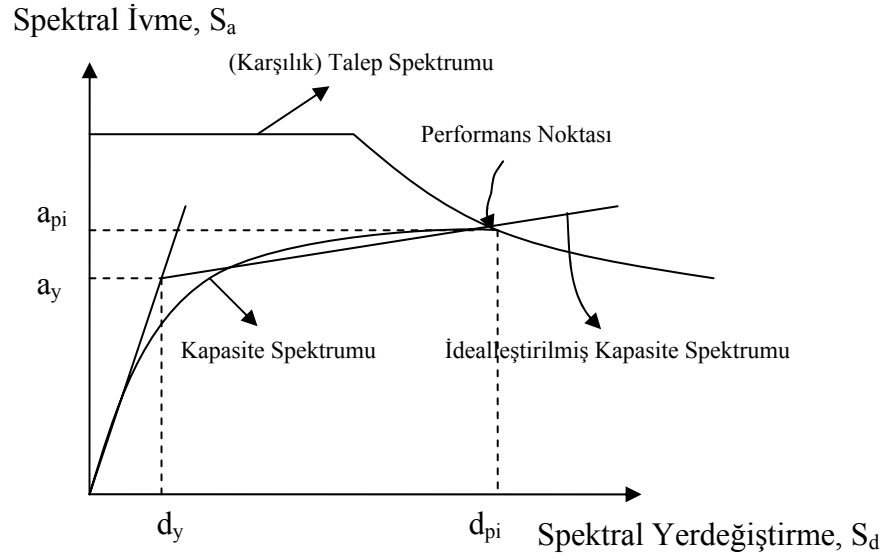
Şekil 3.11 İndirgenmiş Talep Spektrumunun Elde Edilmesi

3.3.4.5. Kapasite Spektrumu ve Talep Spektrumu'nun Kesiştirilmesi

Kapasite spektrumu ile talep spektrumu kesişim noktasının d_i koordinatı, hesabın başındaki tahmini performans noktasının d_{pi} koordinatının %5 yakınlığında bir değer ise performans noktası bulunmuş demektir. Bu durum denklem 3.16'da gösterilmiştir.

$$0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi} \quad (3.16)$$

Eğer bulunan kesişim noktası kabul edilebilir değerler içerisinde değilse, yeni bir a_{pi} , d_{pi} koordinatlı tahmini performans noktası seçilir ve iterasyona devam edilir. Hesap sonucunda bulunan performans noktası deprem yer hareketine karşılık binada oluşabilecek maksimum yapısal yerdeğiştirmeyi göstermektedir. Kapasite spektrumu ve karşılık talep spektrumunun kesiştirilmesi Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Karşılık Talep ve Kapasite Spektrumunun Kesiştirilmesi

3.3.5. Performans Noktasının Hesaplanması

ATC – 40 raporu performans noktasının hesaplanması için üç farklı yöntem önermektedir. Bu yöntemlerin ikisi bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

3.3.5.1. Performans Noktasının Bulunması İçin A Yöntemi

Bu yöntem, Kapasite Spektrumu Metodu'nun en doğrudan uygulamasıdır. İşlem sırası iterasyon ile sonuca ulaşılmasını hedefler, ancak daha önceki bölümlerde verilen formüllerin kullanılmasıyla bu yöntemin esasları bilgisayar programlarına uyarlanabilir. Analitik yöntemlerin adım adım kullanılması sebebiyle performans kavramına aşina olmayan mühendisler için en uygun ve anlaşılır yöntemdir. Bu yöntemde performans noktasına ulaşırken yapılacak olan iterasyonlar el ile veya bilgisayar yardımıyla yapılabilir. A Yöntemi'nde uygulanacak adımlar aşağıdaki gibidir:

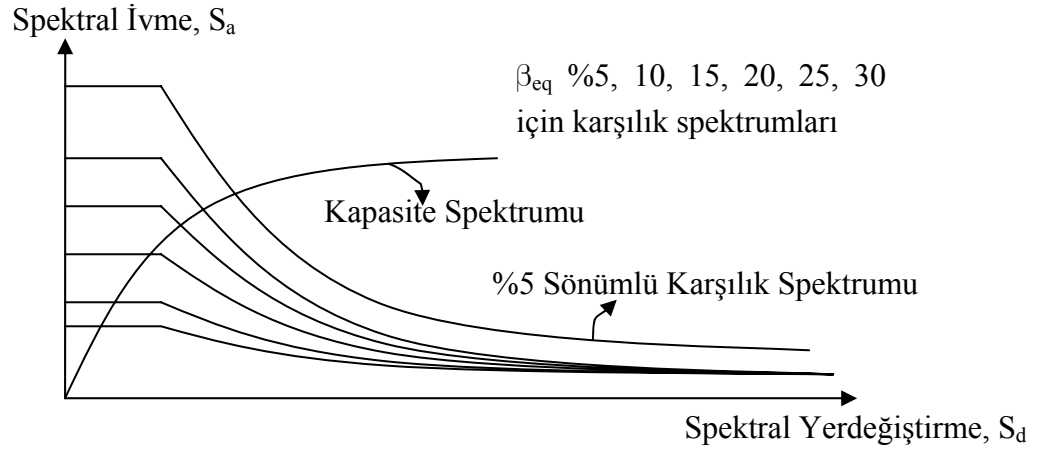
1. %5 sönümlü karşılık spektrumu çizilir.
2. Kapasite eğrisi daha önce açıklanan hesap yöntemi ile kapasite spektrumuna dönüştürülür, ve karşılık spektrum ile aynı grafiğe çizilir.

3. a_{pi} , d_{pi} koordinatlarında tahmini bir başlangıç performans noktası seçilir.
4. Bölüm 3.3.3.3'de anlatılan esaslar çerçevesinde kapasite spektrumu ideal (bilinear) hale getirilir.
5. 3.14 ve 3.15 denklemleri kullanılarak SR_A ve SR_V katsayıları hesaplanır. %5 sönümlü karşılık talep spektrumundan bu katsayılar yardımıyla indirgenmiş talep spektrumuna geçilir.
6. Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesiştiği nokta belirlenir ve bu noktanın a_{pi} , d_{pi} koordinatlarıyla tanımlanan tahmini performans noktasına olan yaklaşıklığı kontrol edilir. Bu kontrol denklem 3.16'da gösterilmiştir.
7. Eğer yeni bulunan kesişim noktası yeterli hassasiyette değil ise, yeni bir a_{pi} , d_{pi} başlangıç performans noktası seçilir ve 4. adıma dönülür.
8. Bulunan kesişim noktası denklem 3.16'daki hassasiyet koşulunu sağlıyorsa, seçilen tahmini nokta performans noktasıdır. Bu durumda a_{pi} , d_{pi} koordinatlı nokta a_p , d_p olarak alınır. d_p değeri belirlenen muhtemel deprem için maksimum yapısal yerdeğiştirmeyi göstermektedir.

3.3.5.2. Performans Noktasının Bulunması İçin B Yöntemi

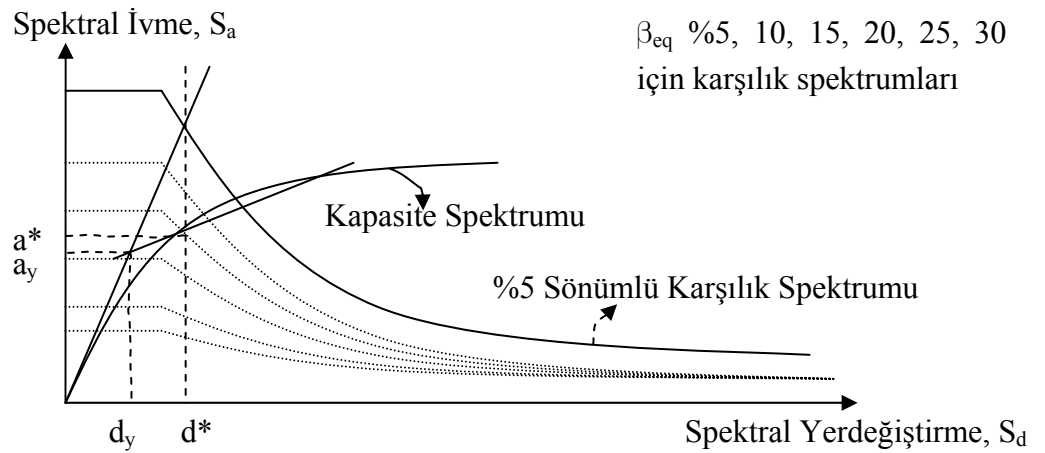
Bu yöntem kapasite eğrisinin her iki doğrultuda da modellenmesine imkan veren basit bir uygulamadır. Bu yöntem kullanılarak performans noktasının gerçek değeri küçük iterasyonlarla bulunur. B Yöntemi de analitik bir yöntemdir, bunun yanı sıra bilgisayar programlarına uyarlanması en kolay olan yöntemdir. Bu yöntemin adımları aşağıda açıklanmıştır:

1. Zemine uygun %5 sönümlü karşılık spektrumu çizilir.
2. %5 sönümlü karşılık spektrumuna ek olarak %10, 15, 20, 25 ve 30 sönümleri için olan karşılık spektrumları aynı grafiğe çizilir.
3. Kapasite eğrisi daha önce anlatılan hesap yöntemi ile kapasite spektrumuna dönüştürülür ve karşılık spektrumları ile aynı grafiğe Şekil 3.13'deki gibi çizilir.



Şekil 3.13 Kapasite Spektrumu ile Karşılık Spektrumlarının Çizilmesi

4. Kapasite spektrumu idealleştirilmiş hale getirilir. İdealleştirilmiş kapasite spektrumunu oluşturan doğru parçalarından ilkinin eğimi yapının başlangıç rijitliğini göstermektedir. İdealleştirilmiş spektrumun oluşturan ikinci doğru parçasının eğri halindeki kapasite spektrumunu kestiği nokta a^*, d^* koordinatlarıyla belirlenir. Bu noktanın yerdeğiştirme değeri eşit yerdeğiştirme kabulüne göre %5 sönümlü karşılık spektrumu ile birinci doğru parçasının kesiştirildiği noktanın yerdeğiştirmesi aynıdır. İkinci doğru parçasının eğimi ise a^*, d^* koordinatlı nokta sabit kalmak kaydıyla A1, A2 alanları eşitlenerek bulunur. Bu durum Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14 a^*, d^* Koordinatlı Nokta ile İdeal Kapasite Spektrumunun Elde Edilmesi

5. a^* , d^* noktasına yakın noktalarındaki çeşitli yerdeğiştirmeleri kullanılarak etkin sönüm hesaplanır. İdealleştirilmiş kapasite spektrumunun oluşturan ikinci doğru parçasının eğimi ve etkili sönüm aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanabilir:

$$\frac{a^* - a_y}{d^* - d_y} \rightarrow \text{İkinci doğru parçasının eğimi} \quad (3.17)$$

$$\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \rightarrow \text{İkinci doğru parçası üzerindeki herhangi bir nokta için eğim} \quad (3.18)$$

2.17 ve 2.18 denklemleri birbirine eşitlenip, a_{pi} değerine göre düzenlenir ve bu değere a_{pi}' denilir.

$$\frac{a^* - a_y}{d^* - d_y} = \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \quad (3.19)$$

$$a_{pi}' = \frac{(a^* - a_y)(d_{pi} - d_y)}{d^* - d_y} + a_y \quad (3.20)$$

Bu değer 2.10 denkleminde yerine konulmasıyla etkin sönüm bulunur ve bu eşitlik κ değerleri ve farklı d_{pi} değerleri için çözümlenir.

$$\beta_{eq} = \frac{63.7\kappa(a_y d_{pi} - d_y a_{pi}')}{a_{pi}' d_{pi}} + 5 \quad (3.21)$$

6. Beşinci adımda her farklı d_{pi} değeri için bulunan sonuçlar, karşılık spektrumlarının ve idealleştirilmiş kapasite spektrumunun bulunduğu grafiğe işaretlenir.
7. Altıncı adımda bulunan noktalar doğru parçaları ile birleştirilir. Bu doğru parçalarından oluşan hat ile kapasite spektrumunun kesişim noktası performans noktasını verir.

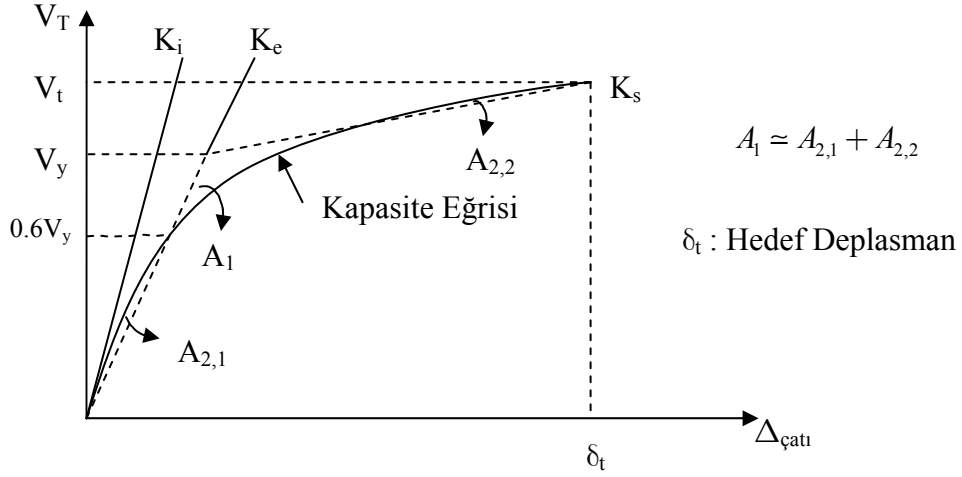
3.3.5.3. Performans Noktasının Bulunması İçin C Yöntemi

Bu yöntem, performans noktasını bulmak için kullanılan grafiksel bir uyarlama yöntemidir. Diğer metotlara göre uygulanması ve bilgisayar programlarına adapte edilmesi daha zordur. Genellikle el ile yapılabilecek bir analizde kullanılabileceği için bu yöntem anlatılmayacaktır. C Yöntemi'nin ayrıntılı incelemesi için ATC – 40 , Bölüm 8-27 kullanılabilir.

3.3.6. Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi

FEMA 273 raporunda açıklanan Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi bu bölümde kısaca açıklanacaktır. Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi, kapasite spektrumu yöntemine benzer olarak, kapasite ve istemin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde, yerdeğiştirme istemi grafik olarak değil, sayısal bir şekilde belirlenmektedir. Bu durumda, kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesine gerek kalmamaktadır [2].

Yerdeğiştirme katsayısı yönteminde önce V_T taban kesme kuvveti ile $\Delta_{çatı}$ tepe noktası yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyotuna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük dağılımı seçilir. Sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında, lineer olmayan teoriye göre hesap yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Daha sonra bu eğri, birincisinin eğimi elastik rijitliği (K_e), ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği (K_s) temsil eden iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diyagramlarının altında kalan alanların eşit olması ve K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s doğrularının kesiştiği noktanın ordinatının 0.6 katı olması koşulları esas alınır. Ancak iki doğrunun kesim noktası başlangıçta bilinmediğinden, bir deneme-yanılma yönteminin uygulanması gerekir. Sonuç itibarıyla Şekil 3.15'deki gibi bir grafik ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.15 Yerdeğiştirme Katsayıları Yönteminin Gösterimi

Bu şekilde idealleştirilen kapasite eğrisi için, sistemin T_e etkin doğal periyodu, T_i hesap yapılan doğrultudaki elastik doğal periyotu göstermek üzere hesaplanır.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3.22)$$

Yapı sisteminin T_e etkin periyodu bulunduktan sonra, hedef yerdeğiştirme δ_t olarak bulunur.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (3.23)$$

Bu formülde kullanılan katsayılar ve büyüklüklerin açıklaması şu şekilde yapılmıştır:

- C_o : Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay deplasmanı ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katsayıdır.
- C_1 : Lineer elastik yerdeğişimi beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeye dönüştüren düzeltme katsayısıdır.
- C_2 : Histeresiz enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısıdır.
- C_3 : İkinci mertebe etkileri nedeniyle artan deplasmanların etkisini dikkate alan düzeltme katsayısıdır.
- S_a : Gözönüne alınan yapının etkin doğal periyoduna ve sönüm oranına bağlı olarak belirlenen ve g yerçekimi ivmesini de içeren spektral ivmedir.

Bu katsayı ve büyüklüklerin hesabına yönelik ayrıntılı bilgi FEMA 273, 274 ve 356 dokümanlarında verilmektedir.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere, yerdeğiştirme katsayısı yönteminde de, hedef yerdeğiştirmenin bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekmektedir. Başlangıçta seçilen ve T_e etkin periyodunun hesabına esas olan D_{TM} yerdeğiştirmesi ile hesap sonucunda bulunan değerlerin eşit veya birbirine yeterince yakın olması halinde hedef yerdeğiştirmesi bulunmuş olur ve ardışık yaklaşıma son verilir.

ngrlen deprem etkisi altındaki hedef yerdeğiştirme bulunduktan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun için, sisteme ait büyüklüklerin (yerdeğiştirmeler, plastik şekildeğiştirmeler vb) değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır.

4. SINIR DURUMLARI

4.1. Giriş

Bir yapının seçilen performans hedefine ulaşp ulaşmadığının kontrolü lineer olmayan analiz sonucunda elde edilen değerlerin seçilen performans seviyesi kriterleriyle karşılaştırılması ile yapılır. Bu bölümde söz konusu karşılaştırmanın nasıl yapılacağı anlatılmaktadır. Sınır durumları iki kategori halinde incelenir:

- **Bina Kabul Sınırları:** Bu limitler, düşey yük kapasitesi, yatay yük direnci ve yanal yerdeğiştirme sınırlarını içermektedir.
- **Eleman Kabul Sınırları:** Binanın taşıyıcı sistemlerini oluşturan elemanlar için ayrı ayrı belirlenen limitleri içerir.

Daha önce de belirtildiği gibi performans hedefi, bir yapının belirli bir deprem hareketi etkisi altında gösterdiği istenen sismik performansı olarak tanımlanmaktadır. Eğer belirlenmiş bir deprem yer hareketi için hesaplanan karşılık, tüm yapı seviyesinde global bina kabul sınırlarını karşılamıyorsa, veya eleman seviyesinde eleman kabul sınırlarını sağlamıyorsa, yapı seçilen performans hedefine ulaşamıyor demektir.

4.2. Beklenen Performansı Tanımlayan Limitler

Çeşitli performans seviyelerinin tanımları kaba hatlarıyla Bölüm 1.'de verilmiştir. Bu kısımda belirli performans seviyeleri için taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda gözlenebilecek hasar limitleri açıklanacaktır. Hemen Kullanım, Hasar Kontrol, Can Güvenliği ve Göçmenin Önlenmesi performans seviyeleri için taşıyıcı elemanlardaki hasar limitleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Taşıyıcı Elemanlar için Performans – Hasar Tablosu

Eleman Tipi	Hemen Kullanım	Hasar Kontrol	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
Kolonlar	Çok sınırlı eğilme ve ayrılmasız kayma çatlağı. Kalıcı yatay ötelenme yok. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.	Çok sınırlı eğilme ve çok az ayrılmalı kayma çatlağı. Kalıcı yatay ötelenme yok. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.	Yapının alt katlarında plastik mafsallaşma görülür. Kolon-Kiriş uç noktalarında ayrılmalar gözlenir. Katlar arasında kalıcı yanal ötelemeler %2 nispetindedir. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.	Yapının alt katlarında plastik mafsallaşma görülür. Kolon-Kiriş birleşimlerinde ciddi ayrılmalar gözlenir. Katlar arasında kalıcı yanal ötelemeler %3.5 nispetindedir. Düşey yük taşıma kapasitesi korunmaktadır.
Kirişler	Kolon-Kiriş birleşimlerinde sınırlı ayrılma gözlenir. Kalıcı yatay ötelenme yoktur. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.	Kolon-Kiriş birleşim noktaları etrafında sınırlı ayrılma gözlenir. Mafsal bölgelerinde sınırlı eğilme çatlakları vardır. Kalıcı yatay ötelenme gözlenmez, düşey yük kapasitesi korunur.	Mafsal bölgesi etrafında ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ayrılmalar gözlenir. Mafsal bölgelerinden düğüm noktalarına doğru kesme ve eğilme çatlakları gözlenmektedir. Etriyelerde esneme meydana gelebilir. Kalıcı düşey yerdeğiştirmeler meydana gelir, düşey yük taşıma kapasitesi korunur.	Mafsal bölgesi etrafında ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde fazla ayrılma gözlenir. Mafsal bölgelerinde fazlaca eğilme ve kesme çatlağı bulunur. Etriyelerde kopma ve kalıcı düşey yerdeğiştirmeler oluşur. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.
Döşemeler	Kolon – Kiriş birleşim noktalarına yakın bölgelerde çok kılcal çatlaklar gözlenir. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.	Kolon-Kiriş birleşim noktalarına yakın kılcal çatlaklar gözlenir. Mafsal bölgelerinde eğilme çatlağı gözlenir. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.	Kolon-Kiriş birleşim noktalarına yakın çatlaklar gözlenir. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.	Kolon-Kiriş birleşim noktalarına yakın bölgelerde uzun çatlaklar gözlenir. Betonda ufalanmalar ve çatlak bölgelerinde sıyrılmalar vardır. Göçme olayı olmamakla birlikte döşeme kalınlığının dörtte biri kadar sehim oluşabilir.
Perdeler	Perde düzleminde çok küçük kayma çatlakları görülür. Kalıcı yatay ötelenme yoktur.	Perde düzleminde küçük kayma çatlakları görülür. Kalıcı yatay ötelenme yoktur.	Uçlarda kısmi ayrılmalar, kayma ve eğilme çatlakları görülür. Kesmeden dolayı oluşan kayma kusurları görülebilir. Kalıcı yatay ötelemeler %2 mertebesindedir.	Fazla yerdeğiştirme yapan yerlerde duvar boyunca ayrılmalar ve çatlaklar görülür. Boyuna donatıda burkulma oluşur. Tüm perde bağlantı noktalarında kayma çatlakları gözlenir. Kalıcı yatay ötelenme %3.5 mertebesindedir.
Temeller	Ardışık iki kolon arasında farklı oturma gözlenmez	Ardışık iki kolon arasında farklı oturma gözlenmez	Ardışık iki kolon arasındaki rölatif oturma miktarı L/150 seviyesindedir.	Ardışık iki kolon arasındaki rölatif oturma miktarı L/6 seviyesindedir

Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans ve hasar ilişkisi ise Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar için Performans – Hasar Tablosu

Eleman Tipi	Hemen Kullanım	Hasar Kontrol	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
Taşıyıcı Olmayan Elemanlar	Dış cephe camları kırılmaz. Kapı akslarında deformasyon yoktur. Asma tavanlarda az miktarda hasar gözlenebilir. Merdiven bağlantı hatlarında ve bazı ara yerlerinde çok az miktarda çatlaklar gözlenebilir. Asansörler ve bina araç gereçleri işlevsel haldedir. Çatı katta çok az miktarda hasar olabilir.	Dış cephe camlarında az miktarda kırılma meydana gelebilir. Kapı akslarında deformasyon yoktur. Asma tavanlarda az miktarda hasar gözlenebilir. Mobilyalar devrilebilir. Merdiven bağlantı hatlarında ve bazı ara yerlerinde çok az miktarda çatlaklar gözlenebilir. Asansörler ve bina araç gereçleri işlevsel haldedir. Çatı katta çok az miktarda hasar olabilir.	Büyük yatay ötelenme hareketinden ötürü cam hasarı oluşur. Kapılar kullanılabilir durumdadır. Asma tavanlarda göçme gözlenebilir. Mobilyalar devrilebilir. Merdivenlerde büyük hasar oluşabilir. Asansörler ve diğer bina ekipmanı kullanılamaz haldedir. Çatı katlarında önemli hasar gözlenebilir.	Dış cephe camlarının çoğu kırılır. Kapılar kullanılamaz haldedir. Asma tavanlar çökebilir. Mobilyalar devrilir. Asansör ve bina ekipmanı kullanılamaz haldedir. Çatı katları yıkılabilir.

4.3. Bina Kabul Limitleri

4.3.1. Ağırlık Yükleri

Hangi performans seviyesi için olursa olsun bina düşey yük taşıma kapasitesini korumak zorundadır. Elemanlardan biri veya bir kaç düşey yük taşıma kapasitesini kaybetse bile, yapı taşınacak yükleri sağlam elemanlara aktarabilmeli, düşey yükler altında stabilitesini muhafaza edebilmelidir.

4.3.2. Yatay Yükler

Eğer önemli sayıda eleman dayanımını kaybederse, yapının yanal yük dayanımı etkilenebilir. Özellikle çerçeve süreksizliği olan yapılar deprem yükleri altında iyi

davranış göstermemektedir. Yapı sisteminin yanal yük dayanımı, ki buna meydana gelen yatay yerdeğıştirmeler sonucu oluşan ağırlık yüklerinin etkisi de dahildir, yapının maksimum dayanımının %20'sinden daha az olmamalıdır. Eğer deprem yüklerine karşı olan direnç çok azalırsa yapının güçlendirilmesi gerekmektedir.

Belirlenen bir performans hedefi için, performans noktası üzerinde hesaplanan karşılık değerleri, global anlamda düşey yük taşıma kapasitesi ile yanal yük stabilitesi korunacak şekilde, ve kat ötelenme limitleri aşılmayacak şekilde olmalıdır. Bu durum eleman ve bileşenler bazında incelendiğinde, tüm elemanların mukavemet ve şekildeğıştirme kapasitesi durumlarının kontrol edilmesi gerekmektedir.

4.3.3. Yatay Yerdeğıştirmeler

Yapılan lineer olmayan analiz sonucunda bulunan performans noktasındaki yatay yerdeğıştirmenin belli sınır durumlarını geçmemesi gerekmektedir. Bu limitler Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Burada söz edilen maksimum toplam ötelenme, performans noktası yerdeğıştirmesindeki katlar arası rölatif ötelenmenin kat yüksekliğine bölümünü, maksimum elastik olmayan ötelenme ise maksimum toplam ötelenmenin akma noktasından sonraki kısmını temsil etmektedir. Göçmenin Önlenmesi performans seviyesi için denklem 4.1'in sağlanması gerekmektedir.

$$\text{Maksimum Toplam Ötelenme} \leq 0.33 \frac{V_i}{P_i} \quad (4.1)$$

Burada sözü edilen V_i değeri i. kat için hesaplanan yatay kesme yükünü, P_i ise i. kattaki zati ve hareketli yüklerin toplamını temsil etmektedir.

Tablo 4.3 Yatay Rölatif Yerdeğıştirme Sınırları

	Performans Seviyesi			
Kat Ötelenme Limiti	Hemen Kullanım	Hasar Kontrol	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
Maksimum Toplam Ötelenme	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum Elastik Olmayan Ötelenme	0.005	0.005-0.015	Limitsiz	Limitsiz

4.4. Eleman Kabul Limitleri

Hesaplanan performans noktasına tekabül eden kuvvetler ve deformasyonlar altında, sistemi oluşturan elemanların kabul limitleri çerçevesinde davranış gösterip göstermediğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu bölümde çeşitli elemanlar için mukavemet ve şekildeğiştirme kapasitesi kontrolleri hakkında bilgi verilecektir.

4.4.1. Birincil ve İkincil Elemanlar

Yapı sistemini oluşturan elemanlar deprem yüklerini karşılama dirençlerine bağlı olarak birincil ve ikincil elemanlar olarak sınıflandırılırlar. Yapının performans noktasındaki dayanımının ve yanal rijitliğinin büyük bölümünü karşılayan elemanlar birincil, geri kalan elemanlar ise ikincil olarak adlandırılmışlardır.

4.4.2. Eleman Şekildeğiştirme Kapasitesi

Elemanlar için hesaplanan şekildeğiştirme değerleri performans seviyeleri için belirlenmiş şekildeğiştirme limitlerini aşamaz.

Birincil elemanlar için Göçmenin Önlenmesi performans seviyesindeki şekildeğiştirme kapasitesi, yanal yük taşıma dayanımındaki önemli derecedeki düşüşün başlangıcı olarak tanımlanmıştır. Can Güvenliği seviyesindeki kapasite ise Göçmenin Önlenmesi seviyesindekinin %75'i olarak gösterilmiştir.

İkincil elemanlar için Göçmenin Önlenmesi performans seviyesindeki şekildeğiştirme kapasitesi, düşey yük dayanımının bittiği şekildeğiştirme olarak tanımlanır. Burada da, Can Güvenliği seviyesindeki kapasite Göçmenin Önlenmesi seviyesindekinin %75'i olarak gösterilmiştir.

Şekildeğiştirme kapasitesinin hesaplanması yerine, tablolardaki sayısal limitler de kullanılabilir.

4.4.3. Çerçeve Sistemler

4.4.3.1. Kolon – Kiriş Çerçeveler

Kabul kriterleri kolon, kiriş ve bunların birleşim yerlerindeki dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin durumunu ile ilgilidir. Bu kriterler şu şekilde sıralanmaktadır:

- Eksenel yükler altındaki kolon ve kirişlerde meydana gelebilecek mekanizma durumları, ve buna bağlı olarak elastik bölgenin dışındaki dayanım ve dönmelerin incelenmesi.
- Kolon – kiriş uç noktalarında, ve açıklık üzerinde donatı alanının değiştiği bölgelerde yapılacak kayma gerilmesi tahkiki.
- Kolon – kiriş birleşimlerinde oluşabilecek yer değiştirmeler.
- Kolonlarda, kirişlerde ve birleşim noktalarındaki boyuna ve enine donatıların yerleştirilmesi ve ankraj boylarının etkinliği.
- Kolon, kiriş veya birleşim noktalarında meydana gelebilecek hasarlardan ötürü düşey yük taşıma kapasitesindeki azalma.

4.4.3.2. Döşeme – Kolon Çerçeveler

Kabul kriterleri döşemelerde, kolonlarda ve bunların birleşim yerlerindeki dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin durumunu ile ilgilidir. Bu kriterler şu şekilde sıralanmaktadır:

- Eksenel yükler altındaki döşeme ve kolonlarda meydana gelebilecek mekanizma durumları, ve buna bağlı olarak elastik bölgenin dışındaki dayanım ve dönmelerin incelenmesi.
- Birleşim bölgelerindeki kayma gerilmesi ve moment aktarım kapasitesinin durumu.
- Döşeme plaklarındaki, kolonlardaki ve bunların birleşim yerlerindeki boyuna ve enine donatıların yerleşimi, ankraj boylarının etkinliği.

- Döşeme plağı, kolon veya bunların birleşim yerlerinde meydana gelebilecek hasarlardan ötürü düşey yük taşıma kapasitesindeki azalma.

4.4.4. Perdeli Sistemler

4.4.4.1. Boşluksuz Perdeler

Kabul kriterleri perdelerin ve bunların diğer elemanlarla birleşim yerlerindeki dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin durumunu ile ilgilidir. Bu kriterler şu şekilde sıralanmaktadır:

- Eğilme şekildeğiştirme kapasitesi
- Perde kayma gerilmesi dayanımı
- Temel kalkması
- Perdelerde ve bunların birleşim yerlerindeki boyuna ve enine donatıların yerleşimi, ankraj boylarının etkinliği.

4.4.4.2. Perde ve Çerçeveler

Kabul kriterleri perdelerin, perde bölümlerinin ve bağ kirişlerinin dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin durumunu ile ilgilidir. Bu kriterler şu şekilde sıralanmaktadır:

- Perdelerin ve bağ kirişlerinin eğilme şekildeğiştirme kapasitesi.
- Perdelerin, bağ kirişlerinin, ve birleşim noktalarının kesme kuvveti karşılama kapasitesi.
- Temel kalkması
- İş derzlerinde, ve birleşim yerlerinde kayma gerilmesi dayanımı
- Perdelerde ve bunların birleşim yerlerindeki boyuna ve enine donatıların yerleşimi, ankraj boylarının etkinliği.

4.4.4.3. Boşluklu Perdeler

Kabul kriterleri perdelerin, bağ kirişlerinin ve yükleri diyaframa ileten elemanların dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin durumunu ile ilgilidir. Bu kriterler şu şekilde sıralanmaktadır:

- Perdelerin ve bağ kirişlerinin eğilme şekildeğiştirme kapasitesi.
- Perdelerin, bağ kirişlerinin, ve birleşim noktalarının kesme kuvveti karşılama kapasitesi.
- Temel kalkması
- Perdelerde ve bunların birleşim yerlerindeki boyuna ve enine donatıların yerleşimi, ankraj boylarının etkinliği.

4.4.5. Performans Kriteri Uygunluk Tabloları

Bu kısımda yer alan tablolar ATC – 40 raporundan alınmıştır ve sırasıyla aşağıdaki elemanlar için nümerik kabul edilebilirlik kriterlerini vermektedir:

- Betonarme Kirişler
- Betonarme Kolonlar
- Betonarme Kolon – Kiriş Birleşimleri
- Döşemeler ve Kolon – Döşeme Birleşimleri
- Betonarme Perdeler

Tablo 4.4 Betonarme Kirişler için Kabul Limitleri Dahilinde Plastik Mafsallı Dönmeleri (radyan)

Eleman Tipi			Performans Seviyesi				
			<i>Birincil</i>			<i>İkincil</i>	
			HK	CG	GÖ	CG	GÖ
Eğilme Etkisi Altındaki Kirişler							
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Etriye Durumu	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$					
$\leq 0,0$	Uygun	$\leq 0,25$	0,005	0,02	0,025	0,02	0,05
$\leq 0,0$	Uygun	$\geq 0,50$	0,005	0,01	0,02	0,02	0,04
$\geq 0,5$	Uygun	$\leq 0,25$	0,005	0,01	0,02	0,02	0,03
$\geq 0,5$	Uygun	$\geq 0,50$	0,005	0,005	0,015	0,015	0,02
$\leq 0,0$	Uygun Değil	$\leq 0,25$	0,005	0,01	0,02	0,02	0,03
$\leq 0,0$	Uygun Değil	$\geq 0,50$	0,0	0,005	0,01	0,01	0,015
$\geq 0,5$	Uygun Değil	$\leq 0,25$	0,005	0,01	0,01	0,01	0,015
$\geq 0,5$	Uygun Değil	$\geq 0,50$	0,0	0,005	0,005	0,005	0,01
Kesme Kuvveti Etkisi Altındaki Kirişler							
Etriye Aralığı $\leq d / 2$			0,0	0,0	0,0	0,01	0,02
Etriye Aralığı $> d / 2$			0,0	0,0	0,0	0,005	0,01
Yetersiz Kenetlenme Boyu veya Bindirme Boyu Olan Kirişler							
			0,0	0,0	0,0	0,01	0,02
			0,0	0,0	0,0	0,005	0,01
Kolon – Kiriş Bölgesine Yetersiz Saplama Durumu							
			0,01	0,01	0,015	0,02	0,03

Tablo 4.5 Betonarme Kolonlar için Kabul Limitleri Dahilinde Plastik Mafsall Dönmeleri (radyan)

Eleman Tipi			Performans Seviyesi				
			Birincil			İkincil	
			HK	CG	GÖ	CG	GÖ
Eğilme Etkisi Altındaki Kolonlar							
$\frac{P}{A_g f_c'}$	Etriye Durumu	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c'}}$					
$\leq 0,1$	Uygun	$\leq 0,25$	0,005	0,01	0,02	0,015	0,03
$\leq 0,1$	Uygun	$\geq 0,50$	0,005	0,01	0,015	0,01	0,025
$\geq 0,4$	Uygun	$\leq 0,25$	0,0	0,005	0,015	0,010	0,025
$\geq 0,4$	Uygun	$\geq 0,50$	0,0	0,005	0,01	0,01	0,015
$\leq 0,1$	Uygun Değil	$\leq 0,25$	0,005	0,005	0,01	0,005	0,015
$\leq 0,1$	Uygun Değil	$\geq 0,50$	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
$\geq 0,4$	Uygun Değil	$\leq 0,25$	0,0	0,0	0,005	0,0	0,005
$\geq 0,4$	Uygun Değil	$\geq 0,50$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kesme Kuvveti Etkisi Altındaki Kolonlar							
Etriye Aralığı $\leq d / 2$ veya $\frac{P}{A_g f_c'} \leq 0,1$			0,0	0,0	0,0	0,01	0,015
Diğer Durumlar			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Yetersiz Kenetlenme Boyu veya Bindirme Boyu Olan Kolonlar							
Etriye Aralığı $\leq d / 2$			0,0	0,0	0,0	0,01	0,02
Etriye Aralığı $> d / 2$			0,0	0,0	0,0	0,005	0,01
0.70P ₀ Üzerinde Eksenel Yük Taşıyan Kolonlar							
Kenetlenme Boyu Uygun Donatılı Kolon			0,0	0,0	0,005	0,005	0,01
Diğer Durumlar			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tablo 4.6 Betonarme Kolon – Kiriş Birleşimleri için Kabul Limitleri Dahilinde Toplam Kayma Açıları (radyan)

Eleman Tipi			Performans Seviyesi					
			<i>Birincil</i>			<i>İkincil</i>		
			HK	CG	GÖ	CG	GÖ	
İç Birleşimler								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Etriye Durumu	$\frac{V}{V_n}$						
$\leq 0,1$	Uygun	$\leq 1,2$	0,0	0,0	0,0	0,02	0,03	
$\leq 0,1$	Uygun	$\geq 1,5$	0,0	0,0	0,0	0,015	0,02	
$\geq 0,4$	Uygun	$\leq 1,2$	0,0	0,0	0,0	0,015	0,025	
$\geq 0,4$	Uygun	$\geq 1,5$	0,0	0,0	0,0	0,015	0,02	
$\leq 0,1$	Uygun Değil	$\leq 1,2$	0,0	0,0	0,0	0,015	0,02	
$\leq 0,1$	Uygun Değil	$\geq 1,5$	0,0	0,0	0,0	0,01	0,015	
$\geq 0,4$	Uygun Değil	$\leq 1,2$	0,0	0,0	0,0	0,01	0,015	
$\geq 0,4$	Uygun Değil	$\geq 1,5$	0,0	0,0	0,0	0,01	0,015	
Diğer Birleşimler								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Etriye Durumu	$\frac{V}{V_n}$						
$\leq 0,1$	Uygun	$\leq 1,2$	0,0	0,0	0,0	0,015	0,02	
$\leq 0,1$	Uygun	$\geq 1,5$	0,0	0,0	0,0	0,01	0,015	
$\geq 0,4$	Uygun	$\leq 1,2$	0,0	0,0	0,0	0,015	0,02	
$\geq 0,4$	Uygun	$\geq 1,5$	0,0	0,0	0,0	0,01	0,015	
$\leq 0,1$	Uygun Değil	$\leq 1,2$	0,0	0,0	0,0	0,005	0,01	
$\leq 0,1$	Uygun Değil	$\geq 1,5$	0,0	0,0	0,0	0,005	0,01	
$\geq 0,4$	Uygun Değil	$\leq 1,2$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
$\geq 0,4$	Uygun Değil	$\geq 1,5$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tablo 4.7 Betonarme Döşemeler ve Kolon Döşeme Birleşimleri için Kabul Limitleri
Dahilinde Plastik Mafsallı Dönmeleri (radyan)

Eleman Tipi		Performans Seviyesi				
		<i>Birincil</i>			<i>İkincil</i>	
		HK	CG	GÖ	CG	GÖ
Eğilme Etkisi Altındaki Döşemeler ve Kolon – Döşeme Birleşimleri						
$\frac{V_g}{V_o}$	Donatı Sürekliliği					
$\leq 0,2$	Sürekli	0,01	0,015	0,02	0,03	0,05
$\leq 0,4$	Sürekli	0,0	0,0	0,0	0,03	0,04
$\geq 0,2$	Süreksiz	0,01	0,015	0,02	0,015	0,02
$\geq 0,4$	Süreksiz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Yetersiz Kenetlenme Boyu veya Bindirme Boyu Olan Döşemeler						
		0,0	0,0	0,0	0,01	0,02
Kolon – Döşeme Bölgesine Yetersiz Saplama Durumu						
		0,01	0,01	0,015	0,02	0,03

Tablo 4.8 Betonarme Perdeler için Kabul Limitleri Dahilinde Plastik Mafsal Dönmeleri (radyan)

Eleman Tipi			Performans Seviyesi				
			<i>Birincil</i>			<i>İkincil</i>	
			HK	CG	GÖ	CG	GÖ
Perdeler							
$\frac{(A_s - A'_s)f_y + P}{t_w l_w f'_c}$	Perde Uç Donatısı	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f'_c}}$					
$\leq 0,1$	Var	≤ 3	0,005	0,01	0,015	0,015	0,02
$\leq 0,1$	Var	≥ 6	0,004	0,008	0,01	0,01	0,015
$\geq 0,25$	Var	≤ 3	0,003	0,006	0,009	0,009	0,012
$\geq 0,25$	Var	≥ 6	0,001	0,003	0,005	0,005	0,01
$\leq 0,1$	Yok	≤ 3	0,002	0,004	0,008	0,008	0,015
$\leq 0,1$	Yok	≥ 6	0,002	0,004	0,006	0,006	0,01
$\geq 0,25$	Yok	≤ 3	0,001	0,002	0,003	0,003	0,005
$\geq 0,25$	Yok	≥ 6	0,001	0,001	0,002	0,002	0,004
Süreksiz Perdeleri Destekleyen Kolonlar							
Etriye Aralığı Uygun			0,0	0,0	0,0	0,01	0,015
Etriye Aralığı Uygun Değil			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height							
Etriye Aralığı $\leq d / 2$			0,003	0,007	0,01	-	-
Etriye Aralığı $> d / 2$			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Perdeler Arası Bağ Kirişler							
Boyuna ve Enine Donatı	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f'_c}}$						
İkisi de Mevcut ve Uygun	≤ 3		0,006	0,015	0,025	0,025	0,04
	≥ 6		0,005	0,01	0,015	0,015	0,03
Enine Donatı Uygun Değil	≤ 3		0,006	0,012	0,02	0,02	0,035
	≥ 6		0,005	0,008	0,01	0,01	0,025
Diyagonal Donatı Var	-		0,006	0,018	0,03	0,03	0,05

5. PERFORMANSA DAYALI GÜÇLENDİRME

5.1. Giriş

Deprem için yapılan projelendirmede yapıda hiç hasar olmaması koşulu, nükleer santraller gibi çok özel yapılar dışında, ekonomik nedenlerle aranmaz. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelikte öngörüldüğü gibi depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir [5].

Bu bölümde Bölüm 3’de anlatılan pushover analizi ile incelenmiş mevcut bir binanın, Bölüm 4’te anlatılan kabul kriterlerine uymaması sonucunda izlenecek güçlendirme stratejilerine değinilecektir.

Mevcut bir binanın istenilen performans hedefini sağlayacak duruma getirilmesi için genellikle uygulanabilecek birden fazla güçlendirme stratejisi bulunmaktadır. Bunlar arasındaki seçim mühendis tarafından verimlilik, maliyet, uygulanabilirlik kriterlerine göre seçilmektedir.

5.2. Güçlendirme Stratejileri

Bir güçlendirme stratejisi, mevcut yapının sismik performansını arttırmak ve bunun sonucunda mevcut riski azaltmak için yapılacak yaklaşım olarak tanımlanmıştır. Bu stratejilere örnek olarak, yapı dayanımının artırılması, kritik bölgelerdeki kusurların düzeltilmesi, yapı rijitliğinin değiştirilmesi ve talebin azaltılması verilebilir.

Bir yapı deprem yer hareketi etkisine maruz kaldığında yatay yerdeğiştirmeler yapar, yapıyı oluşturan elemanlarda ise deformasyonlar görülür. Karşılığın düşük olduğu

seviyelerde elemanların yaptığı deformasyonlar elastik limitler dahilinde olur ve yapının düşey ve yatay yük taşıma sisteminde hasar görülmez. Karşılığın yüksek olduğu seviyelerde ise yapı elemanlarının yaptığı deformasyonlar lineer sınırı aşacak ve kalıcı plastik şekildeğıştirmeler sonucu yapı hasara uğramaktadır. Yapının yeterli sismik performans gösterebilmesi için, yatay yükleri taşıma kapasitesi yüksek olmalıdır. Böylece depremde kaynaklanan yatay yerdeğıştirmeler sınırlandırılmış olur ve meydana gelecek hasar hedeflenen performans seviyesi sınırları dahilinde tutulur.

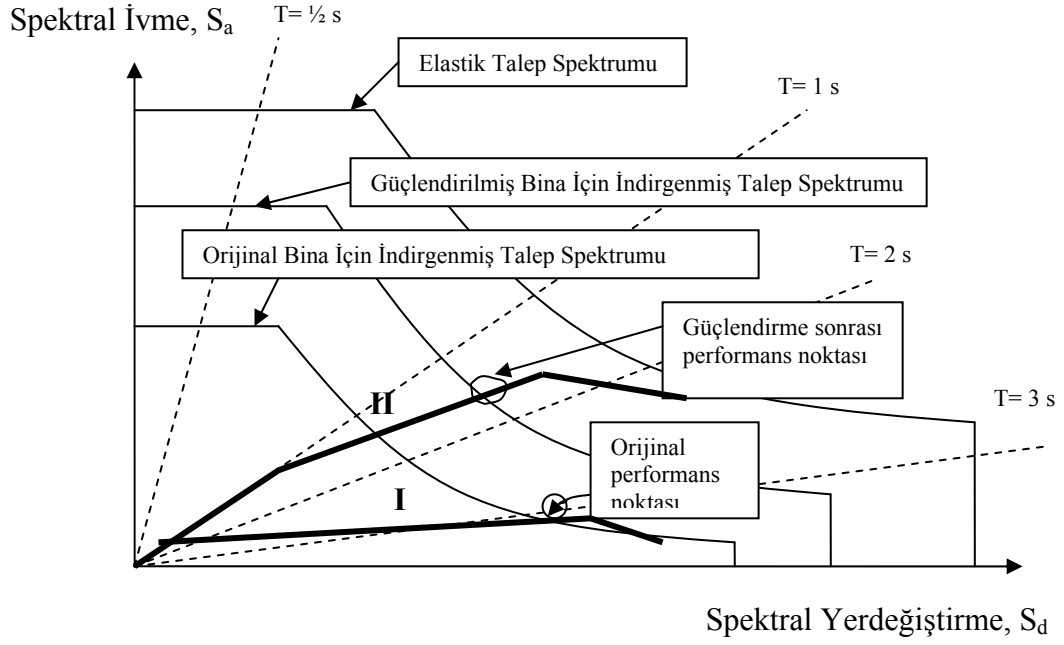
Bir yapının yatay yükleri taşıma kapasitesini belirleyen en önemli faktörler şu şekilde sıralanmıştır:

- Yapı Kütlesi
- Yapı Rijitliği
- Yapı Sönüm Kapasitesi
- Eleman Şekildeğıştirme Kapasitesi
- Yapıya etkiyen yer hareketinin kuvveti ve karakteri

Bu bölümde yapı için uygulanabilecek güçlendirme yöntemleri, bu faktörlere olan etkileri açısından ele alınacaktır.

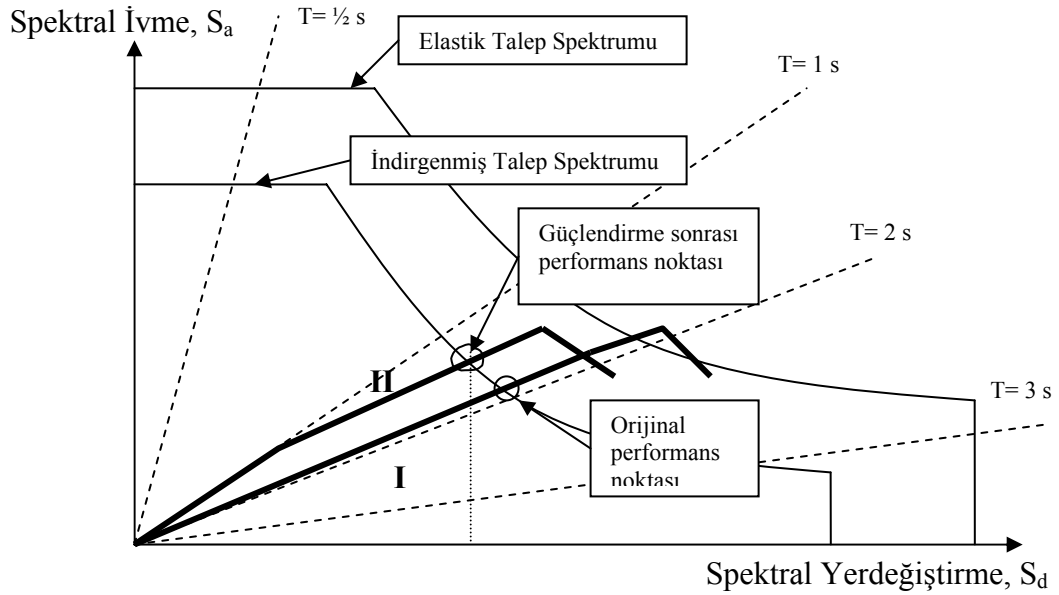
5.2.1. Rijitliğin ve Yapı Dayanımının Arttırılması

Sistem rijitliğinin ve deprem dayanımının iyileştirilmesi, yeterli yanal kuvvet dayanımına sahip olmayan yapıların deprem performansını arttırılmasında en çok kullanılan yöntemlerdir. Yapı rijitliği ve yapı dayanımı birbirleriyle ilgili olmakla beraber farklı kavramlardır. Yapı dayanımını arttırmanın, yani güçlendirmenin etkisi binada hasara yol açabilecek yatay yük sınırını üst seviyelere çekmektir. Eğer güçlendirme rijitliği değıştirmeden yapılırsa, bunun sonucunda yapı deprem etkisi altında hasara maruz kalkmaksızın daha fazla yatay yerdeğıştirme yapabilir. Bu durum Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Şekilde I eğrisi, yapının başlangıçtaki kapasite spektrumunu, II eğrisi ise güçlendirme sonrasındaki kapasite eğrisini temsil etmektedir.



Şekil 5.1 Yapı Dayanımının Arttırılması

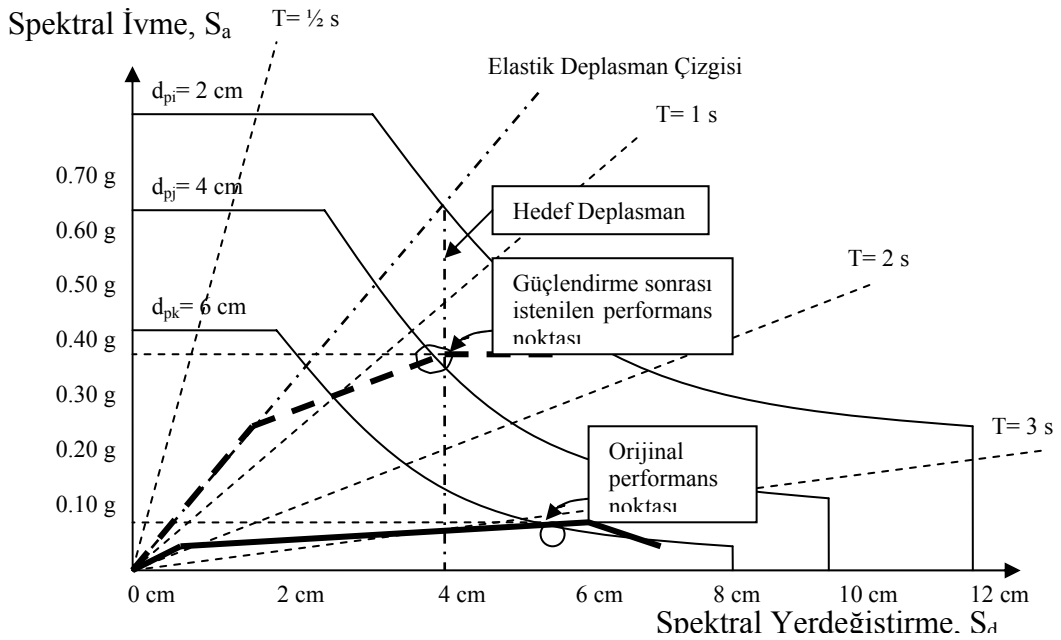
Yapı rijitliğine müdahale edilmediğinden iki durum için de yapının başlangıç elastik periyodu ve maksimum spektral yerdeğiştirme kapasitesi yaklaşık olarak aynıdır. Ancak yapının maksimum spektral ivme kapasitesinin arttığı, bununla birlikte performans noktasındaki spektral yerdeğiştirmenin azaldığı gözlenmektedir. Yapı rijitliğini arttırmanın etkileri ise Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Yapı Rijitliğinin Arttırılması

Şekilde I eğrisi, yapının başlangıçtaki kapasite spektrumunu, II eğrisi ise güçlendirme sonrasındaki kapasite eğrisini temsil etmektedir. Rijitliği az olan sistemin başlangıç periyodu 1.5 saniye civarındayken, rijitliği arttırılmış sistemin başlangıç periyodu 1 saniye'ye düşerken, iki sistemin de maksimum spektral ivme kapasitesinin aynı kaldığı görülmektedir. Sadece yapı rijitliğini değiştirerek yapılan bir iyileştirmenin sistemin deprem performansına fazla etkisi olmadığı, ancak performans noktasındaki yerdeğiştirmede ufak da olsa bir azalma sağladığı anlaşılmaktadır.

Aslında ayrı ayrı incelenen bu iki durum için birbirinin tamamlayıcısıdır denebilir. Genellikle betonarme perdeler, payandalar ve benzeri elemanların eklenmesiyle yapının rijitlik ve dayanım özelliklerinin aynı anda arttırılabilmesi mümkün olmaktadır. Bu işlem yapı performans noktasının daha az bir spektral yerdeğiştirmede oluşmasını sağlar. Bunun anlamı yapının aynı yer hareketi altında daha az yatay yerdeğiştirme yapmasıdır. Yapı dayanımı ve rijitliği arttırmayı amaçlayan bir güçlendirme analizi için ilk önce hedeflenen spektral yerdeğiştirmenin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra yapılacak işlem ise yapı performans noktasının hedeflenen spektral yerdeğiştirme üzerinde oluşmasını sağlayacak gerekli ek dayanım ve rijitliğin hesaplanmasıdır. Şekil 5.3'de bu analizin nasıl yapılacağı gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Rijitlik ve Dayanımın Arttırılması

Şekil 5.3’de güçlendirilmesi yapılmamış yapının kapasite spektrumu koyu çizgiyle gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi yapının güçlendirilmemiş hali için başlangıç periyodu yaklaşık 1.5 saniye, ve maksimum spektral ivme kapasitesi ise yaklaşık 0.1 g civarındadır. Bu örnek için seçilen performans hedefi için kabul edilebilir yerdeğiştirme sınırının, diğer bir deyişle hedef yerdeğiştirmenin 4 cm olduğu farz edilmektedir.

İlk olarak istenilen hedef yerdeğiştirmeden dikey yönde bir çizgi çekilir ve bu çizgi talep spektrumu ile kesiştirilir. Kesişim noktası ulaşılmak istenilen performans noktasını göstermektedir.

İkinci adımda istenilen performans noktasından spektral ivme eksenine doğru bir çizgi çekilir. Ekseni kesen nokta, güçlendirmesi yapılacak olan yapının sahip olması gereken minimum spektral ivme kapasitesini göstermektedir.

Eldeki veriler kullanılarak, yapının güçlendirme yapıldıktan sonra taşıyabileceği maksimum taban kesme kuvvetinin bulunması gerekmektedir. Bunun için denklem 5.1 kullanılır.

$$V_r = \frac{S'_{au}}{S_{au}} V_u \quad (5.1)$$

Burada V_r güçlendirme sonrasında yapının karşılaması istenen maksimum taban kesme kuvvetini, V_u yapının başlangıçta sahip olduğu taban kesme kuvvetini, S'_{au} hedeflenen performans noktasının spektral ivmesini, S_{au} ise başlangıçtaki performans noktasının spektral ivmesini temsil etmektedir.

Bir sonraki adımda yapının güçlendirilmiş halinin yaklaşık başlangıç rijitliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için ilk önce güçlendirilmiş yapının tahmini başlangıç periyodu denklem 5.2 yardımıyla hesaplanır.

$$T' = 0.32 \sqrt{\frac{S_{d\%5}}{S_{a\%5}}} \quad (5.2)$$

Burada T' , tahmini başlangıç periyodunu, $S_{d\%5}$ hedef spektral yerdeğiştirmeyi, $S_{a\%5}$ ise hedef yerdeğiştirme noktasından çizilecek dikmenin elastik karşılık spektrumu ile kesiştiği noktada okunan yerçekimi ivmesi “g” cinsinden spektral ivmeyi temsil

etmektedir. Anlatılan bütün işlemler yapıldıktan sonra sistemin sahip olması istenen hedeflenen rijitlik denklem 5.3 ile hesaplanabilir.

$$K_r = K_i \left(\frac{T_i}{T'} \right)^2 \quad (5.3)$$

Burada K_r güçlendirilecek yapının sahip olması gereken rijitliği, K_i güçlendirilmemiş yapının başlangıç rijitliğini, T_i ve T' ise sırasıyla güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş yapının başlangıç periyotlarını temsil etmektedir.

Gerekli maksimum taban kesme kuvveti dayanımı ve rijitlik değerleri belirlendikten sonra perde duvarlar ve benzeri elemanları için boyutlandırma yapmak mümkün olacaktır. Anlatılan işlemler sırasında hesabı kolaylaştırmak için bir takım idealleştirmeler yapıldığı için, son aşamada güçlendirilmiş sistem bir kez daha analiz edilerek gerekli kontroller yapılmalıdır.

5.2.1.1. Betonarme Perdeler

Mevcut bir binanın betonarme perdelerle güçlendirilmesi, yapının deprem performansını arttırmada en çok başvuru yöntemlerden biridir. Sisteme perde duvarların ilave edilmesi sistem dayanımını ve rijitliğini arttırmanın en verimli yoludur. Uygulanması kolay ve ekonomik açıdan uygun sayılabilecek bir güçlendirme yöntemidir.

5.2.1.2. Kafes Sistemler ve Köşegenel Bağlantılar

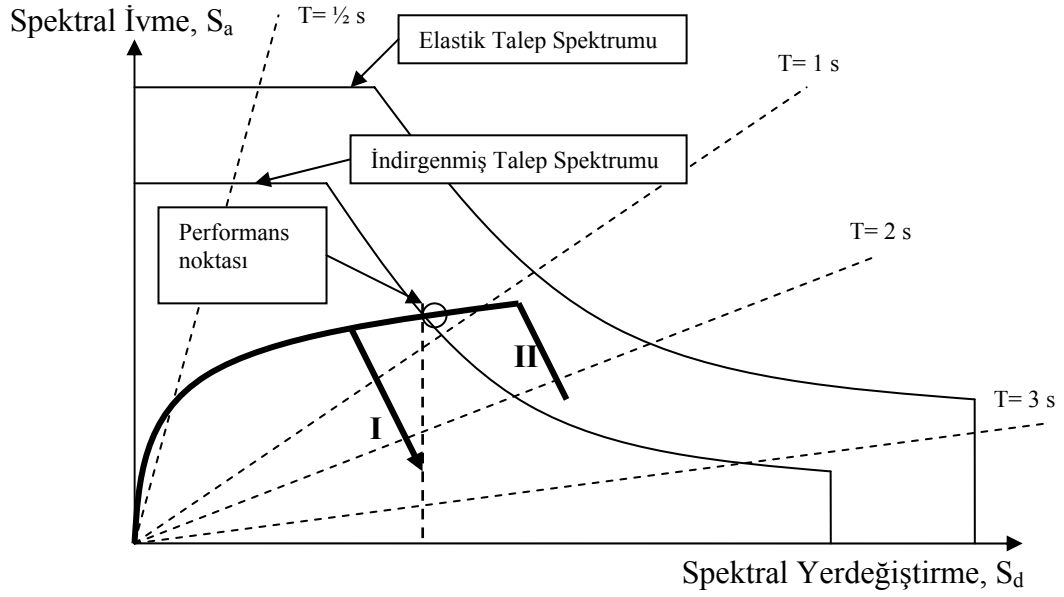
Yapının çelik kafes sistemler ve köşegenel bağlantılar kullanarak güçlendirilmesi de yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem dayanımın ve özellikle rijitliğin arttırılmasında perde duvarlar kadar etkili olmasa da, hafiflik ve kolay montaj sebebiyle uygun durumlarda tercih edilmektedir.

5.2.1.3. Payandalar

Binanın dış duvarına uygulanan payandalar ile ek rijitlik ve dayanım sağlanabilmektedir. Çalışma bina dışında yapılacağından özellikle güçlendirme işlemi sırasında binanın kullanılma açık olmasının gerektiği durumlarda tercih edilir.

5.2.2. Şekildeğiştirme Kapasitesinin İyileştirilmesi

Binanın sismik performansının binayı oluşturan elemanların şekildeğiştirme kapasitelerinin iyileştirilmesiyle artırılması oldukça yeni bir yöntemdir. Şekil değiştirme kapasitesinin artırılmasının bina performansına olan etkisi Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Şekildeğiştirme Kapasitesinin İyileştirilmesi

Şekilde I eğrisi güçlendirilmemiş durumu, II eğrisi ise güçlendirilmiş durumu göstermektedir. I eğrisi görüldüğü gibi şekildeğiştirme kapasitesi yetersiz olduğundan bir performans noktası üzerinde talep spektrumu ile kesişmemektedir. Şekildeğiştirme kapasitesinin iyileştirilmesi sonucunda, sistem daha büyük yerdeğiştirmeler yapabilmekte, performans noktasının kabul edilebilir bir performans seviyesi üzerinde meydana gelebilmektedir.

Şekildeğiştirme kapasitesini arttırabilmek için mantolama, rijitlikte lokal azaltmalar, mekanizma durumlarını değiştirecek şekilde kolonları güçlendirmek gibi yöntemler uygulanmaktadır.

5.2.2.1. Mantolama

Sünek olmayan kolon, kiriş veya bunların birleşimlerinde betonarme mantolama tekniği kullanılabilir. Böylece özellikle kolon ve kirişlerin birleştiği düğüm noktalarındaki plastik şekildeğiştirme kapasitesi arttırılabilmektedir.

5.2.2.2. Kolonların Güçlendirilmesi

Bir çok eski betonarme binada kuvvetli kiriş – zayıf kolon durumu görülmektedir. Çerçeve sistemlerde yatay yükler altında en çok zorlanan kesitler birleşim bölgelerindeki kiriş ve kolon kesitleridir. Yatay yüklerin artmasıyla bu kesitlerde büyük şekil değiştirmeler meydana gelir. Kesit etkilerinde önemli bir artış olmadan şekil değiştirmelerin büyüdüğü bu bölgelerde plastik mafsalların meydana geldiği kabul edilebilir. Büyük bir deprem durumunda mafsallaşmaların kirişlerde ortaya çıkması ve deprem enerjisinin bu şekilde yutulması istenmektedir. Bunun tersi olan kuvvetli kiriş – zayıf kolon durumunda özellikle alt katlarda önemli yatay yerdeğiştirmeler ortaya çıkabilmektedir. Bu şekilde oluşan kat mekanizmalarının önlenmesi amacıyla kolonlarda güçlendirmeye gidilmesi gerekebilmektedir [6].

5.2.2.3. Lokal Rijitlik Azaltımı

Kolonlarda meydana gelebilecek bir diğer önemli hasar durumu, taşıyıcı olmayan rijit elemanların kolonların deprem sırasındaki şekildeğiştirmesini önlemesi sonucu ortaya çıkar. Bu durum kolonların etkili boyunu kısaltarak kısa kolon oluşumuna sebep olmakta, kolonların yatay öteleme rijitliğinin artması sonucu tasarlanandan daha fazla yatay kuvvete maruz kalmasına sebep olur. Eğilme momenti düşük bir değerde kalırken kesme kuvveti artar, bu da gevrek bir güç tükenmesine sebep olabilir. Kolonun deprem sırasındaki serbest şekildeğiştirmesini engelleyen rijit duvarların mümkün olduğunca ortadan kaldırılmasıyla kısa kolon oluşumunun önüne geçilebilir [6].

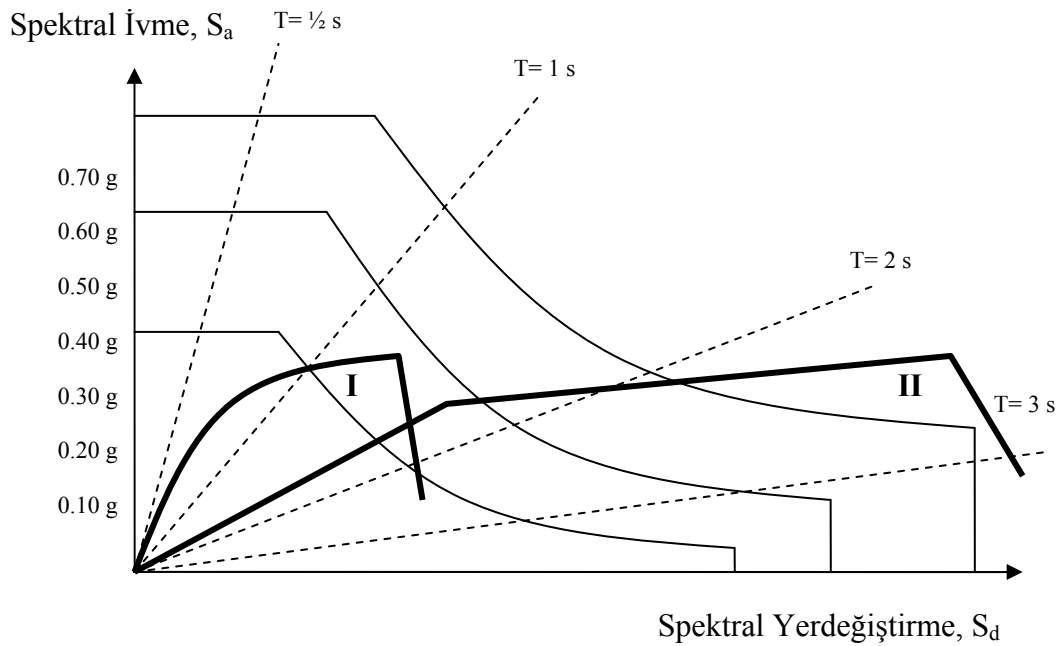
5.2.3. Deprem Talebinin Azaltılması

Bu strateji deprem yer hareketinden kaynaklanan kuvvet ve şekildeğiştirmelere karşı yapının kapasitesini değiştirmektense, bu kuvvet ve şekildeğiştirme talebini azaltma esasına dayanır. Bu yöntemin etkisi kapasite spektrumundan ziyade talep

spektrumuna olmaktadır. Bu bölümde anlatılacak yöntemlerin genellikle yeterli olmadığına ve diğer yöntemlerle birlikte kullanılmalarının daha sağlıklı sonuçlar vereceğine dikkat edilmelidir. Deprem talebini azaltmak için başvurulabilecek yöntemler kütle azaltımı, taban izolasyonu ve enerji sönümleyicilerin kullanılması olarak gösterilebilir.

5.2.3.1. Taban İzolasyonu

Bu yaklaşım yapının tabanına yakın bir bölgeye düşük rijitliğe ancak yüksek yatay yerdeğiştirme kapasitesine ve enerji sönümleme yeteneğine sahip malzeme yerleştirilmesi esasına dayanır. Böyle bir yöntem ile yapının temel karşılık periyodunun ve dolayısıyla etkin sönümünün artması sağlanır. Yatay yerdeğiştirme talebi çok büyük oranda bu izolasyon tabakası tarafından sönümleneceğinden binanın kendisinde küçük yatay yerdeğiştirmeler gözlenecektir. Taban izolasyonunun etkisi Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



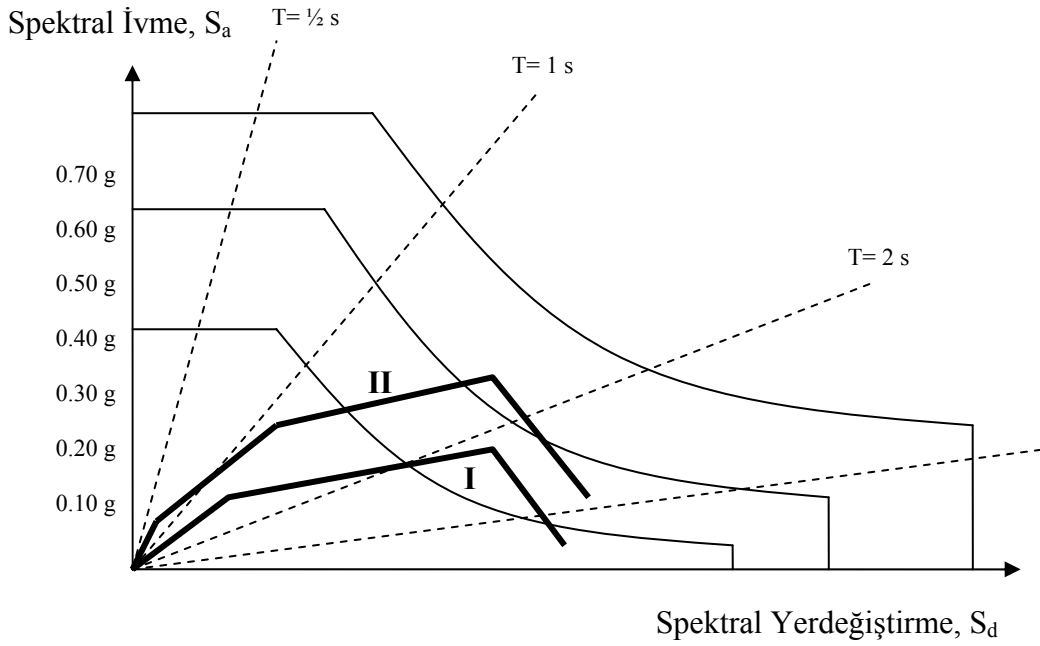
Şekil 5.5 Taban İzolasyonu'nun Etkisi

Şekilde I eğrisi taban izolasyonunun kullanılmadığı durumu, II eğrisi ise kullanıldığı durumu göstermektedir. I. eğride görüldüğü gibi yapı başlangıçta yaklaşık 1/2 saniyelik bir periyoda sahiptir. Taban izolasyonu yapılmış sistemde ise efektif elastik periyodun yaklaşık 2.5 saniye değerine ulaştığı görülmektedir. Yapının taşıyabileceği

maksimum taban kesme kuvveti değişmemekle birlikte, taban izolasyonu sayesinde yüksek yatay yerdeğiştirmelere ulaşabildiği görülebilmektedir.

5.2.3.2. Enerji Sönümleyicilerin Kullanılması

Enerji sönümleyici sistemlerin yapıda kullanılmasıyla sistemin deprem talebinin sönümlenmesi amaçlanmaktadır. Pasif veya aktif sönümleyicilerin kullanılması ile viskoz veya histeretik sönümleme yapılabilir. Bu sistemlerin kullanılmasının maliyeti geleneksel yöntemlerle yapılabilir güçlendirme çalışmalarının çok üstüne çıkmaktadır, ancak yapı performansına çok önemli katkılarının bulunduğu göz ardı edilmemelidir. şekil 5.6’da sönümleyicilerin kullanılmasının yapı performansına olan etkisi görülmektedir.



şekil 5.6 Enerji Sönümleyicilerin Etkisi

şekilde I eğrisi enerji sönümleyicilerin kullanılmadığı durumu, II eğrisi ise kullanıldığı durumu göstermektedir. İki durumdaki başlangıç periyotları karşılaştırıldığında enerji sönümleyicilerin sistem rijitliğini arttırdığı görülmektedir. Bununla birlikte sönümleyici kullanılan sistemde maksimum spektral ivme kapasitesi de artmıştır, bu da sistemin daha büyük bir taban kesme kuvvetini karşılayabilecek duruma geldiğini göstermektedir.

5.2.3.3. Kütle Azaltımı

Bazı yapılarda kütle azaltımına gidilmesi, önemli ölçüde performans artımına sebep olabilmektedir. Sistemde yapılacak kütle azaltımları sistemin doğal periyodunun, deprem yer hareketi sırasında oluşacak atalet kuvvetlerinin ve toplam yerdeğiştirme talebinin azalmasını sağlamaktadır. Kütle azaltımı su tankları, makine ekipmanları gibi ağır yapısal elemanların taşınması, hatta bazı durumlarda üst katların yıkılması şeklinde gerçekleştirilebilmektedir.

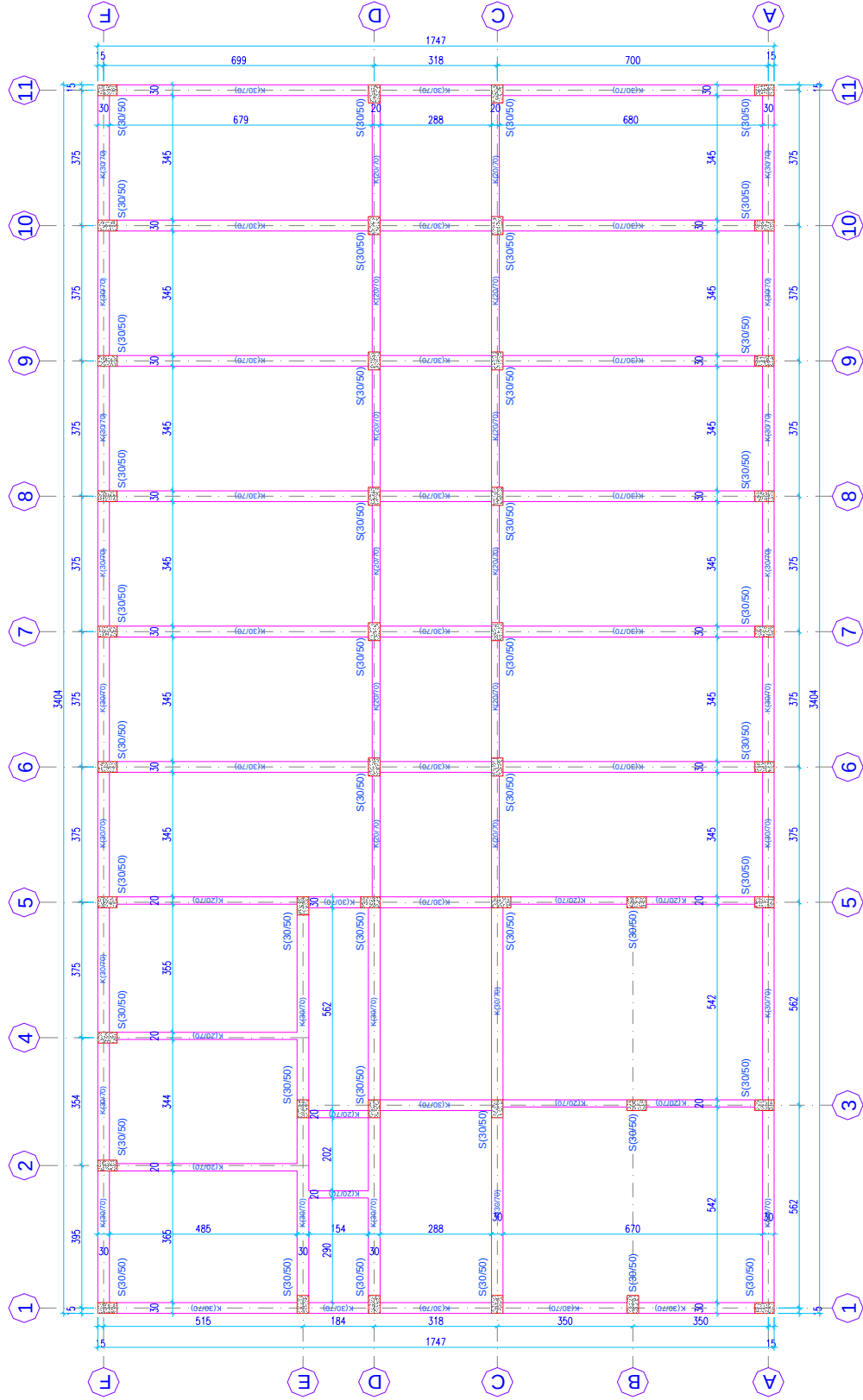
6. UYGULAMA

Bu bölümde mevcut bir betonarme binanın ve güçlendirilmiş durumunun deprem performansının incelenmesi hakkında bir uygulamaya yer verilmiştir. Genel özellikleri önceki bölümlerde verilmiş doğrusal olmayan itme analizi yöntemi SAP2000 programı vasıtasıyla kullanılarak seçilen mevcut bir binanın deprem davranışı incelenecektir. Daha sonraki kısımda binanın yapılan bir güçlendirme sonrasındaki davranışı irdelenecek ve mevcut durum ile güçlendirilmiş durumun deprem performansları karşılaştırılacaktır.

6.1. İncelenen Bina Hakkında Bilgi

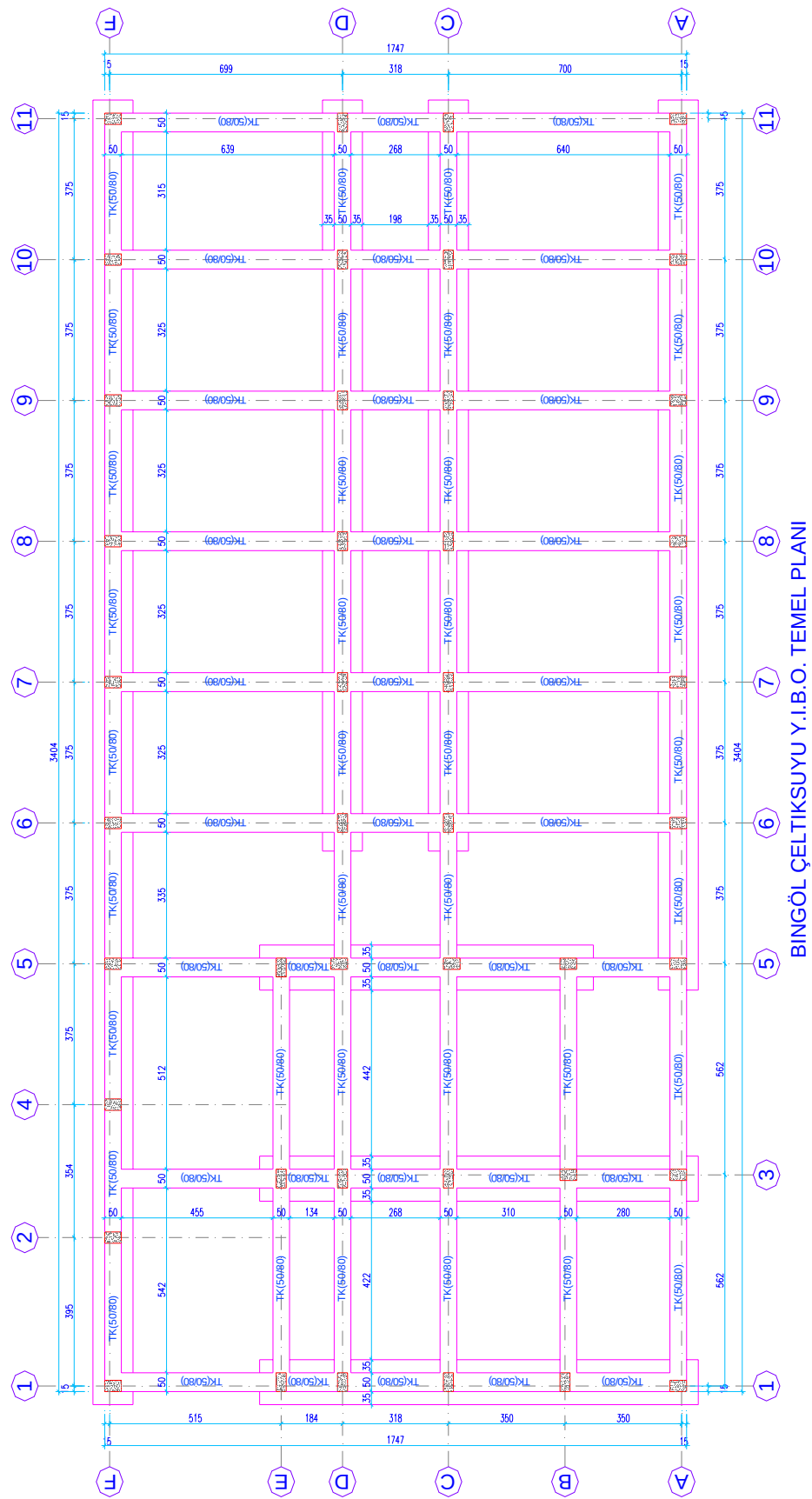
Bu çalışmada 01.05.2003 Bingöl Depremi'nde hasar görerek yıkılan Çeltiksuyu Köyü'ne yakın Bingöl Yatılı Bölge İlköğretim Okulu binası incelenmiştir. Bu bina deprem sırasında ağır hasar görmüş, hatta bu binanın yanında bulunan okula ait Pansiyon binası tamamen göçmüştür.

Okul binasının taşıyıcı sistem düzenini gösteren döşeme kalıp planı ve temel kalıp planı Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Bina; zemin kat ve iki normal kattan meydana gelmekte olup, toplam 3 katlıdır. Planda boyutları 17.17 m $\times$ 33.74 m olan düzgün bir dikdörtgende bulunmaktadır. Kolonlar zemin katta 0.30 m $\times$ 0.50 m, normal katlarda ise 0.30 m $\times$ 0.40 m kesitindedir. İç kirişler 0.20 m $\times$ 0.70 m, dış kirişler ise 0.30 m $\times$ 0.70 kesitindedir. Özellikle zemin katı kolonlarında BÇ I tipi 6 ϕ 16 + 2 ϕ 14 (1514 mm² ; ρ = 0.01) şeklinde minimum donatı kullanıldığı görülmektedir. Kirişlerdeki donatı düzenini ve miktarını gösteren bir belge mevcut değildir. Depremden sonra yapılan incelemede binanın zemin katının tamamen göçmüş olduğu ve birinci normal kat kolonlarında önemli hasarlar meydana geldiği belirlenmiştir [9].



BİNGÖL ÇELTIKSUYU Y.I.B.O. ZEMİN KAT KALIP PLANI

Şekil 6.1 Bina Kat Kalıp Planı



Şekil 6.2 Bina Temel Planı

Binada deprem hasarı, zemin katın tamamen çökmesi ve diğer iki katta ağır hasar meydana gelmesi şeklinde görülmüştür. Özellikle kiriş – kolon birleşim bölgelerinde etriyenin bulunmaması ve betonda büyük boyutta agrega bulunması zorlanan bu tür kesitlerin kolayca dağılmasına, kesitin eğilme momenti kapasitesinin daha depremin başlangıcında kaybolmasına ve kesitin mafsallı türünden bir davranış göstermesine sebep olmuştur. Binanın ağır hasar görmesine bu iki kusurun etkili olduğu tahmin edilmektedir. Genel olarak beton kalitesinin düşük olması ve yeterli donatının bulunmaması, ağır hasara sebep olabilirse de, kat göçmesine ancak büyük deprem etkilerinin sebep olacağı kabul edilebilir. Burada betonun düzgün dağılımda ve yeterli dayanımda bulunmasının ve uygun donatı düzeninin sağlanmasının önemi açıkça görülmektedir [10].

6.2. Mevcut Binanın Deprem Performansının İncelenmesi

6.2.1. Giriş

Mevcut yapıya düşey ve yatay yükler eşdeğer statik deprem yükü yöntemine uygun olarak etkililmiş, ve sistemin bu yükler altında SAP2000 programı ile analizi yapılmıştır. Daha sonra yine düşey ve yatay yükler altındaki sisteme doğrusal olmayan itme analizi uygulanmış ve binanın deprem performansı incelenmiştir.

6.2.2. Düşey Yükler

Düşey yükler için yapılan incelemede binaya etkileyen hareketli yükler ABYYHY uyarınca tüm katlar için 5.0 kN/m^2 olarak alınmıştır. Döşemelerdeki zati yükler zemin kat ve 1. normal kat döşemeleri için 4.8 kN/m^2 , 2. normal kat döşemesi için ise 3.6 kN/m^2 olarak hesaba dahil edilmiştir. Duvar yükleri tam tuğla kullanılan dış çerçevede 4.2 kN/m , yarım tuğla kullanılan iç kısımlarda ise 2.5 kN/m olarak alınmıştır. Gerçek anlamda bir malzeme deneyi yapılamadığından, hesaplarda mevcut yapıda beton için BS 16, donatı için BÇ I kalitesi kullanılmıştır.

6.2.3. Deprem Yükleri

Deprem yüklerinin belirlenmesinde ABYYHY’de verilen kurallar kullanılmıştır. Kat kütlelerinin hesaplanmasında kullanılacak olan hareketli yük katılım katsayısı 0.6

olarak alınmıştır. Bina önem katsayısı $I = 1.4$ olarak alınmış, deprem etkin yer ivmesi katsayısı A_0 ise 0.30 olarak kabul edilmiştir. Spektrum katsayısı $S = 2.5$, Z2 olarak belirlenen zemin sınıfına uygun karakteristik periyotlar $T_A = 0.15$, $T_B = 0.40$ olarak belirlenmiştir. Mevcut binada taşıyıcı sistem için deprem yükü azaltma katsayısı $R_a = 4$ olarak kabul edilmiştir. Deprem yükünün azaltılmasının sebebi bilindiği gibi, yapının elastik ötesi davranışı sonucu ve süneklik sebebiyle etkilerin yeniden dağılımı sonucu oluşan ek kapasitenin mümkün olduğunca hesaba etkitilmek istenmesidir. Ancak, söz konusu binada olduğu gibi kiriş – kolon birleşimlerinde etriyelerin bulunmaması ve buna benzer çok önemli donatı düzenleme hatalarının yapıldığı durumlarda bu azaltılmanın yapılması doğru olmayabilir.

6.2.4. Kat Ağırlıklarının ve Kütlelerinin Hesaplanması

Döşemelerden, kirişlerden, duvarlardan ve kolonlardan gelen zati yükler ile hareketli yüklerin oluşturduğu kat kütleleri denklem 6.1'e göre hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 6.1'de görülmektedir.

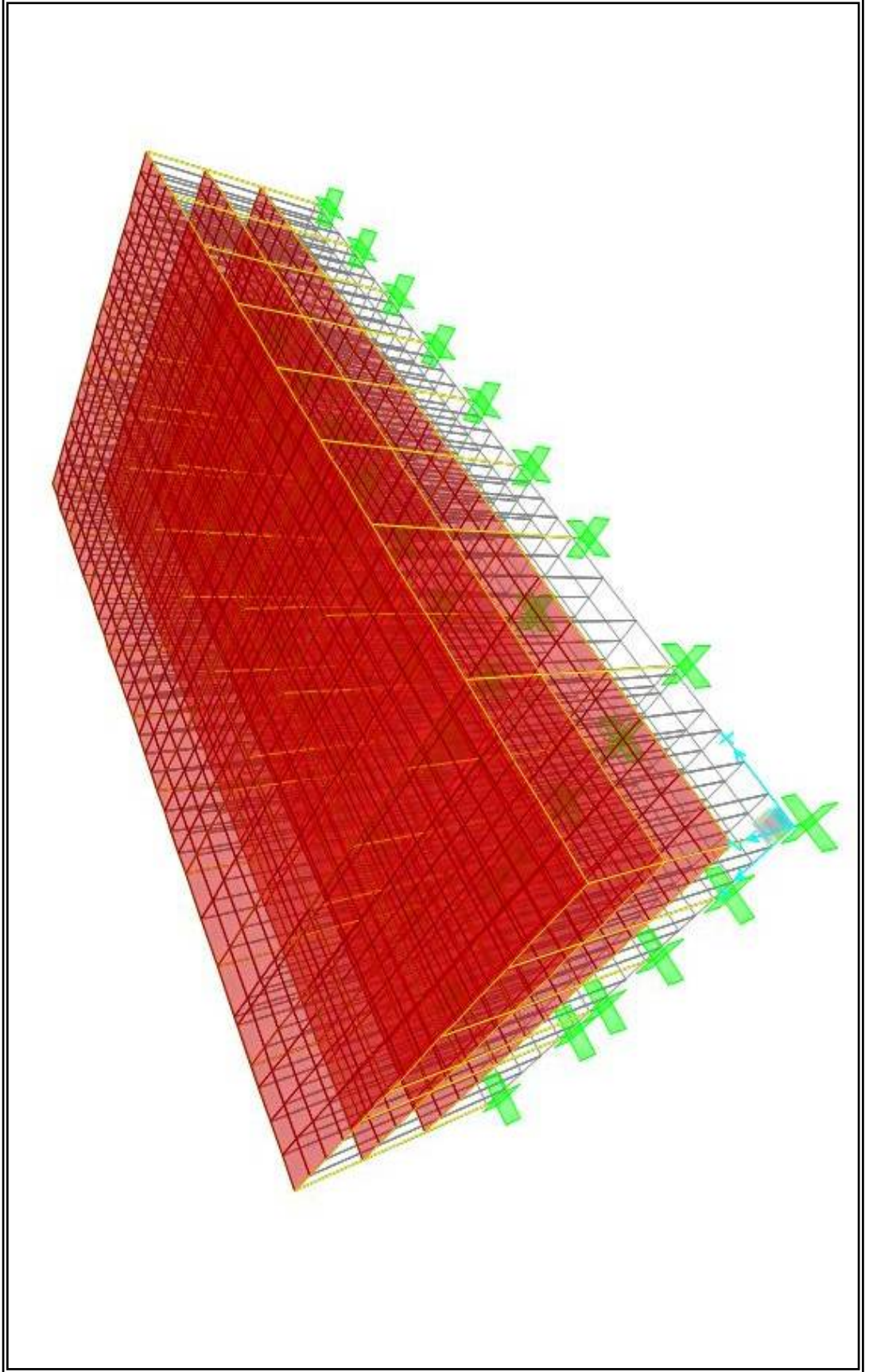
$$W = G + nQ \quad n = 0.6 \quad (6.1)$$

Tablo 6.1 Kat Kütlelerinin Hesabı

	W (kN)	m (kNs ² /m)	h (m)
2. Normal Kat	6017.96	613.45	9.3
1. Normal Kat	8425.93	858.91	6.3
Zemin Kat	8645.58	881.30	3.3

6.2.5. Sistemin SAP2000'de Modellenmesi ve Doğal Periyotların Bulunması

Bu aşamada toplam eşdeğer deprem yükünün hesabında kullanılacak doğal periyotların bulunması amacıyla sistem Şekil 6.3'te görüldüğü üzere SAP2000 programında modellenmiş ve kütleler düğüm noktalarına paylaştırılarak x ve y doğrultularında bulunduğu kabul edilmiştir. Döşemelerin modellenmesinde kabuk elemanlar kullanılmıştır. Yapılan modal analiz sonucunda yapının doğal periyotları x doğrultusu için $T = 0,48$ s, y doğrultusu için $T = 0,52$ s olarak bulunmuştur.



Şekil 6.3 SAP2000’de Modellenmiş Sistem

6.2.6. Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Bulunması ve Katlara Dağıtılması

Toplam eşdeğer deprem yükünün bulunması için ilk önce spektrum katsayılarının hesaplanması gerekmektedir. Her iki doğrultudaki doğal periyot da T_B karakteristik periyodundan büyük olduğu için spektrum katsayılarının hesabında Denklem 6.2 kullanılmıştır.

$$S = 2,5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0,8} \quad (6.2)$$

Buna göre x ve y doğrultularındaki spektrum katsayıları S_x ve S_y :

$$S_x = 2,5 \left(\frac{0,40}{0,48} \right)^{0,8} = 2,16$$

$$S_y = 2,5 \left(\frac{0,40}{0,52} \right)^{0,8} = 2,02$$

olarak bulunmuştur.

Bir sonraki aşamada Denklem 6.3 ve 6.4 yardımıyla x ve y doğrultuları için toplam eşdeğer yükleri hesaplanmıştır.

$$V_t = W \times A(T_1) / R_a(T_1) \geq 0,1 A_0 \times I \times W \quad (6.3)$$

$$A(T_1) = A_0 \times I \times S(T_1) \quad (6.4)$$

Buna göre x ve y yönlerindeki toplam eşdeğer deprem yükleri V_{tx} ve V_{ty} :

$$V_{tx} = 23089,50 \times [0,30 \times 1,4 \times 2,16] / 4 \geq 0,1 \times 0,30 \times 1,4 \times 23089,50$$

$$V_{tx} = 5030,62 \text{ kN} \geq 969,758 \text{ kN}$$

$$V_{ty} = 23089,50 \times [0,30 \times 1,4 \times 2,02] / 4 \geq 0,1 \times 0,30 \times 1,4 \times 23089,50$$

$$V_{ty} = 4923,82 \text{ kN} \geq 969,758 \text{ kN}$$

olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması işlemi Denklem 6.5 yardımıyla yapılmıştır. Bu işlem sonucu çıkan hesap değerleri Tablo 6.2’de gösterilmektedir.

$$V_t = \Delta F_n + \sum_{i=1}^N F_i \quad (6.5)$$

$$\Delta F_n = 0,07T_i \times V_t \leq 0,2V_t \quad ; \quad H_N \leq 25 \text{ m için } \Delta F_n = 0 \quad (6.6)$$

$$F_i = (V_t - \Delta F_n) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (6.7)$$

Tablo 6.2 Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Katlara Paylaştırılması

Kat	W _i (kN)	H _i (m)	V _{tx} (kN)	V _{ty} (kN)	W _i H _{ix} (kNm)	ΣW _i H _{ix} (kNm)	F _{ix} (kN)	F _{iy} (kN)
Z	8645,59	3,30	5030,62	4923,82	28530,44	137580,88	1043,21	1021,06
1	8425,93	6,30			53083,38		1940,98	1899,78
2	6017,96	9,30			55967,07		2046,43	2002,98

6.2.7. Deprem Yüklerinin Sistem Modeli Üzerinde Etkitilmesi

Bir önceki bölümde hesaplanan katlara etkiyen deprem yükleri hazırlanan modelde ilgili doğrultularda düğüm noktalarına paylaştırılmıştır. Daha sonra yatay ve düşey yükler altındaki sistem SAP2000 programı ile çözülmüştür. Çözümde kullanılan yük kombinasyonları Tablo 6.3'te gösterilmektedir.

Tablo 6.3 Yük Kombinasyonları

Kombinasyon	Süperpozisyonlar
Düşey	1,4G + 1,6Q
XPD	G + Q + Ex
XND	G + Q - Ex
YPD	G + Q + Ey
YND	G + Q - Ey
MAX	Tüm kombinasyonlar içinde en elverişsiz durumların oluşturduğu kombinasyon.

6.2.8. Sistemin Çözülmesi ve Sonuçların İncelenmesi

Bu kısımda SAP2000 ile çözümü yapılan sistemin ABYYHY’te kontrolü istenen bazı şartları karşılayıp karşılamadığı tetkik edilmiştir. Yapılan kontroller şu şekildedir:

- Göreli kat ötelemeleri kontrolü
- A1 Burulma düzensizliği kontrolü
- B1 Katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) kontrolü
- B2 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü
- Kolon kapasiteleri kontrolü

6.2.8.1. Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

Deprem sırasında katların yapacağı yerdeğiştirmelerin sonucunda oluşan ikinci mertebe etkilerin sınırlandırılması amacıyla göreli kat ötelemelerinin Denklem 6.8a ve 6.8b’de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlaması gerekmektedir.

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0,0035 \quad (6.8a)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0,02 / R \quad (6.8b)$$

x ve y doğrultuları için göreli kat ötelemeleri kontrolü Tablo 6.4 ve 6.5’te gösterilmektedir. Kontrollerin elverişsiz olan 0.0035 değerini sağlaması gerekmektedir.

Tablo 6.4 x Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

Kat	$(d_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	h_i (m)	$(\Delta_i)_{\max} / h_i$	Kontrol
Zemin	0,00857	0,00857	3,3	0,00259	Sağlanmıştır
1. Kat	0,01506	0,00649	3,0	0,00216	Sağlanmıştır
2. Kat	0,01901	0,00395	3,0	0,00131	Sağlanmıştır

Tablo 6.5 y Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

Kat	$(d_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	h_i (m)	$(\Delta_i)_{\max} / h_i$	Kontrol
Zemin	0,00925	0,00925	3,3	0,00280	Sağlanmıştır
1. Kat	0,01670	0,00745	3,0	0,00248	Sağlanmıştır
2. Kat	0,02292	0,00622	3,0	0,00207	Sağlanmıştır

6.2.8.2. A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1,2 değerinden büyük olması gerekmektedir. Kontrol için Denklem 6.9'un sağlanması gerekmektedir.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{ort} > 1,2 \quad (6.9)$$

x ve y doğrultuları için A1 burulma düzensizliği kontrolü Tablo 6.6 ve 6.7'de gösterilmektedir.

Tablo 6.6 x Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü

Kat	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{bi}	Kontrol
Zemin	0,00857	0,00794	1,07	Sağlanmıştır
1. Kat	0,00649	0,00596	1,08	Sağlanmıştır
2. Kat	0,00395	0,00358	1,10	Sağlanmıştır

Tablo 6.7 y Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü

Kat	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$ (m)	η_{bi}	Kontrol
Zemin	0,00925	0,00786	1,17	Sağlanmıştır
1. Kat	0,00745	0,00647	1,15	Sağlanmıştır
2. Kat	0,00622	0,00543	1,14	Sağlanmıştır

6.2.8.3. B1 Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Kontrolü

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, Denklem 6.10'da tanımlanan herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı η_{ci} 'nin 0,80 değerinden büyük olması gerekmektedir. Kontrol için Denklem 6.11 sağlanmalıdır.

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0,15 \sum A_k \quad (6.10)$$

$$\eta_{ci} = \left(\sum A_e \right)_i / \left(\sum A_e \right)_{i+1} > 0,80 \quad (6.11)$$

Binada perde bulunmadığı için x ve y doğrultuları için ayrı kontroller yapılmasına gerek yoktur. B1 katlar arası dayanım düzensizliği kontrolü Tablo 6.8'de gösterilmektedir.

Tablo 6.8 B1 Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Kontrolü

Kat	ΣA_w (m ²)	ΣA_g (m ²)	ΣA_k (m ²)	ΣA_e (m ²)	η_{ci}	Kontrol
Zemin	3,44	0	0	3,44	-	-
1. Kat	2,58	0	0	2,58	0,75	Sağlanmamıştır
2. Kat	2,58	0	0	2,58	1,00	Sağlanmıştır

6.2.8.4. B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) Kontrolü

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 1,5 değerinden küçük olması gerekmektedir. Kontrol için Denklem 6.12 sağlanmalıdır.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort} < 1,5 \quad (6.12)$$

X ve Y doğrultuları için B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü Tablo 6.9 ve 6.10'da gösterilmektedir.

Tablo 6.9 x Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin B2 Yumuşak Kat Kontrolü

Kat	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{ki}	Kontrol
Zemin	0,00794	1,33	Sağlanmıştır
1. Kat	0,00596	1,66	Sağlanmamıştır
2. Kat	0,00358	-	-

Tablo 6.10 y Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin B2 Yumuşak Kat Kontrolü

Kat	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{ki}	Kontrol
Zemin	0,00786	1,21	Sağlanmıştır
1. Kat	0,00647	1,19	Sağlanmıştır
2. Kat	0,00543	-	-

6.2.8.5. Kolon Kapasiteleri Kontrolü

Kolon kapasitelerinin kontrolü sadece zemin kat kolonları için yapılmıştır. SAP2000 programı yardımıyla kolonlara etkiyen moment ve normal kuvvet değerleri bulunmuş, ve bunlar ile kolon moment ve normal kuvvet kapasitelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma Tablo 6.11’de görülmektedir.

Tablo 6.10’da görülen değerler arasında A_c kolon kesit alanını, $A_{s,m}$ kolondaki mevcut donatı alanını, ρ_m ise kolondaki mevcut donatı oranını göstermektedir. N_0 ve N_{max} büyüklükleri ise Denklem 6.13 ve 6.14 ile tanımlanmıştır.

$$N_0 = 0.85 \times f_{cd} \times b \times d + f_{yd} \times A_s \quad (6.13)$$

$$N_{max} = 0.5 \times f_{ck} \times A_c \quad (6.14)$$

$N_{d,max}$ tüm yük kombinasyonları altında elde edilen en yüksek tasarım eksenel yüküdür. $M_{d,x/y}$ x veya y doğrultusundaki deprem kuvveti için hesaplanan en büyük kombinasyon momentini, $N_{d,x/y}$ ise bu momente karşı gelen normal kuvveti göstermektedir. $M_{r,x/y}$ büyüklüğü de x veya y doğrultusundaki deprem kuvveti için hesaplanan kolon moment kapasitelerini temsil etmektedir.

Tablo 6.11 Kolon Kapasiteleri Kontrolü

Kolon No	b (cm)	h (cm)	A _c (cm ²)	A _{s,m} (cm ²)	ρ _m (%)	N ₀ (kN)	N _{max} (kN)	N _{d,max} (kN)	N _{d,x} (kN)	M _{d,x} (kNm)	M _{r,x} (kNm)	N _{d,y} (kN)	M _{d,y} (kNm)	M _{r,y} (kNm)
S101	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	409,04	409,04	112,96	49,50	394,30	227,44	82,50
S102	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	620,95	443,39	117,86	49,50	533,46	237,28	82,50
S103	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	586,91	407,16	116,88	49,50	517,61	247,55	82,50
S104	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	583,67	397,74	117,02	49,50	557,24	262,15	82,50
S105	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	686,71	465,86	117,20	49,50	608,01	282,13	82,50
S106	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	705,75	477,53	116,99	49,50	619,66	294,13	82,50
S107	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	702,29	470,39	117,04	49,50	623,73	305,80	82,50
S108	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	709,40	471,29	112,52	49,50	634,43	253,02	82,50
S109	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	718,88	460,30	114,54	49,50	650,46	260,69	82,50
S110	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	462,35	462,35	105,20	49,50	410,06	247,78	82,50
S111	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	599,13	599,13	292,12	82,50	390,17	105,15	49,50
S112	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1084,76	761,14	315,03	82,50	753,53	101,12	49,50
S113	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	834,10	690,60	293,18	82,50	488,22	123,17	49,50
S114	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	515,60	515,60	295,06	82,50	347,30	101,34	49,50
S115	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	894,16	696,65	313,87	82,50	610,41	106,53	49,50
S116	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	703,04	465,58	126,29	49,50	456,46	293,50	82,50
S117	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	955,50	701,70	308,46	82,50	668,86	128,75	49,50
S118	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1022,61	695,96	312,35	82,50	722,16	134,30	49,50
S119	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1016,21	688,84	312,23	82,50	718,77	139,24	49,50
S120	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1022,70	690,89	311,91	82,50	724,70	144,13	49,50
S121	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1020,77	631,12	316,01	82,50	723,32	148,99	49,50
S122	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	700,80	700,80	292,10	82,50	434,64	150,63	49,50

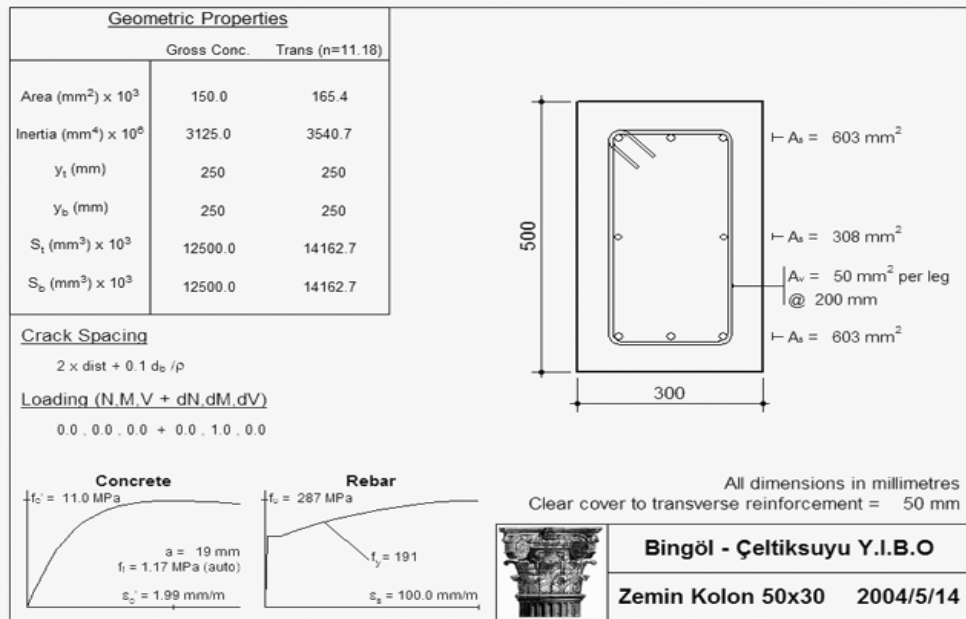
S123	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	552,82	552,82	301,40	82,50	379,53	100,91	49,50
S124	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1037,95	798,74	320,61	82,50	698,70	110,02	49,50
S125	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	858,94	533,74	130,57	49,50	647,25	295,58	82,50
S126	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	962,08	709,30	315,60	82,50	668,55	127,67	49,50
S127	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1030,87	703,72	320,60	82,50	728,16	133,70	49,50
S128	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1026,66	699,11	320,60	82,50	725,51	138,97	49,50
S129	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1033,30	703,08	320,32	82,50	731,45	144,19	49,50
S130	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1031,10	643,19	324,56	82,50	729,29	149,38	49,50
S131	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	717,73	717,73	299,93	82,50	442,35	151,22	49,50
S132	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	463,67	388,36	241,34	82,50	206,40	103,82	49,50
S133	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	814,97	553,74	96,46	49,50	429,21	272,76	82,50
S134	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	728,93	473,31	97,42	49,50	415,82	294,67	82,50
S135	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	450,15	304,43	126,64	49,50	450,15	234,84	82,50
S136	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	740,26	526,82	134,71	49,50	740,26	255,69	82,50
S137	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	668,00	328,60	133,98	49,50	668,00	272,12	82,50
S138	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	655,93	458,03	134,37	49,50	596,15	284,83	82,50
S139	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	711,10	480,97	134,79	49,50	620,32	296,06	82,50
S140	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	704,08	472,67	134,97	49,50	624,73	307,10	82,50
S141	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	709,28	471,72	134,92	49,50	634,24	317,92	82,50
S142	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	716,53	420,18	136,22	49,50	649,22	328,32	82,50
S143	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	455,47	455,47	130,50	49,50	409,43	328,60	82,50
									ΣМ	8927,33	2788,50	ΣМ	8943,19	2887,50

6.2.9. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi İle Sistemin Çözülmesi

Doğrusal olmayan itme analizi için SAP2000 programı ve daha önce bu programda oluşturulmuş sistemin üç boyutlu modeli kullanılarak çözüm yapılmıştır. Analizin yapılabilmesi için öncelikle taşıyıcı elemanlar üzerinde oluşabilecek plastik mafsalların özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kirişleri oluşturan elemanlar için asal eksendeki eğilme etkisini göz önüne alan M3 tipi plastik mafsal, kolonları oluşturan elemanlar için hem eksenel kuvvetlerin etkisini hem de eğilme etkilerini göz önüne alan PMM tipi plastik mafsal kullanılmıştır.

6.2.9.1. Plastik Mafsal Özelliklerinin Elde Edilmesi

Analizde kullanılan M3 tipi plastik mafsal için moment – eğrilik değerleri, PMM tipi plastik mafsal için ise moment – eğrilik değerlerinin yanı sıra, moment – normal kuvvet karşılıklı etki diyagramlarının elde edilmesine ihtiyaç vardır. Bu değerlerin bulunabilmesi amacıyla Response 2000 programı kullanılmıştır. Şekil 6.4'te görüldüğü üzere programa kesit ve donatı boyutları ile malzeme özelliklerini belirleyen parametreler girilmiş, böylece elemanların akma ve kopma momentleri ile bu noktalardeki eğriliklerin elde edilmesi mümkün olmuştur. Program aynı zamanda moment – normal kuvvet karşılıklı etki diyagramını da oluşturabildiği için PMM tipi plastik mafsalın kesit özellikleri de eksiksiz olarak elde edilebilmiştir.



Şekil 6.4 Plastik Mafsal Özelliklerinin Response 2000 Programı ile Elde Edilmesi

SAP2000 programında plastik mafsalları özellikleri *Define* menüsündeki *Hinge Properties* seçeneği vasıtasıyla programa tanıtılmaktadır. Sistemdeki kiriş kesitleri ile ilgili elde veri olmadığından kirişlerde kullanılan M3 tipi plastik mafsalları için programdaki varsayılan değerler kullanılmıştır. Kolonlarda kullanılan PMM tipi plastik mafsalları için Response 2000 programı ile gerekli değerler elde edilip programa aktarılmıştır.

6.2.9.2. Plastik Mafsalların Kesitlere Atanması

Bir önceki kısımda tanımlanan plastik mafsalları tipleri kiriş ve kolon elemanlara atanmıştır. Bu işlem sırasında plastik mafsalların oluşabileceği bölgelere, yani düğüm noktalarını oluşturan kolon – kiriş uç bölgeleri (PMM – M3) ve kirişlerin ortaları (M3) için gerekli atamalar yapılmıştır. Bu işlem SAP2000 programında *Assign* menüsündeki *Frame* → *Hinges* seçeneği ile yapılmaktadır. Mafsalların atanması sırasında yerlerinin belirlenmesi için göreceli uzaklık değerlerinin de ayrıca girilmesi gerekmektedir. Eleman uç noktaları için 0 ve 1 değerleri, elemanların orta noktaları için de 0.5 değeri girilerek mafsalların atanması tamamlanmıştır.

6.2.9.3. Statik İtme Yükleme Durumlarının Belirlenmesi

Yapı için statik itme analizi her iki deprem doğrultusunda da yapılacağı için, biri zati yükler için olmak üzere üç farklı doğrusal olmayan yükleme durumunun belirlenmesi gerekmektedir. Yükleme durumları *Define* menüsündeki *Static Pushover Cases* seçeneği ile belirlenmektedir.

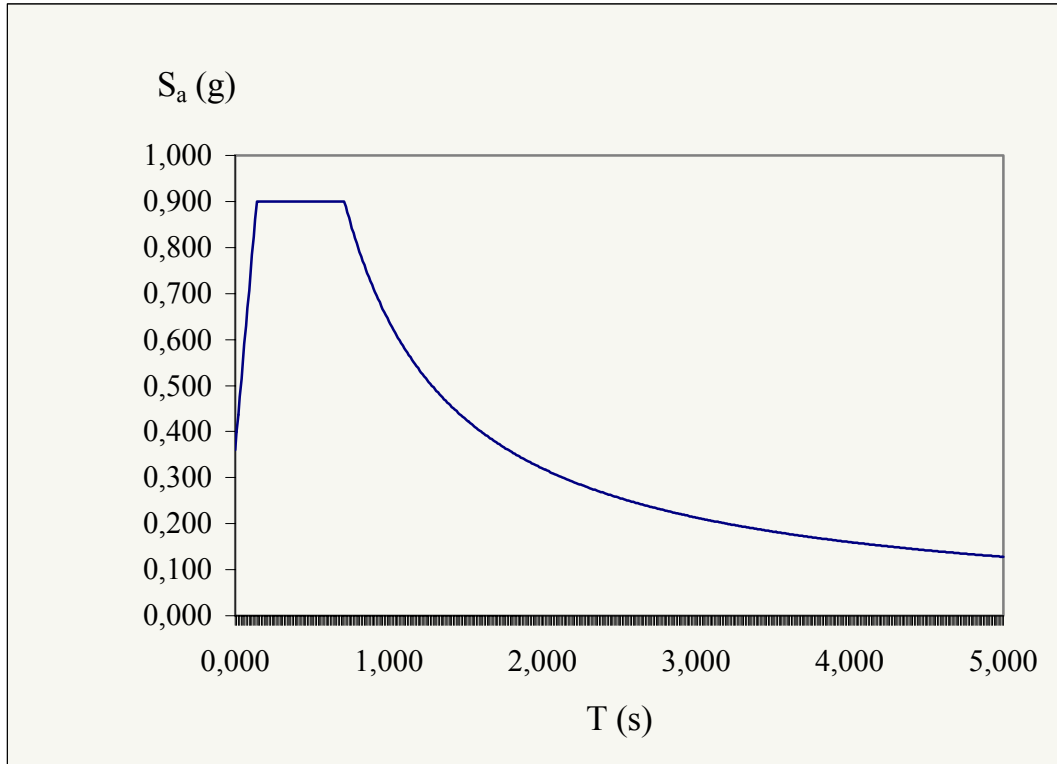
Zati yükler için belirlenen doğrusal olmayan yükleme durumu için herhangi bir deplasman kontrolü söz konusu değildir. Geometri bakımından doğrusal olmayan etkiler hesaba katılmamış, eleman yüklerinin boşaltılması ile ilgili seçenek ise “tüm yapı yükünün” kaldırılması olarak belirlenmiştir. Programda ardışık yaklaşım adımları ile ilgili parametreler değiştirilmemiş, varsayılan değerler kullanılmıştır.

x ve y doğrultularındaki deprem yüklerini temsil eden yükleme durumları iki farklı şekilde tanımlanmıştır. Burada deplasman kontrollü bir analiz yapılarak 0.30 m’lik bir sınır itme belirlenmiştir. Her iki doğrultudaki yükleme durumu için itme analizinin zati yükler için yapılan itme analizinden sonra başlaması sağlanmıştır. x doğrultusu için U1 kontrol yönü, y doğrultusu için ise U2 kontrol yönü seçilmiştir.

Geometri bakımından doğrusal etikler ve eleman yüklerinin boşaltılmasıyla ilgili seçenekler zati yükler için kullanılan yükleme durumundaki gibi seçilmiştir. Ardışık yaklaşık adımları ile ilgili parametreler bu yükleme durumlarında da değiştirilmemiş, yine varsayılan değerler kullanılmıştır.

6.2.9.4. Elastik Deprem Spektrumunun Elde Edilmesi

Bölüm 3.3.1’de anlatıldığı gibi, elastik deprem spektrumunun elde edilmesi için C_A ve C_V katsayılarının bulunmaları gerekmektedir. ZEN katsayısı olarak 0.40 , zemin sınıfı olarak ise S_D olarak belirlenmiş, Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3 kullanılarak C_A katsayısı 0.36, C_V katsayısı ise 0.64 olarak elde edilmiştir. Elde edilen elastik deprem spektrumu Şekil 6.5’te gösterilmektedir.

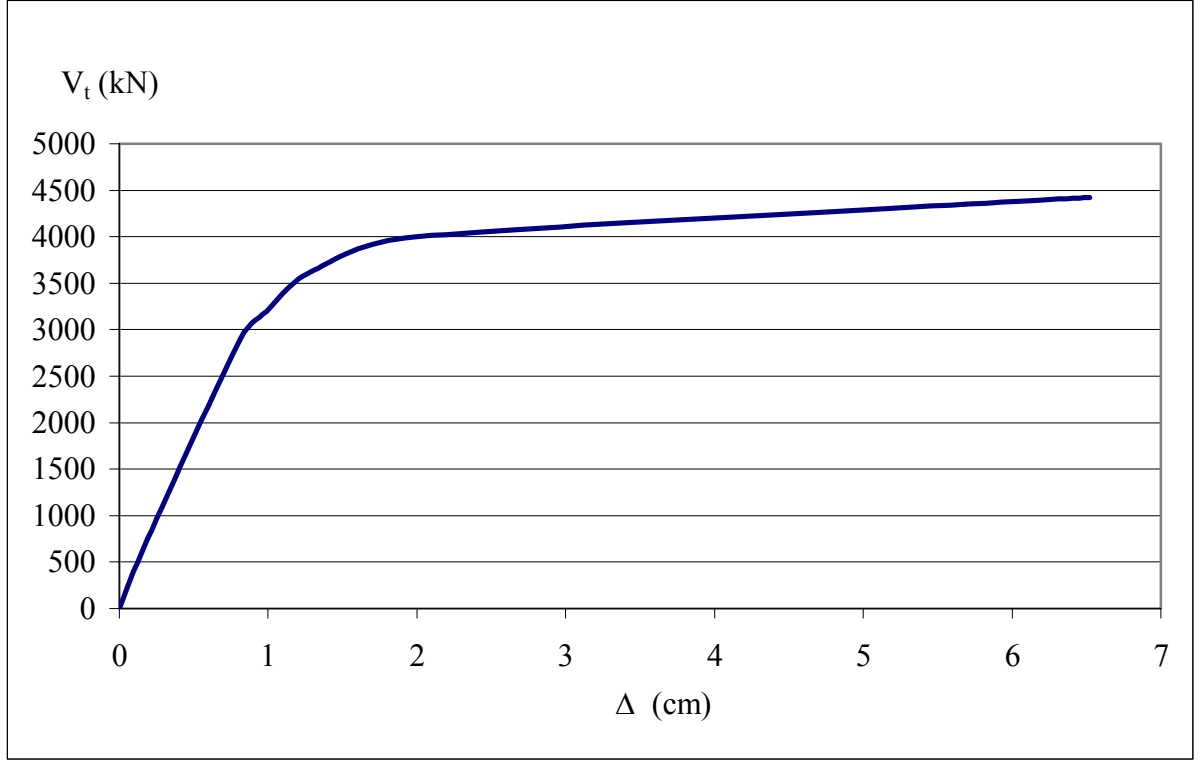


Şekil 6.5 Elastik Deprem Spektrumu

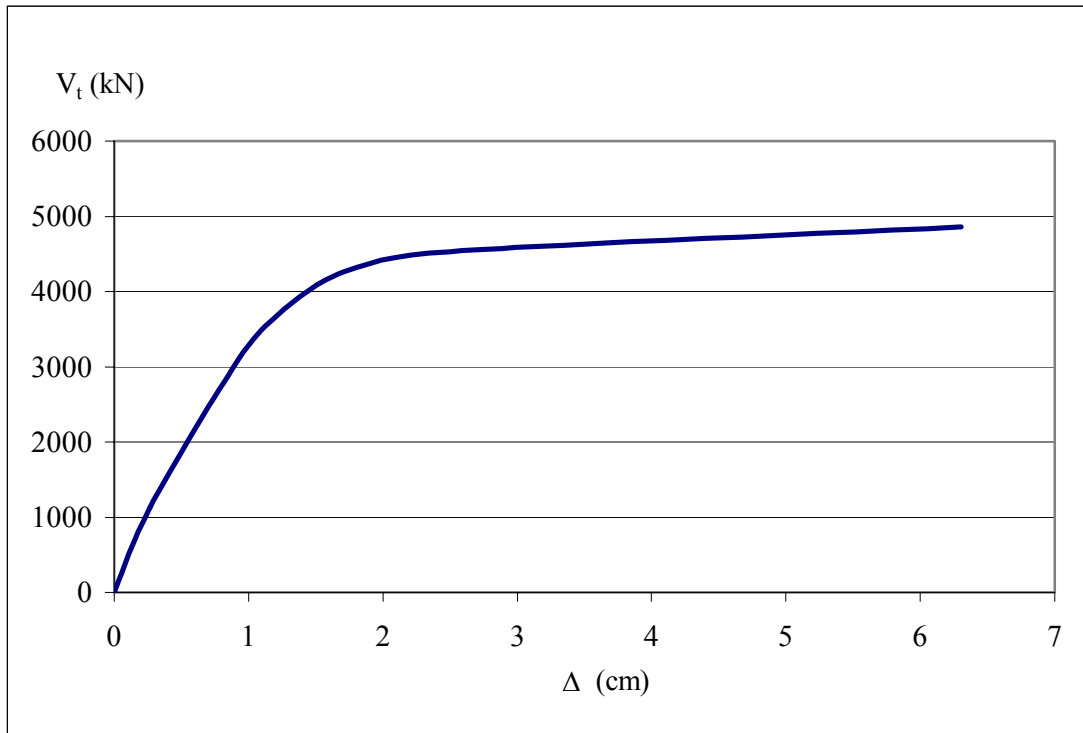
6.2.9.5. Doğrusal Olmayan Yatay İtme Analizi Sonuçları

SAP2000 programıyla sistemin doğrusal olmayan itme analizi yapıldıktan sonra *Display* menüsündeki *Show Static Pushover Curve* seçeneği seçilerek sonuçlar incelenebilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, bir önceki adımda bulunan C_A ve C_V spektrum katsayılarının açılan ara yüzde programa girilmesidir.

x ve y doğrultularında itme yükü ile yatay yerdeğiştirme arasındaki ilişki şekil 6.6 ve şekil 6.7’de görölmektedir. Çözüm incelendiğinde sistemin elastik ve ardından pekleşen plastik davranış gösterdiği görölmektedir.



şekil 6.6 x Doğrultusu İtme Yüğü – Yatay Yerdeğiştirme Grafiğı



şekil 6.7 y Doğrultusu İtme Yüğü – Yatay Yerdeğiştirme Grafiğı

Elde edilen grafiklerle elastik davranışın bitip pekleşen plastik davranışın başladığı görülmektedir. Taban kesme kuvveti değeri V_{ty} ve yatay yük taşıma kapasitesine erişilen taban kesme kuvveti değeri V_{tu} yaklaşık olarak belirlenmiştir. x ve y doğrultuları için ayrı ayrı incelenen bu değerler Tablo 6.12’de gösterilmektedir. Bunun yanı sıra tabloda binanın en üst katında seçilen bir kontrol noktası için yerdeğiştirme değerleri de verilmiştir.

Tablo 6.12 x ve y Doğrultuları İçin Yatay Yük Taşıma Kapasiteleri

x Doğrultusunda Statik İtme Analizi					
V_{tx} (kN)	V_{tx}/W	Yerdeğiştirme (mm)	V_{tu} (kN)	V_{tu}/W	Yerdeğiştirme (mm)
3926	0,170	9,88	4423	0,191	67,54
y Doğrultusunda Statik İtme Analizi					
V_{ty}	V_{ty}/W	Yerdeğiştirme (mm)	V_{tu}	V_{tu}/W	Yerdeğiştirme (mm)
4306	0,186	13,18	4856	0,210	62,93

6.2.10. Mevcut Bina Hakkındaki Sonuçlar

Çeltiksuyu Köyü’nde yer alan Bingöl Yatılı İlköğretim Bölge Okulu’nun taşıyıcı sistemi Bingöl 2003 depreminde hasar görmüş ve yıkılmıştır. Bina için önceki bölümlerde anlatılan kontroller ve hesaplar yapılmış, yapının taşıyıcı gücünü kaybedip göçmesinin olası sebepleri incelenmiştir. Yapılan görelî kat ötelemeleri kontrolünde mevcut sistemin ABYYHY’de verilen koşulları yerine getirdiği gözlenmiştir.

Yapının oldukça düzgün bir taşıyıcı sisteme sahip olduğu herhangi bir ek düzensizliğin mevcut olmadığı, kat kütle ve kat rijitlik merkezlerinin önemli bir burulma düzensizliği etkisi yaratacak şekilde birbirinden ayrık olmadığı görülmektedir. Yapılan A1 burulma düzensizliği kontrolünde de gerekli koşulların sağlanması bu durumu doğrulamaktadır.

Yapılarda deprem etkisiyle ortaya çıkan kolon ve perde kesme kuvvetleri ve momentlerinin üst katlara doğru azalması sebebiyle bina yüksekliği boyunca kolon ve perde kapasitelerinin üst katlara doğru azalması beklenmektedir. Böylece deprem hasarının dengeli bir şekilde dağıtılması amaçlanmaktadır. Yapılan B1 zayıf kat

düzensizliği kontrolünde yönetmelikte alt sınırı 0.80 olarak verilen η_{ci} dayanım düzensizliği katsayısının Zemin Kat ve 1. Kat için 0.75 değerinde olduğu görülmektedir.

Yapılarda deprem etkileri alt katlara gidildikçe arttığından buna uygun olarak bina yüksekliği boyunca kat yatay rijitliklerinin artması istenmektedir. Alt katlardaki rölatif yerdeğiştirmenin üst katlardakine göre daha büyük olması beklenmekte, böylece ikinci mertebe etkileriyle deprem hasarının alt katlarda yoğunlaşmaması sağlanmaktadır. Yapılan B2 yumuşak kat düzensizliğinde x doğrultusunda 1. Kat ve 2. Kat arasında istenilen koşulun sağlanmadığı gözlenmektedir. Bu durum ikinci mertebe etkilerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Kolon moment ve normal kuvvet taşıma kapasiteleri için zemin katta yapılan kontrol sonucu yapının zemin kat kolon normal kuvvet taşıma kapasiteleri aşılmamasına rağmen, moment taşıma kapasitelerinin yatay yük etkileri altında son derece yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasına sebep olarak düşük kaliteli beton ve betonarme çeliği kullanılması ile yerleştirilen donatının ancak yönetmelikte uygun görülen minimum donatı miktarına denk gelmesi gösterilebilir.

Bina için yapılan statik itme analizi sonucunda binanın yatay yük taşıma kapasiteleri incelenmiştir. Statik deprem kuvveti her iki yönde de yaklaşık olarak 0.22W mertebesinde-dir. Yapılan itme analizi sonucunda bina yatay yük taşıma kapasiteleri x doğrultusunda 0.17W, y doğrultusunda ise 0.186W olarak hesaplanmıştır. Her iki yönde de yatay yük taşıma kapasitelerinin yetersiz kaldığı açık olarak görülmektedir. Hatta bu sebepten dolayı yapılan analiz sonucunda talep spektrumu ile kapasite eğrisinin kesişmediği gözlenmiştir.

Binanın projelendirilmesi sırasında çok büyük bir olasılıkla bina önem katsayısı $I=1.0$ olarak alındığından statik deprem kuvveti her iki yönde de yaklaşık 0.16W olarak hesaplanabileceği görülmektedir. Bu durumda binanın sınırına yakın derecede zorlanacağı, ağır hasar göreceği, ancak yıkılmayacağı düşünülebilmektedir. Bu çalışmada olduğu gibi I katsayısı projelendirme sırasında 1.4 olarak alınsaydı, yatay hesap yüklerinin artması sonucunda bina perde duvarlı bir sistem olarak projelendirilebilir, böylece yapının göçmesinin önüne geçilebilirdi.

Bu çalışmada taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=4$ olarak alınmıştır. Ancak bu katsayının bina davranışını doğru yansıtacak bir şekilde hesapta kullanılması binada kolon ve kiriş uçlarında etriye sıklaştırılması olması, kiriş ve kolon boyuna demirlerinin yeterli boyda betona ankraj edilmiş olması, beton dayanımının yeterli olması, beton ve donatı arasında yeterli yapışma aderans olması, kolon eksenel yüklerinin belli bir miktarın altında olması, kolonun taşıdığı düşey yükün kolonun düşey yük taşıma gücünün en çok % 30 - 40'ı kadar olması ve benzeri diğer bazı koşulların yapıda sağlanması durumunda sağlıklı bir şekilde olacaktır. Ancak hasar bölgesinde yapılan incelemeler sonucunda özellikle etriye düzeni ve sıklaştırmasının neredeyse yok denecek durumda olduğu gözlenmiştir. Düğüm noktalarında etriye sıklaştırmasına rastlanmadığı gibi, kolon - kiriş bağlantı noktalarında beton işlevini yerine getirememiştir. Betonun kalitesiz olduğu, olması gerekenden büyük agreganın kullanıldığı, bunun sonucu olarak yeterli aderansın sağlanamamasıyla beraber betonun dağıldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte donatı bindirme boyları, ek yerlerinde donatıların üst üste getirilmeyerek sürekliliğin sağlanamaması, kirişlerde etriye düzeninin iyi yapılmaması, düşey donatılarla etriye bağlantılarının kolayca kopması da işçiliğin oldukça kötü olduğunu açıkça ortaya koymuştur.

Yapının projesinin 2. derece deprem bölgesi ve 1975 tarihli yönetmeliğe göre yapılmış olması 6.1 büyüklüğünde bir depremde yıkılması gerektirmemektedir. Böyle bir durumun ortaya çıkmasındaki en belirleyici etken beton ve demirin projenin gerektirdiği kalite ve nitelikte olmaması ve konstrüktif işçiliğin yetersizliği olarak gösterilmektedir.

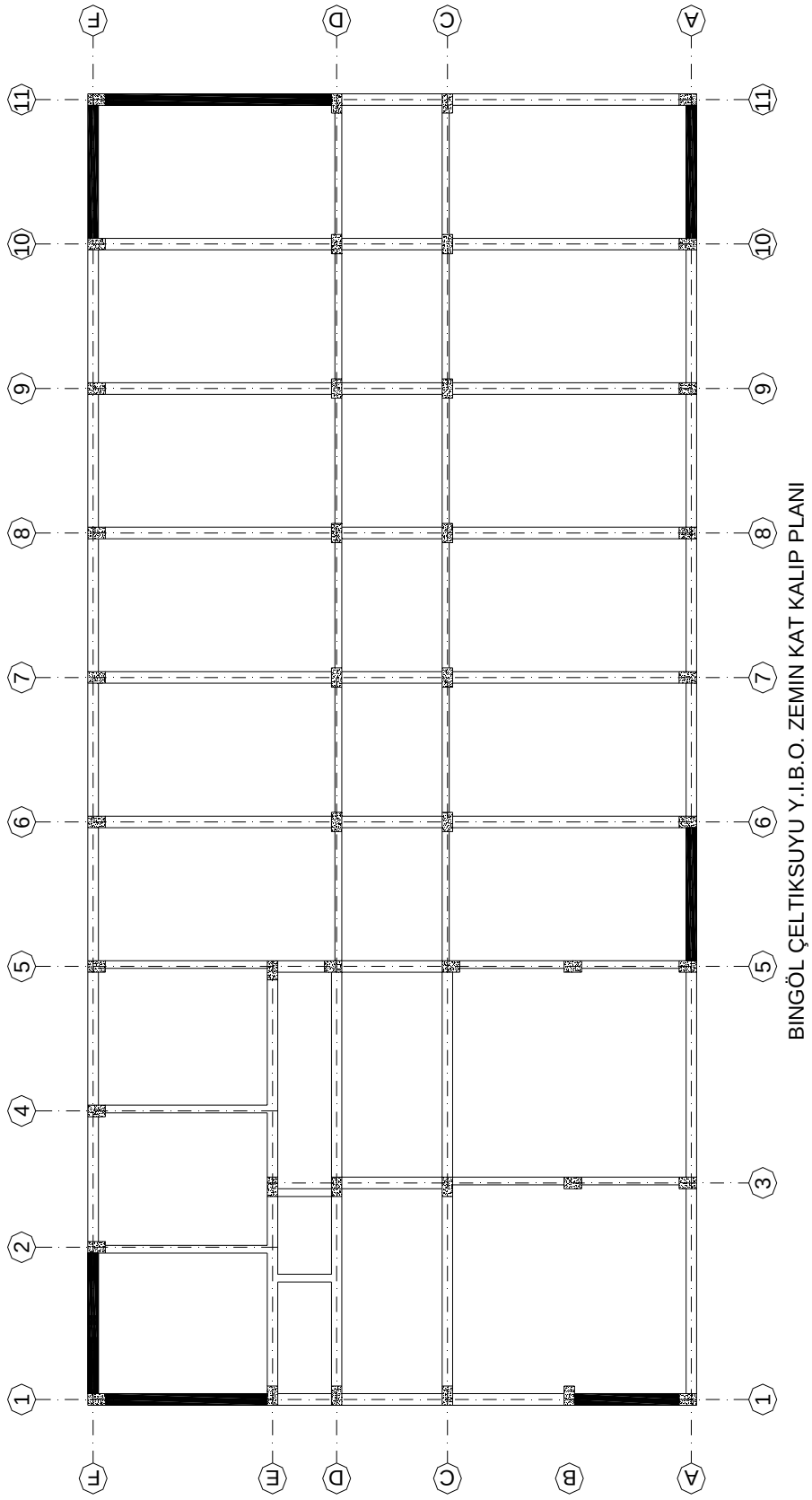
Bu şekilde inşa edilmiş yapıların ne yazık ki ülkemizde sık olarak görülmesi bu tür faciaların sık sık ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bingöl Y.B.I.O için şu aşamada yapılacak bir şey olmasa da taşıyıcı sistemi düşey ve yatay yükler altındaki yetersiz davranış gösteren benzer binalar için bir örnek teşkil etmesi amacıyla bu proje üzerinde bir güçlendirme çalışması yapılacaktır. Yapılacak olan güçlendirme çalışması ve bunun yapı elemanlarına üzerindeki etkileri ileriki bölümlerde açıklanacaktır.

6.3. Mevcut Binanın Güçlendirilmesi

Mevcut bina incelenip gerekli analizler ve kontroller yapıldığında sistemin yatay yüklere dayanımının artırılmasının gerektiğine karar verilmiştir. Yapı oldukça düzgün bir taşıyıcı sisteme sahip olmasına rağmen özellikle kolon donatılarındaki yetersizlik ve beton kalitesinin düşük oluşu binada ağır hasar oluşmasına sebep olmuştur. Güçlendirme her iki doğrultudaki deprem etkilerine karşı sisteme betonarme perdeler ilave edilmesiyle yapılacaktır. Kolonlardaki taşıma kapasitesinin yetersizliği sebebiyle yatay yüklerden gelen etkilerin büyük ölçüde betonarme perdeler vasıtasıyla karşılanması amaçlanmaktadır.

6.3.1. Perde Yerleşim Düzeni

Sisteme x ve y doğrultularında eklenen betonarme perdeler zemin kat kalıp planı üzerinde Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



BINGÖL ÇELTİK SUYU Y.I.B.O. ZEMİN KAT KALIP PLANI

Şekil 6.8 Perde Yerleşim Planı

6.3.2. Betonarme Perdelerin Boyutlandırılması

Sisteme ilave edilecek betonarme perdeler ile ilgili boyutlandırma ve donatı hesapları bu bölümde açıklanacaktır. Betonarme perdelerin plandaki konumları ve uzunlukları Tablo 6.13’de gösterilmiştir.

Tablo 6.13 Sisteme İlave Edilecek Betonarme Perdeler

Perde No	Konum	l_w (m)
P1	F, 1 – 2 aksları arasında	3,95
P2	F, 10 – 11 aksları arasında	3,75
P3	A, 5 – 6 aksları arasında	3,75
P4	A, 10 – 11 aksları arasında	3,75
P5	1, E – F aksları arasında	5,15
P6	1, A – B aksları arasında	3,50
P7	11, D – F aksları arasında	6,99

6.3.2.1. Enkesit Koşulları

Kritik perde boyu ve kritik perde boyu dışında perde kalınlığını belirleyen koşullar Denklem 6.15 ve 6.16’da görülmektedir.

H_{cr} dışında

$$b_w \geq \left\{ \begin{array}{l} h/15 \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right\} \quad (6.15)$$

H_{cr} boyunca

$$b_w \geq h/12 \quad (6.16)$$

Gerekli koşullar göz önüne alınarak kritik perde yüksekliği H_{cr} boyunca perde kalınlığı 300 mm, H_{cr} dışında ise 250 mm olarak seçilmiştir.

6.3.2.2. Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği (H_{cr})

ABYYHY uyarınca H_w / l_w oranının 2'den büyük olduğu perdeler için uç bölgeleri oluşturulması gerekmektedir. Perde uç bölgelerinin oluşturulması koşulunu belirleyen sayısal değerler Tablo 6.14'te gösterilmiştir.

Tablo 6.14 Perde Uç Bölgeleri

Perde No	H_w / l_w	Perde Uç Bölgesi
P1	2,35	✓
P2	2,48	✓
P3	2,48	✓
P4	2,48	✓
P5	1,80	Gerekmemektedir
P6	2,65	✓
P7	1,33	Gerekmemektedir

Tabloda da görüldüğü gibi P5 ve P7 perdeleri için uç bölgeleri oluşturulmasına yönetmelikçe gerek yoktur. Buna rağmen bu bölgeler için de uç bölgesi oluşturulmasına karar verilmiştir.

Kritik perde yüksekliği boyunca uç bölgesi boyutlarının hesabında kullanılacak koşullar Denklem 6.17'de görülmektedir.

$$l_u \geq \left\{ \begin{array}{l} 2b_w \\ 0, 2l_w \end{array} \right\} \quad (6.17)$$

ABYYHY'te verilen kritik perde yüksekliği dışında uç bölgesinin belirlenmesinde kullanılacak koşullar ise Denklem 6.18'te verilmiştir.

$$l_u \geq \left\{ \begin{array}{l} b_w \\ 0, l_w \end{array} \right\} \quad (6.18)$$

Kritik perde yüksekliği ve kritik perde yüksekliği dışında betonarme perdeler için koşullara uygun olarak hesaplanan uç bölgesi uzunlukları Tablo 6.15’de görülmektedir.

Tablo 6.15 Perde Uç Bölgeleri Uzunlukları

Perde No	H _{cr} Boyunca (mm)	H _{cr} Dışında (mm)
P1	800	400
P2	750	380
P3	750	380
P4	750	380
P5	1050	520
P6	700	350
P7	1400	-

Kritik perde yüksekliğinin belirlenmesi için ABYYHY’te verilen koşullar Denklem 6.19’da gösterilmektedir.

$$H_{cr} \geq \left\{ \begin{array}{l} l_w \\ H_w / 6 \end{array} \right\} \quad (6.19)$$

Betonarme perdeler için hesaplanan kritik perde yüksekliği değerleri Tablo 6.16’da görülmektedir. Buna göre P1,P2, P3, P4, P5, P6 perdeleri için H_{cr} 6.30 m olacak, 1. ve 2. kat boyunca devam edecektir. P7 perdesi için ise H_{cr} 9.30 m alınacak ve tüm katlar boyunca devam edecektir.

Tablo 6.16 H_{cr} Kritik Perde Yükseklikleri

Perde No	$H_{cr} \geq l_w ; 1.55 \text{ m}$	Kat
P1	3.95	1 ve 2
P2	3.75	1 ve 2
P3	3.75	1 ve 2
P4	3.75	1 ve 2
P5	5.15	1 ve 2
P6	3.50	1 ve 2
P7	6.99	1,2 ve 3

Betonarme perdeler için donatı hesabı yapılmadan önce güçlendirilmiş sistemin SAP2000 programı ile tekrar çözülmesi gerekmektedir.

6.3.3. Güçlendirilmiş Sistemin SAP2000’de Çözülmesi ve Doğal Periyotların Bulunması

Bu aşamada toplam eşdeğer deprem yükünün hesabında kullanılacak doğal periyotların bulunması amacıyla sistem tekrar SAP2000 programında modellenmiş ve kütleler düğüm noktalarına paylaştırılarak x ve y doğrultularında etkitilmiştir. Betonarme perdeler uygun kesitli çubuk elemanlar olarak modellenmiş, perdelerin uzun doğrultularında ise bu çubuk eleman uçlarına yatayda rijitlikleri yüksek fiktif elemanlar yerleştirilmiştir. Yapılan modal analiz sonucunda yapının doğal periyotları x doğrultusu için $T = 0.1886$ s, y doğrultusu için $T = 0.1814$ s olarak elde edilmiştir.

6.3.4. Güçlendirilmiş Sistem İçin Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Bulunması ve Katlara Dağıtılması

Güçlendirilmiş sistem için toplam eşdeğer deprem yükünün tekrar hesaplanması gerekmektedir. bulunması için ilk önce spektrum katsayılarının hesaplanması gerekmektedir. Her iki doğrultudaki doğal periyot da $T_A < T < T_B$ aralığında olduğundan spektrum katsayılarının hesabında Denklem 6.20 kullanılmıştır.

$$S = 2.5 \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (6.20)$$

Buna göre x ve y doğrultularındaki spektrum katsayıları S_x ve $S_y = 2.5$ olarak hesaba dahil edilmiştir.

Bir sonraki aşamada Denklem 6.3 ve 6.4 yardımıyla x ve y doğrultuları için toplam eşdeğer yükleri hesaplanmıştır. Hesapta R taşıyıcı sistem davranış katsayısı 7 olarak alınmıştır.

Buna göre x ve y doğrultularındaki toplam eşdeğer deprem yükleri V_{tx} ve V_{ty} :

$$V_{tx}, V_{ty} = 23089,50 \times [0,30 \times 1,4 \times 2,50] / 7 \geq 0,1 \times 0,30 \times 1,4 \times 23089,50$$

$$V_{tx}, V_{ty} = 3463,42 \geq 969,758$$

olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması işlemi Denklem 6.5 yardımıyla yapılmıştır. Bu işlem sonucu çıkan hesap değerleri Tablo 6.17’de gösterilmektedir.

Tablo 6.17 Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Katlara Paylaştırılması

Kat	W_i (kN)	H_i (m)	V_{tx} (kN)	V_{ty} (kN)	$W_i H_{ix}$	$\Sigma W_i H_{ix}$	F_{ix} (kN)	F_{iy} (kN)
Z	8645,59	3,30	3463,42	3463,42	28530,44	137580,88	718,22	718,22
1	8425,93	6,30			53083,38		1336,31	1336,31
2	6017,96	9,30			55967,07		1408,90	1408,90

6.3.5. Güçlendirilmiş Sistemin Çözülmesi ve Sonuçların İncelenmesi

Katlara etkiyen deprem yükleri SAP2000’de hazırlanmış modeldeki düğüm noktalarına paylaştırılmış ve Tablo 6.3’teki yükleme kombinasyonları ile çözümü yapılmıştır. Bu kısımda SAP2000 ile çözümü yapılan güçlendirilmiş yapının ABYYHY’te kontrolü istenen bazı şartları karşılayıp karşılamadığı tetkik edilmiştir. Yapılan kontroller şu şekildedir:

- Göreli kat ötelemeleri kontrolü
- A1 Burulma düzensizliği kontrolü
- B1 Katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) kontrolü
- B2 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü
- Kolon kapasiteleri kontrolü

6.3.5.1. Güçlendirilmiş Sistemde Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

Deprem sırasında katların yapacağı yerdeğiştirmelerin sonucunda oluşan ikinci mertebe etkilerin sınırlandırılması amacıyla göreli kat ötelemelerinin daha önce Denklem 6.8a ve 6.8b’de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlaması gerekmektedir.

x ve y doğrultuları için göreli kat ötelemeleri kontrolü Tablo 6.18 ve 6.19’da gösterilmektedir. Kontrollerin elverişsiz olan 0.0028 değerini sağlaması gerekmektedir.

Tablo 6.18 x Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

Kat	$(d_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	h_i (m)	$(\Delta_i)_{\max}/h_i$	Kontrol
Zemin	0,000816	0,000816	3,3	0,000247	Sağlanmıştır
1. Kat	0,00191	0,001094	3,0	0,000364	Sağlanmıştır
2. Kat	0,00294	0,001030	3,0	0,000343	Sağlanmıştır

Tablo 6.19 y Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

Kat	$(d_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	h_i (m)	$(\Delta_i)_{\max}/h_i$	Kontrol
Zemin	0,000783	0,000783	3,3	0,000237	Sağlanmıştır
1. Kat	0,00162	0,000837	3,0	0,000279	Sağlanmıştır
2. Kat	0,00238	0,000760	3,0	0,000253	Sağlanmıştır

6.3.5.2. Güçlendirilmiş Sistem İçin A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} ’nin 1,2 değerinden büyük olması gerekmektedir. Kontrol için Denklem 6.9’un sağlanması gerekmektedir.

X ve Y doğrultuları için A1 burulma düzensizliği kontrolü Tablo 6.20 ve 6.21’de gösterilmektedir.

Tablo 6.20 x Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü

Kat	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$ (m)	η_{bi}	Kontrol
Zemin	0,000816	0,000730	1,11	Sağlanmıştır
1. Kat	0,001094	0,001020	1,07	Sağlanmıştır
2. Kat	0,001030	0,001028	1,00	Sağlanmıştır

Tablo 6.21 y Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

Kat	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$ (m)	η_{bi}	Kontrol
Zemin	0,000783	0,000665	1,17	Sağlanmıştır
1. Kat	0,000837	0,000815	1,02	Sağlanmıştır
2. Kat	0,000760	0,000661	1,14	Sağlanmıştır

6.3.5.3. Güçlendirilmiş Sistem İçin B1 Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Kontrolü

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, Denklem 6.10’da tanımlanan herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı η_{ci} ’nin 0,80 değerinden büyük olması gerekmektedir. Kontrol için Denklem 6.11 sağlanmalıdır. x ve y doğrultusunda deprem etkisi için B1 katlar arası dayanım düzensizliği kontrolü Tablo 6.22 ve 6.23’de gösterilmektedir.

Tablo 6.22 x Doğrultusu B1 Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Kontrolü

Kat	$\Sigma A_w (m^2)$	$\Sigma A_g (m^2)$	$\Sigma A_k (m^2)$	$\Sigma A_e (m^2)$	η_{ci}	Kontrol
Zemin	3,44	4,56	0	8,00	-	-
1. Kat	2,58	4,56	0	7,14	0,89	Sağlanmıştır
2. Kat	2,58	3,80	0	6,38	0,89	Sağlanmıştır

Tablo 6.23 y Doğrultusu B1 Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Kontrolü

Kat	$\Sigma A_w (m^2)$	$\Sigma A_g (m^2)$	$\Sigma A_k (m^2)$	$\Sigma A_e (m^2)$	η_{ci}	Kontrol
Zemin	3,44	4,69	0	8,13	-	-
1. Kat	2,58	4,69	0	7,27	0,89	Sağlanmıştır
2. Kat	2,58	4,26	0	6,84	0,94	Sağlanmıştır

6.3.5.4. Güçlendirilmiş Sistem İçin B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) Kontrolü

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 1,5 değerinden küçük olması gerekmektedir. Kontrol için Denklem 6.12 sağlanmalıdır.

X ve Y doğrultuları için B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü Tablo 6.24 ve 6.25'te gösterilmektedir.

Tablo 6.24 x Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin B2 Yumuşak Kat Kontrolü

Kat	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{ki}	Kontrol
Zemin	0,000730	0,71	Sağlanmıştır
1. Kat	0,001020	0,99	Sağlanmıştır
2. Kat	0,001028	-	-

Tablo 6.25 y Doğrultusunda Deprem Etkisi İçin B2 Yumuşak Kat Kontrolü

Kat	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{ki}	Kontrol
Zemin	0,000665	0,81	Sağlanmıştır
1. Kat	0,000815	1,22	Sağlanmıştır
2. Kat	0,000661	-	-

6.3.5.5. Güçlendirilmiş Sistemde Kolon Kapasiteleri Kontrolü

Güçlendirilmiş sistemde kolon kapasitelerinin kontrolü sadece zemin kat kolonları için yapılmıştır. SAP2000 programı yardımıyla kolonlara etkiyen moment ve normal kuvvet değerleri bulunmuş, ve bunlar ile kolon moment ve normal kuvvet kapasitelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Kolon kapasiteleri ile ilgili kontrol Tablo 6.26'da görülmektedir.

Tablo 6.26 Güçlendirilmiş Sistemde Kolon Kapasiteleri Kontrolü

Kolon No	b (cm)	h (cm)	A _c (cm ²)	A _{s,m} (cm ²)	ρ _m (%)	N ₀ (kN)	N _{max} (kN)	N _{d,max} (kN)	N _{d,x} (kN)	M _{d,x} (kNm)	M _{r,x} (kNm)	N _{d,y} (kN)	M _{d,y} (kNm)	M _{r,y} (kNm)
S101	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	240,96	202,08	6,67	49,50	222,75	14,24	82,50
S102	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	415,76	415,76	18,50	49,50	113,33	30,99	82,50
S103	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	518,73	428,71	19,75	49,50	348,88	33,17	82,50
S104	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	598,83	400,33	16,42	49,50	427,08	31,73	82,50
S105	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	688,81	467,63	25,54	49,50	484,12	42,97	82,50
S106	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	707,45	480,76	26,51	49,50	496,12	44,18	82,50
S107	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	716,05	479,59	26,42	49,50	502,50	43,80	82,50
S108	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	634,64	365,53	26,49	49,50	437,75	42,80	82,50
S109	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	419,21	167,46	31,10	49,50	132,46	43,28	82,50
S110	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	310,58	310,58	6,71	49,50	54,66	20,68	82,50
S111	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	372,09	150,38	35,06	82,50	186,32	22,24	49,50
S112	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1047,63	697,49	25,83	82,50	726,19	19,20	49,50
S113	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	839,78	582,92	27,79	82,50	558,99	17,49	49,50
S114	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	375,65	214,75	32,88	82,50	375,65	17,19	49,50
S115	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	887,29	617,05	25,35	82,50	598,05	16,04	49,50
S116	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	708,16	480,87	18,26	49,50	487,12	27,23	82,50
S117	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	963,81	664,03	25,90	82,50	657,05	18,40	49,50
S118	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1024,81	694,09	24,82	82,50	698,76	18,99	49,50
S119	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1017,15	691,01	24,85	82,50	693,13	18,85	49,50
S120	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1018,91	690,16	24,92	82,50	692,76	18,10	49,50
S121	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1009,07	667,79	26,44	82,50	701,52	17,62	49,50
S122	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	329,14	162,56	28,54	82,50	701,52	14,12	49,50

S123	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	496,97	370,95	33,71	82,50	300,04	17,53	49,50
S124	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1040,42	715,99	25,92	82,50	702,69	14,24	49,50
S125	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	864,63	587,29	18,66	49,50	579,69	27,22	82,50
S126	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	944,33	637,05	25,93	82,50	644,66	17,56	49,50
S127	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1025,49	690,94	25,43	82,50	699,26	18,63	49,50
S128	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1029,20	698,52	25,15	82,50	701,26	18,62	49,50
S129	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1028,43	694,40	25,34	82,50	702,59	17,88	49,50
S130	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	1005,00	667,89	26,13	82,50	683,11	16,93	49,50
S131	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	612,82	458,70	27,19	82,50	381,89	15,13	49,50
S132	50	30	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	277,85	135,01	12,84	82,50	277,85	10,16	49,50
S133	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	812,09	542,40	11,46	49,50	531,55	23,60	82,50
S134	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	678,18	424,17	12,22	49,50	467,39	24,17	82,50
S135	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	216,41	119,80	14,40	49,50	216,41	15,11	82,50
S136	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	612,30	394,21	13,14	49,50	452,11	25,19	82,50
S137	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	444,11	225,31	14,67	49,50	133,68	28,89	82,50
S138	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	456,89	198,79	28,12	49,50	120,31	42,93	82,50
S139	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	636,66	354,85	27,45	49,50	444,18	45,00	82,50
S140	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	730,63	498,12	27,08	49,50	513,57	44,61	82,50
S141	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	629,61	343,42	27,63	49,50	434,97	44,07	82,50
S142	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	463,45	253,65	30,51	49,50	130,62	43,14	82,50
S143	30	50	1500	15,14	1,01	1691,67	1237,50	451,79	308,10	19,54	49,50	104,52	30,41	82,50
									ΣM	997,23	2788,50	ΣM	1114,29	2887,50

6.3.6. Güçlendirilmiş Sistemde Betonarme Perdelerin Donatı Hesabı

Bu bölümde sisteme ilave edilmiş 7 betonarme perdenin donatı hesabı yapılmıştır. Gövde donatısı için perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının kesit alanı düşey ve yatay donatıların her biri için, perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt en kesit alanının 0.0025'inden az olmayacak şekilde hesap yapılmıştır. Gövde donatısı hesabında minimum donatı koşulu Denklem 6.21'de verilmiştir. Ayrıca gövde bölgesinde donatı aralığının 300 mm'yi geçmemesi gerekmektedir. Uç bölgesi donatı hesabında ise minimum donatı koşulları Denklem 6.22a ve 6.22b'de görülmektedir. Bunun yanı sıra perde uç bölgelerindeki donatı miktarının 4φ14'ten az olmaması koşuluna dikkat edilmiştir. Perde uç bölgelerinin enine donatı hesabında enine donatı çapının 8 mm'den az olmaması gerekmektedir. Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerine, kolonların sarılma bölgeleri için ABYYHY'de kolon sarılma bölgeleri için tanımlanan enine donatıların en az 2/3'ü konulmalıdır. Düşey doğrultuda etriye ve çiroz aralıkları 100 mm'den fazla, 50 mm'den az olmamalıdır. Kritik perde yüksekliğinin dışında etriye ve çiroz aralıkları için verilen koşula göre bunun 200 mm'den fazla olmaması gerekmektedir. Ayrıca perde uç bölgelerindeki enine donatının çapı ve aralığının, perde gövdesindeki yatay donatıdan daha az olmaması gerekmektedir.

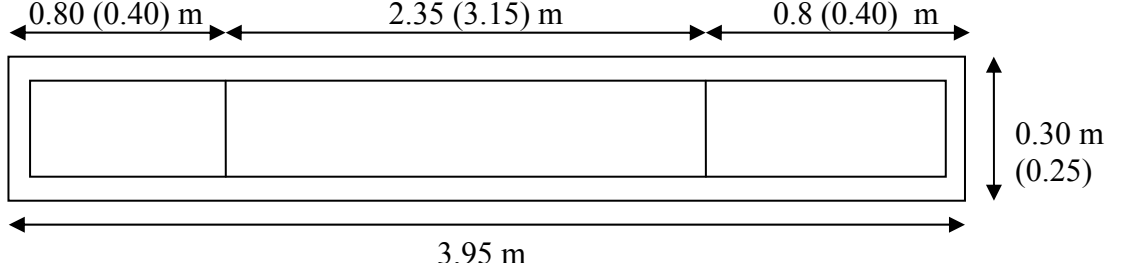
$$A_{sg} \geq 0,0025 \times b_w \times l_g \quad (6.21)$$

$$A_{suç} \geq 0,002 \times b_w \times l_w \quad (H_{cr} \text{ Boyunca}) \quad (6.22a)$$

$$A_{suç} \geq 0,001 \times b_w \times l_w \quad (H_{cr} \text{ Dışında}) \quad (6.22b)$$

6.3.6.1. P1 Perdesi İçin Donatı Hesabı

P1 Perdesi boyutları Şekil 6.9'da görülmektedir. Parantez içindeki değerler H_{cr} dışındaki perde boyutlarını göstermektedir.



Şekil 6.9 P1 Perdesi Boyutları

- P1 Perdesi İçin Gövde Donatısı Hesabı

H_{cr} Boyunca:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 300 \times 2350 = 1762.50 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{1762.50}{2} = 881.25 \text{ mm}^2$$

$$\frac{881.25}{2.35} = 375 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 12 / 200 \text{ (565 mm}^2/\text{m ; yatay ve düşeyde)}$$

H_{cr} Dışında:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 250 \times 3150 = 1968.75 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{2756.25}{2} = 984.375 \text{ mm}^2$$

$$\frac{984.375}{3.15} = 312.5 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 10 / 200 \text{ (393 mm}^2/\text{m ; yatay ve düşeyde)}$$

• **P1 Perdesi İçin Uç Bölgesi Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$A_{suç} \geq 0,002 \times b_w \times l_w = 0,002 \times 300 \times 3950 = 2370 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 2850.56 \text{ kNm}$$

$$N_d = 1054,62 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{1054,62}{0,30 \times 3,15 \times 17000} \approx 0,06$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{2850,56}{0,30 \times 3,15^2 \times 17000} \approx 0,05 \rightarrow w = w' < 0,03$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{300 \times 3150}{365/17} = 1320.41 \text{ mm}^2$$

$$\min A_{s,uç} = 2370 \text{ mm}^2 \rightarrow 8\phi 20 (2513 \text{ mm}^2)$$

H_{cr} Dışında:

$$A_{suç} \geq 0,001 \times b_w \times l_w = 0,001 \times 250 \times 3950 = 987.5 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 589,99 \text{ kNm}$$

$$N_d = 231,05 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{231,05}{0,25 \times 3,55 \times 17000} \approx 0,01$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{589,99}{0,25 \times 3,55^2 \times 17000} \approx 0,01 \rightarrow w = w' < 0,03$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{250 \times 3550}{365/17} = 1240.06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seçilen Donatı} \rightarrow 4\phi 20 (1257 \text{ mm}^2)$$

- **P1 Perdesi Uç Bölgelerinde Enine Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$50 \text{ mm} \leq s \leq 100 \text{ mm}$$

$$s \leq b_w / 2 = 150 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k \left(f_{ck} / f_{yw} \right)$$

$$b_k = 300 \text{ mm} ; s = 80 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 80 \times 300 (25 / 420) = 107 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 = 158 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} 107$$

$\phi 10 / 80$ uygundur.

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k \left(f_{ck} / f_{yw} \right)$$

$$b_k = 750 \text{ mm} ; s = 80 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 80 \times 750 (25 / 420) = 267,85 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 + 2 \times 79 (\text{çiroz}) = 316 \geq \frac{2}{3} 267,85$$

$\phi 10 / 80$ uygundur.

H_{cr} Dışında:

$$s \leq b_w ; 200 \text{ mm}$$

Perde uç bölgelerindeki enine donatı çapı ve aralığı, hiç bir zaman perde gövdesindeki yatay donatıdan az olmayacaktır. Bu koşullara göre, H_{cr} dışında $\phi 10 / 200$ enine donatı seçilmiştir.

- **P1 Perdesi İçin Kesme Güvenliği Kontrolü**

Zemin Kat İçin Kontrol

$$V_d = \frac{2830 - 862}{3.30} = 596.3 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 300 \times 3950(0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 2236 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 300 \times 3950 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 4431.9 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

1. Kat İçin Kontrol

$$V_d = \frac{1543 - 669}{3.00} = 291.33 \text{ kN}$$

$$V_r = 2236 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

$$V_d \leq 4431.9 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

2. Kat İçin Kontrol

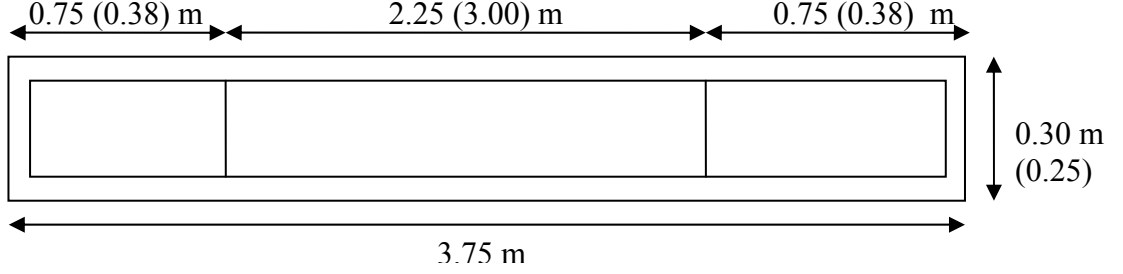
$$V_d = \frac{580.30 + 585.99}{3.00} = 388.77 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 250 \times 3950(0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 1863.90 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 250 \times 3950 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 3693.25 \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

6.3.6.2. P2 Perdesi İçin Donatı Hesabı

P2 Perdesi boyutları Şekil 6.10'da görülmektedir. Parantez içindeki değerler H_{cr} dışındaki perde boyutlarını göstermektedir.



Şekil 6.10 P2 Perdesi Boyutları

- P2 Perdesi İçin Gövde Donatısı Hesabı

H_{cr} Boyunca:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 300 \times 2250 = 1687.50 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{1687.50}{2} = 843.75 \text{ mm}^2$$

$$\frac{843.75}{2.25} = 375 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 12 / 200 (565 \text{ mm}^2/\text{m} ; \text{yatay ve düşeyde})$$

H_{cr} Dışında:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 250 \times 3000 = 1875 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{1875}{2} = 937.50 \text{ mm}^2$$

$$\frac{937.50}{3.00} = 312.5 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 10 / 200 (393 \text{ mm}^2/\text{m} ; \text{yatay ve düşeyde})$$

• **P2 Perdesi İçin Uç Bölgesi Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$A_{suç} \geq 0,002 \times b_w \times l_w = 0,002 \times 300 \times 3750 = 2250 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 2729.44 \text{ kNm}$$

$$N_d = 794.98 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{794.98}{0.30 \times 3.00 \times 17000} \approx 0,05$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{2729.44}{0.30 \times 3.00^2 \times 17000} \approx 0,06 \rightarrow w = w' < 0,03$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{300 \times 3000}{365/17} = 1257.53 \text{ mm}^2$$

$$\min A_{s,uç} = 2250 \text{ mm}^2 \rightarrow 8\phi 20 (2513 \text{ mm}^2)$$

H_{cr} Dışında:

$$A_{suç} \geq 0,001 \times b_w \times l_w = 0,001 \times 250 \times 3750 = 937.5 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 552.05 \text{ kNm}$$

$$N_d = 269.80 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{269.80}{0,25 \times 3,38 \times 17000} \approx 0,03$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{552.05}{0,25 \times 3,38^2 \times 17000} \approx 0,01 \rightarrow w = w' < 0,03$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{250 \times 3380}{365/17} = 1180.68 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seçilen Donatı} \rightarrow 4\phi 20 (1257 \text{ mm}^2)$$

- **P2 Perdesi Uç Bölgelerinde Enine Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$50 \text{ mm} \leq s \leq 100 \text{ mm}$$

$$s \leq b_w / 2 = 150 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k \left(f_{ck} / f_{yw} \right)$$

$$b_k = 300 \text{ mm} ; s = 80 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 80 \times 300 (25 / 420) = 107 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 = 158 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} 107$$

$\phi 10 / 80$ uygundur.

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k \left(f_{ck} / f_{yw} \right)$$

$$b_k = 700 \text{ mm} ; s = 80 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 80 \times 700 (25 / 420) = 250 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 + 2 \times 79 (\text{çiroz}) = 316 \geq \frac{2}{3} 250 \text{ mm}^2$$

$\phi 10 / 80$ uygundur.

H_{cr} Dışında:

$$s \leq b_w ; 200 \text{ mm}$$

Perde uç bölgelerindeki enine donatı çapı ve aralığı, hiç bir zaman perde gövdesindeki yatay donatıdan az olmayacaktır. Bu koşullara göre, H_{cr} dışında $\phi 10 / 200$ enine donatı seçilmiştir.

- **P2 Perdesi İçin Kesme Güvenliği Kontrolü**

Zemin Kat İçin Kontrol

$$V_d = \frac{2729 - 665}{3.30} = 625.45 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 300 \times 3750(0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 2123 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 300 \times 3750 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 4207.5 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

1. Kat İçin Kontrol

$$V_d = \frac{1258 - 543}{3.00} = 238.33 \text{ kN}$$

$$V_r = 2123 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

$$V_d \leq 4207.5 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

2. Kat İçin Kontrol

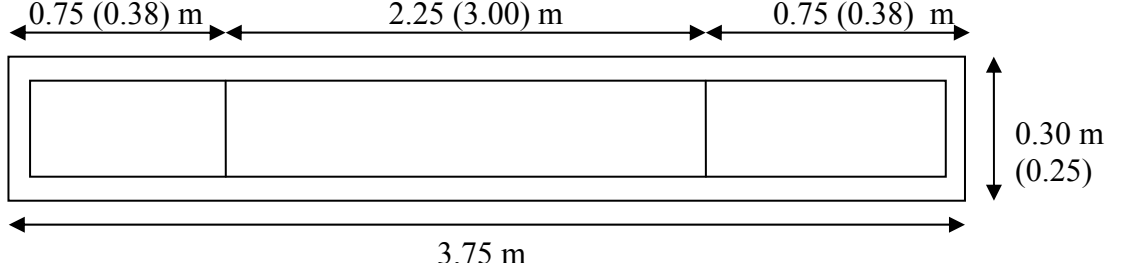
$$V_d = \frac{552.05 + 357.04}{3.00} = 303.03 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 250 \times 3750(0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 1769.53 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 250 \times 3750 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 3506.25 \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

6.3.6.3. P3 Perdesi İçin Donatı Hesabı

P3 Perdesi boyutları Şekil 6.11’de görülmektedir. Parantez içindeki değerler H_{cr} dışındaki perde boyutlarını göstermektedir.



Şekil 6.10 P3 Perdesi Boyutları

- P3 Perdesi İçin Gövde Donatısı Hesabı

H_{cr} Boyunca:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 300 \times 2250 = 1687.50 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{1687.50}{2} = 843.75 \text{ mm}^2$$

$$\frac{843.75}{2.25} = 375 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 12 / 200 \text{ (565 mm}^2/\text{m ; yatay ve düşeyde)}$$

H_{cr} Dışında:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 250 \times 3000 = 1875 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{1875}{2} = 937.50 \text{ mm}^2$$

$$\frac{937.50}{3.00} = 312.5 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 10 / 200 \text{ (393 mm}^2/\text{m ; yatay ve düşeyde)}$$

• **P3 Perdesi İçin Uç Bölgesi Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$A_{suç} \geq 0,002 \times b_w \times l_w = 0,002 \times 300 \times 3750 = 2250 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 3183.74 \text{ kNm}$$

$$N_d = 992.90 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{992.90}{0.30 \times 3.00 \times 17000} \approx 0,06$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{3183.74}{0.30 \times 3.00^2 \times 17000} \approx 0,07 \rightarrow w = w' < 0,03$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{300 \times 3000}{365/17} = 1257.53 \text{ mm}^2$$

$$\min A_{s,uç} = 2250 \text{ mm}^2 \rightarrow 8\phi 20 (2513 \text{ mm}^2)$$

H_{cr} Dışında:

$$A_{suç} \geq 0,001 \times b_w \times l_w = 0,001 \times 250 \times 3750 = 937.5 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 411.54 \text{ kNm}$$

$$N_d = 340.74 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{340.70}{0,25 \times 3,38 \times 17000} \approx 0,03$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{411.54}{0,25 \times 3,38^2 \times 17000} \approx 0,01 \rightarrow w = w' < 0,03$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{250 \times 3380}{365/17} = 1180.68 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seçilen Donatı} \rightarrow 4\phi 20 (1257 \text{ mm}^2)$$

- **P3 Perdesi Uç Bölgelerinde Enine Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$50 \text{ mm} \leq s \leq 100 \text{ mm}$$

$$s \leq b_w / 2 = 150 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k \left(f_{ck} / f_{yw} \right)$$

$$b_k = 300 \text{ mm} ; s = 80 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 80 \times 300 (25 / 420) = 107 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 = 158 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} 107$$

$\phi 10 / 80$ uygundur.

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k \left(f_{ck} / f_{yw} \right)$$

$$b_k = 700 \text{ mm} ; s = 80 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 80 \times 700 (25 / 420) = 250 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 + 2 \times 79 (\text{çiroz}) = 316 \geq \frac{2}{3} 250 \text{ mm}^2$$

$\phi 10 / 80$ uygundur.

H_{cr} Dışında:

$$s \leq b_w ; 200 \text{ mm}$$

Perde uç bölgelerindeki enine donatı çapı ve aralığı, hiç bir zaman perde gövdesindeki yatay donatıdan az olmayacaktır. Bu koşullara göre, H_{cr} dışında $\phi 10 / 200$ enine donatı seçilmiştir.

- **P3 Perdesi İçin Kesme Güvenliği Kontrolü**

$$V_d = \frac{2962 - 396}{3.30} = 777.62 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 300 \times 3750 (0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 2123 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 300 \times 3750 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 4207.5 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

1. Kat İçin Kontrol

$$V_d = \frac{1494 + 327}{3.00} = 607 \text{ kN}$$

$$V_r = 2123 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

$$V_d \leq 4207.5 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

2. Kat İçin Kontrol

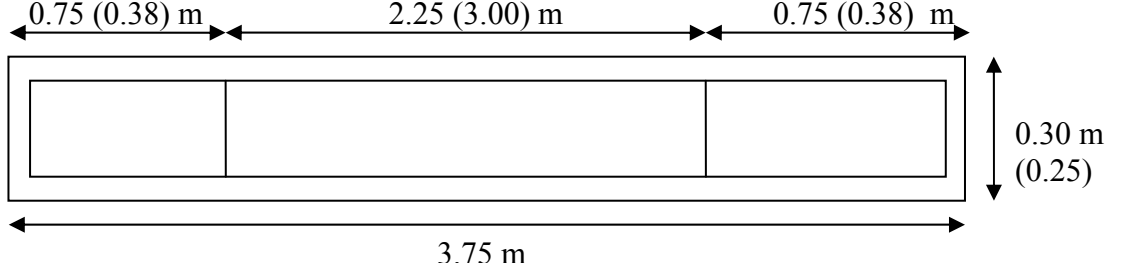
$$V_d = \frac{511 + 406}{3.00} = 305.66 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 250 \times 3750 (0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 1769.53 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 250 \times 3750 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 3506.25 \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

6.3.6.4. P4 Perdesi İçin Donatı Hesabı

P4 Perdesi boyutları Şekil 6.12’de görülmektedir. Parantez içindeki değerler H_{cr} dışındaki perde boyutlarını göstermektedir.



Şekil 6.12 P4 Perdesi Boyutları

- P4 Perdesi İçin Gövde Donatısı Hesabı

H_{cr} Boyunca:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 300 \times 2250 = 1687.50 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{1687.50}{2} = 843.75 \text{ mm}^2$$

$$\frac{843.75}{2.25} = 375 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 12 / 200 (565 \text{ mm}^2/\text{m} ; \text{yatay ve düşeyde})$$

H_{cr} Dışında:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 250 \times 3000 = 1875 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{1875}{2} = 937.50 \text{ mm}^2$$

$$\frac{937.50}{3.00} = 312.5 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 10 / 200 (393 \text{ mm}^2/\text{m} ; \text{yatay ve düşeyde})$$

• **P4 Perdesi İçin Uç Bölgesi Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$A_{suç} \geq 0,002 \times b_w \times l_w = 0,002 \times 300 \times 3750 = 2250 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 2962.70 \text{ kNm}$$

$$N_d = 963.37 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{963.37}{0.30 \times 3.00 \times 17000} \approx 0,06$$

$$\rightarrow w = w' < 0,03$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{2962.70}{0.30 \times 3.00^2 \times 17000} \approx 0,06$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{300 \times 3000}{365/17} = 1257.53 \text{ mm}^2$$

$$\min A_{s,uç} = 2250 \text{ mm}^2 \rightarrow 8\phi 20 (2513 \text{ mm}^2)$$

H_{cr} Dışında:

$$A_{suç} \geq 0,001 \times b_w \times l_w = 0,001 \times 250 \times 3750 = 937.5 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 511.32 \text{ kNm}$$

$$N_d = 302.96 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{302.96}{0,25 \times 3,38 \times 17000} \approx 0,02$$

$$\rightarrow w = w' < 0,03$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{511.32}{0,25 \times 3,38^2 \times 17000} \approx 0,01$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{250 \times 3380}{365/17} = 1180.68 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seçilen Donatı} \rightarrow 4\phi 20 (1257 \text{ mm}^2)$$

- **P4 Perdesi Uç Bölgelerinde Enine Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$50 \text{ mm} \leq s \leq 100 \text{ mm}$$

$$s \leq b_w / 2 = 150 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k \left(f_{ck} / f_{yw} \right)$$

$$b_k = 300 \text{ mm} ; s = 80 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 80 \times 300 (25 / 420) = 107 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 = 158 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} 107$$

$\phi 10 / 80$ uygundur.

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k \left(f_{ck} / f_{yw} \right)$$

$$b_k = 700 \text{ mm} ; s = 80 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 80 \times 700 (25 / 420) = 250 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 + 2 \times 79 (\text{çiroz}) = 316 \geq \frac{2}{3} 250 \text{ mm}^2$$

$\phi 10 / 80$ uygundur.

H_{cr} Dışında:

$$s \leq b_w ; 200 \text{ mm}$$

Perde uç bölgelerindeki enine donatı çapı ve aralığı, hiç bir zaman perde gövdesindeki yatay donatıdan az olmayacaktır. Bu koşullara göre, H_{cr} dışında $\phi 10 / 200$ enine donatı seçilmiştir.

- **P4 Perdesi İçin Kesme Güvenliği Kontrolü**

$$V_d = \frac{2729 - 665}{3.30} = 625.45 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 300 \times 3750 (0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 2123 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 300 \times 3750 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 4207.5 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

1. Kat İçin Kontrol

$$V_d = \frac{1258 - 543}{3.00} = 238.33 \text{ kN}$$

$$V_r = 2123 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

$$V_d \leq 4207.5 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

2. Kat İçin Kontrol

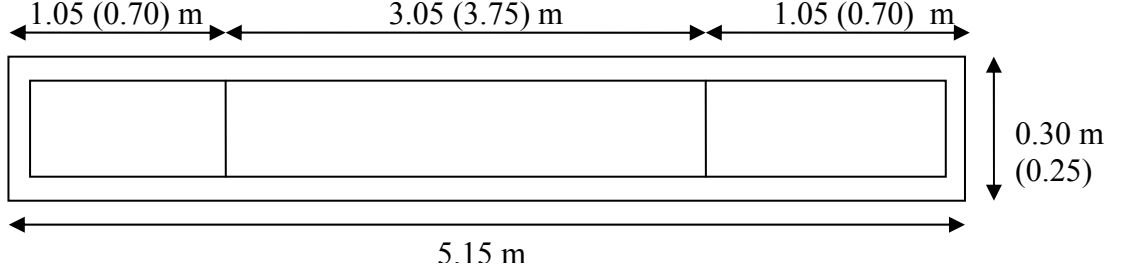
$$V_d = \frac{552.05 + 357.04}{3.00} = 303.03 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 250 \times 3750 (0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 1769.53 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 250 \times 3750 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 3506.25 \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

6.3.6.5. P5 Perdesi İçin Donatı Hesabı

P5 Perdesi boyutları Şekil 6.13'te görülmektedir. Parantez içindeki değerler H_{cr} dışındaki perde boyutlarını göstermektedir.



Şekil 6.13 P5 Perdesi Boyutları

- P5 Perdesi İçin Gövde Donatısı Hesabı

H_{cr} Boyunca:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 300 \times 3050 = 2287.50 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{2287.50}{2} = 1143.75 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1143.75}{3.05} = 375 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 12 / 200 \text{ (565 mm}^2/\text{m ; yatay ve düşeyde)}$$

H_{cr} Dışında:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 250 \times 3750 = 2343.75 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{2343.75}{2} = 1171.87 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1171.87}{3.75} = 312.5 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 10 / 200 \text{ (393 mm}^2/\text{m ; yatay ve düşeyde)}$$

• **P5 Perdesi İçin Uç Bölgesi Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$A_{suç} \geq 0,002 \times b_w \times l_w = 0,002 \times 300 \times 5150 = 3090 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 4156.80 \text{ kNm}$$

$$N_d = 946.38 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{946.38}{0.30 \times 4.10 \times 17000} \approx 0,04$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{4156.80}{0.30 \times 4.10^2 \times 17000} \approx 0,05 \rightarrow w = w' < 0,03$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{300 \times 4100}{365/17} = 1718.63 \text{ mm}^2$$

$$\min A_{s,uç} = 3090 \text{ mm}^2 \rightarrow 8\phi 24 (3619 \text{ mm}^2)$$

H_{cr} Dışında:

$$A_{suç} \geq 0,001 \times b_w \times l_w = 0,001 \times 250 \times 5150 = 1287.5 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 946.38 \text{ kNm}$$

$$N_d = 275.88 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{275.88}{0.25 \times 4.45 \times 17000} \approx 0,01$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{946.38}{0.25 \times 4.45^2 \times 17000} \approx 0,01 \rightarrow w = w' < 0,03$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{250 \times 4450}{365/17} = 1554.45 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seçilen Donatı} \rightarrow 6\phi 18 (1527 \text{ mm}^2)$$

- **P5 Perdesi Uç Bölgelerinde Enine Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$50 \text{ mm} \leq s \leq 100 \text{ mm}$$

$$s \leq b_w / 2 = 150 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k \left(f_{ck} / f_{yw} \right)$$

$$b_k = 300 \text{ mm} ; s = 60 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 60 \times 300 (25 / 420) = 80.35 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 = 158 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} 80.35$$

$\phi 10 / 80$ uygundur.

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k \left(f_{ck} / f_{yw} \right)$$

$$b_k = 1000 \text{ mm} ; s = 60 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 60 \times 1000 (25 / 420) = 267.85 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 + 2 \times 79 (\text{çiroz}) = 316 \geq \frac{2}{3} 267.85 \text{ mm}^2$$

$\phi 10 / 60$ uygundur.

H_{cr} Dışında:

$$s \leq b_w ; 200 \text{ mm}$$

Perde uç bölgelerindeki enine donatı çapı ve aralığı, hiç bir zaman perde gövdesindeki yatay donatıdan az olmayacaktır. Bu koşullara göre, H_{cr} dışında $\phi 10 / 200$ enine donatı seçilmiştir.

- **P5 Perdesi İçin Kesme Güvenliği Kontrolü**

$$V_d = \frac{4156 - 896}{3.30} = 988 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 300 \times 5150 (0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 2916 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 300 \times 5150 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 5778.3 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

1. Kat İçin Kontrol

$$V_d = \frac{2331.73 + 28.39}{3.00} = 786.71 \text{ kN}$$

$$V_r = 2916 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

$$V_d \leq 5778.3 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

2. Kat İçin Kontrol

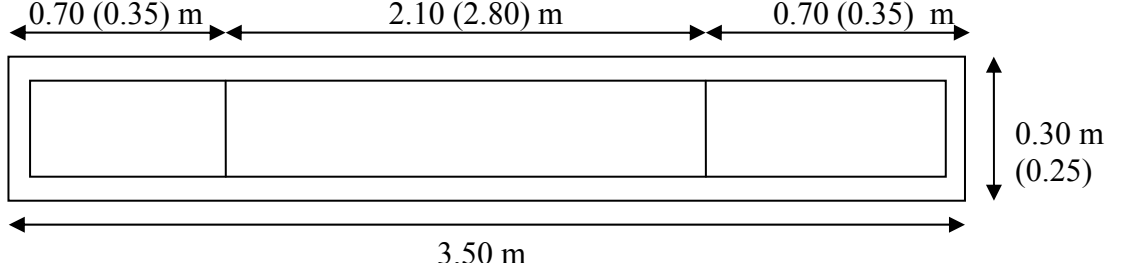
$$V_d = \frac{946.38 + 316.52}{3.00} = 420.96 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 250 \times 5150 (0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 2430.15 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 250 \times 5150 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 4815.25 \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

6.3.6.6. P6 Perdesi İçin Donatı Hesabı

P6 Perdesi boyutları Şekil 6.14'te görülmektedir. Parantez içindeki değerler H_{cr} dışındaki perde boyutlarını göstermektedir.



Şekil 6.14 P6 Perdesi Boyutları

- P6 Perdesi İçin Gövde Donatısı Hesabı

H_{cr} Boyunca:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 300 \times 2100 = 1575.50 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{1575.50}{2} = 787.50 \text{ mm}^2$$

$$\frac{787,50}{2.10} = 375 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 12 / 200 (565 \text{ mm}^2/\text{m} ; \text{yatay ve düşeyde})$$

H_{cr} Dışında:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 250 \times 2800 = 1750 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{1750}{2} = 875 \text{ mm}^2$$

$$\frac{875}{2.80} = 312.5 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 10 / 200 (393 \text{ mm}^2/\text{m} ; \text{yatay ve düşeyde})$$

• **P6 Perdesi İçin Uç Bölgesi Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$A_{suç} \geq 0,002 \times b_w \times l_w = 0,002 \times 300 \times 3500 = 2100 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 1919.75 \text{ kNm}$$

$$N_d = 542.67 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{542.67}{0.30 \times 2.80 \times 17000} \approx 0,04$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{2729.44}{0.30 \times 2.80^2 \times 17000} \approx 0,07 \rightarrow w = w' < 0,03$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{300 \times 2800}{365/17} = 1173.70 \text{ mm}^2$$

$$\min A_{s,uç} = 2250 \text{ mm}^2 \rightarrow 8\phi 20 (2513 \text{ mm}^2)$$

H_{cr} Dışında:

$$A_{suç} \geq 0,001 \times b_w \times l_w = 0,001 \times 250 \times 3750 = 937.5 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 552.05 \text{ kNm}$$

$$N_d = 269.80 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{552,05}{0,25 \times 3,38 \times 17000} \approx 0,04$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{269,80}{0,25 \times 3,38^2 \times 17000} \approx 0,01 \rightarrow w = w' < 0,03$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{250 \times 3380}{365/17} = 1180.68 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seçilen Donatı} \rightarrow 4\phi 20 (1257 \text{ mm}^2)$$

- **P6 Perdesi Uç Bölgelerinde Enine Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$50 \text{ mm} \leq s \leq 100 \text{ mm}$$

$$s \leq b_w / 2 = 150 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k \left(f_{ck} / f_{yw} \right)$$

$$b_k = 300 \text{ mm} ; s = 80 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 80 \times 300 (25 / 420) = 107 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 = 158 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} 107$$

$\phi 10 / 80$ uygundur.

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k \left(f_{ck} / f_{yw} \right)$$

$$b_k = 650 \text{ mm} ; s = 80 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 80 \times 650 (25 / 420) = 232.14 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 + 2 \times 79 (\text{çiroz}) = 316 \geq \frac{2}{3} 232.14 \text{ mm}^2$$

$\phi 10 / 80$ uygundur.

H_{cr} Dışında:

$$s \leq b_w ; 200 \text{ mm}$$

Perde uç bölgelerindeki enine donatı çapı ve aralığı, hiç bir zaman perde gövdesindeki yatay donatıdan az olmayacaktır. Bu koşullara göre, H_{cr} dışında $\phi 10 / 200$ enine donatı seçilmiştir.

- **P6 Perdesi İçin Kesme Güvenliği Kontrolü**

$$V_d = \frac{1919.75 - 383.40}{3.30} = 465.56 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 300 \times 3500(0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 1981 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 300 \times 3500 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 3927 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

1. Kat İçin Kontrol

$$V_d = \frac{799.47 + 150.60}{3.00} = 316.69 \text{ kN}$$

$$V_r = 1981 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

$$V_d \leq 3927 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

2. Kat İçin Kontrol

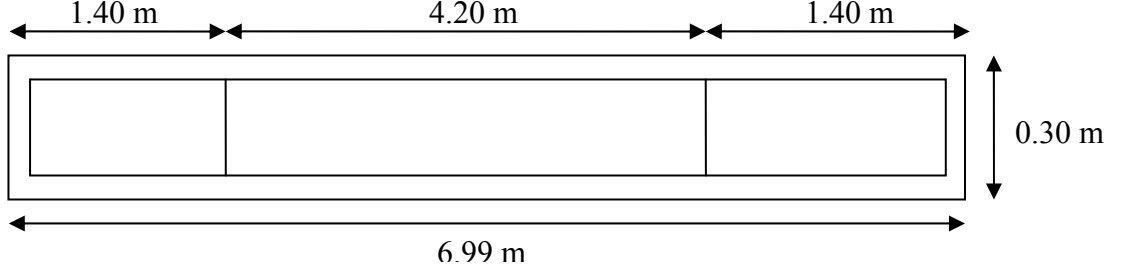
$$V_d = \frac{376.53 + 15.89}{3.00} = 130.80 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 250 \times 3500(0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 1651 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 250 \times 3500 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 3272.5 \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

6.3.6.7. P7 Perdesi İçin Donatı Hesabı

P7 Perdesi boyutları Şekil 6.15'te görülmektedir.



Şekil 6.15 P7 Perdesi Boyutları

- **P7 Perdesi İçin Gövde Donatısı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$A_{sg} = 0,0025 \times 300 \times 6990 = 5242.50 \text{ mm}^2 \text{ (yatay ve düşeyde)}$$

$$\text{Bir kenara} \rightarrow \frac{5242.50}{2} = 2621.25 \text{ mm}^2$$

$$\frac{2621.25}{6.99} = 375 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 12 / 200 \text{ (565 mm}^2/\text{m ; yatay ve düşeyde)}$$

- **P7 Perdesi İçin Uç Bölgesi Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$A_{suç} \geq 0,002 \times b_w \times l_w = 0,002 \times 300 \times 6990 = 4194 \text{ mm}^2$$

$$M_d = 9119.86 \text{ kNm}$$

$$N_d = 631.84 \text{ kN}$$

$$n_d = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{631.84}{0.30 \times 5.60 \times 17000} \approx 0,02$$

$$\rightarrow w = w' < 0,03$$

$$m_d = \frac{M_d}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{9119.86}{0.30 \times 5.60^2 \times 17000} \approx 0,05$$

$$A_s = A_s' = w \times \frac{b \times h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,03 \times \frac{300 \times 5600}{365/17} = 2347.40 \text{ mm}^2$$

$$\min A_{s,u\check{c}} = 4194 \text{ mm}^2 \rightarrow 8\phi 26 (4247 \text{ mm}^2)$$

- **P7 Perdesi U Bölgelerinde Enine Donatı Hesabı**

H_{cr} Boyunca:

$$50 \text{ mm} \leq s \leq 100 \text{ mm}$$

$$s \leq b_w / 2 = 150 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k (f_{ck} / f_{yw})$$

$$b_k = 300 \text{ mm} ; s = 50 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 50 \times 300 (25 / 420) = 66.94 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 = 158 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} 66.94$$

$\phi 10 / 80$ uygundur.

$$A_{sh} \geq 0,075 \times s \times b_k (f_{ck} / f_{yw})$$

$$b_k = 1350 \text{ mm} ; s = 50 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \geq 0,075 \times 50 \times 1350 (25 / 420) = 301.34 \text{ mm}^2$$

$$\phi 10 \rightarrow A_0 = 79 \text{ mm}^2 ; n = 2 \text{ kollu etriye}$$

$$2 \times 79 + 2 \times 79 (\text{iroz}) = 316 \geq \frac{2}{3} 301.34 \text{ mm}^2$$

$\phi 10 / 50$ uygundur.

- **P7 Perdesi İçin Kesme Güvenliği Kontrolü**

$$V_d = \frac{9119.86 - 3967.75}{3.30} = 1561.24 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 300 \times 6990(0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 3958 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 300 \times 6990 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 7842.78 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

1. Kat İçin Kontrol

$$V_d = \frac{4460.54 - 841.77}{3.00} = 1206.25 \text{ kN}$$

$$V_r = 3958 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

$$V_d \leq 7842.78 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır}$$

2. Kat İçin Kontrol

$$V_d = \frac{1414.39 - 491.35}{3.00} = 307.68 \text{ kN}$$

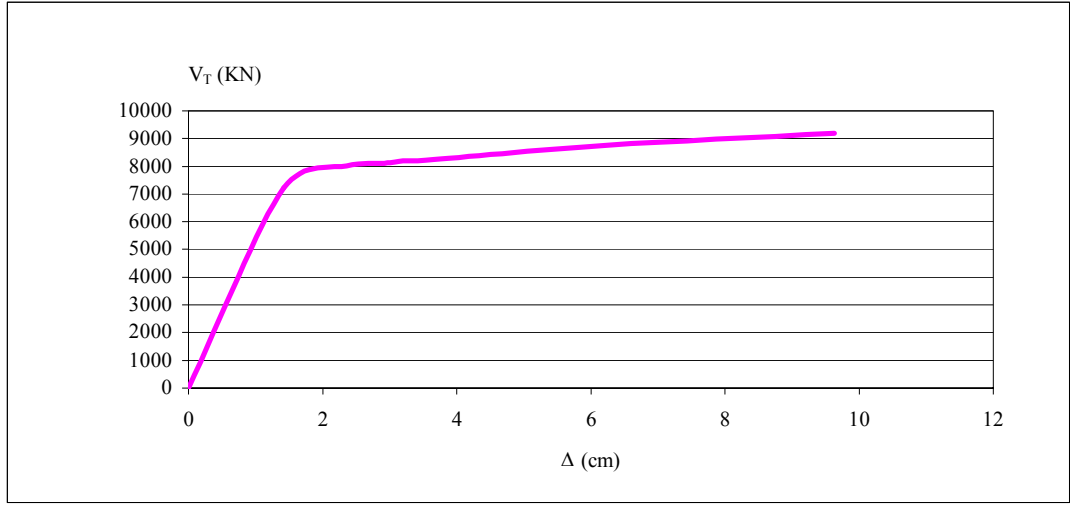
$$\begin{aligned} V_r &= A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{yd}) \\ &= 250 \times 6990(0.65 \times 0.0015 + 0.0025 \times 0.365) \\ &= 3298.4 \text{ kN} \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &\leq 0.22A_{ch}f_{cd} \\ &\leq 0.22 \times 250 \times 6990 \times 17 \times 10^{-3} \\ &\leq 6535.65 \rightarrow \text{Koşul sağlanmaktadır} \end{aligned}$$

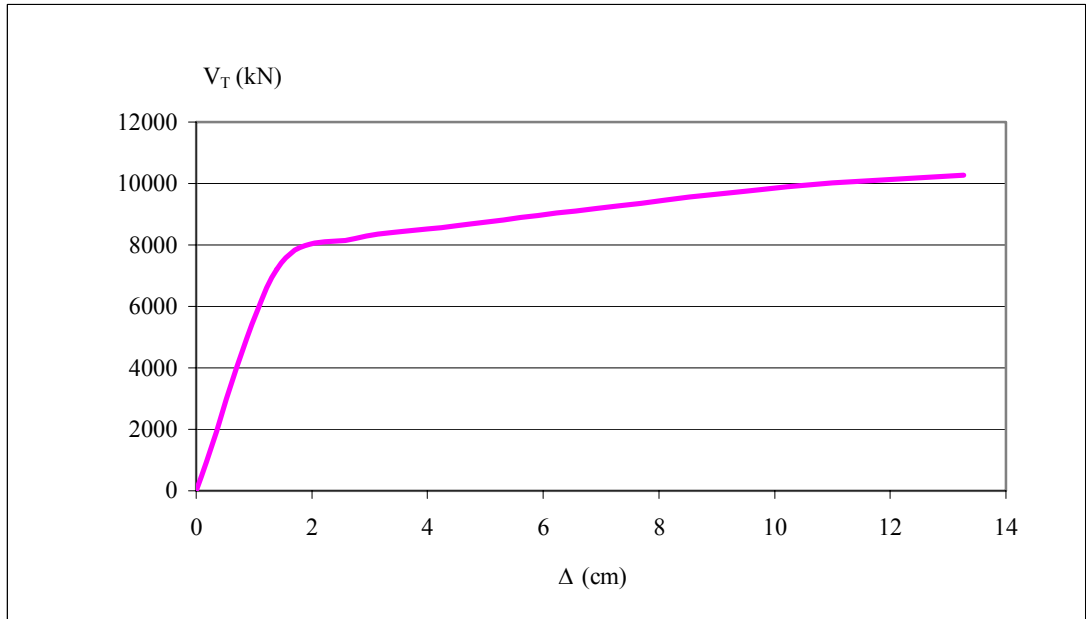
6.3.7. Doğrusal Olmayan İtme Analizi İle Güçlendirilmiş Sistemin Çözülmesi

Bölüm 6.2.9’da anlatılan adımlar takip edilerek güçlendirilmiş sistem için doğrusal olmayan itme analizi yapılmıştır.

X ve Y doğrultularında itme yükü ile yatay yerdeğiştirme arasındaki ilişki Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de görülmektedir. Çözüm incelendiğinde sistemin daha önce olduğu gibi elastik ve ardından pekleşen plastik davranış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 6.16 X Doğrultusu İtme – Yatay Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 6.17 Y Doğrultusu İtme – Yatay Yerdeğiştirme Grafiği

Elde edilen grafiklerle elastik davranışın bitip pekleşen plastik davranışın başladığı görülmektedir. Taban kesme kuvveti değeri V_{ty} ve yatay yük taşıma kapasitesine erişilen taban kesme kuvveti değeri V_{tu} yaklaşık olarak belirlenmiştir. x ve y doğrultuları için ayrı ayrı incelenen bu değerler Tablo 6.27’de gösterilmektedir. Bunun yanı sıra tabloda binanın en üst katında seçilen bir kontrol noktası için yerdeğiştirme değerleri de verilmiştir.

Tablo 6.27 x ve y Doğrultuları İçin Yatay Yük Taşıma Kapasiteleri

x Doğrultusunda Statik İtme Analizi					
V_{tx} (kN)	V_{tx}/W	Yerdeğiştirme (mm)	V_{tu} (kN)	V_{tu}/W	Yerdeğiştirme (mm)
7126	0,31	13,46	9211	0,40	97,39
y Doğrultusunda Statik İtme Analizi					
V_{ty}	V_{ty}/W	Yerdeğiştirme (mm)	V_{tu}	V_{tu}/W	Yerdeğiştirme (mm)
7442	0,32	18,13	10178	0,44	132,87

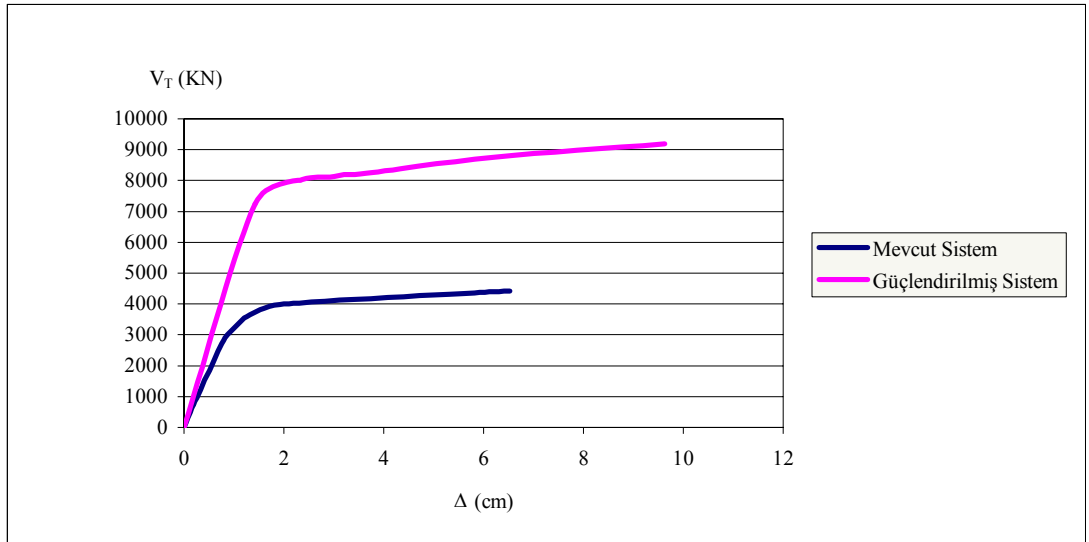
6.3.8. Güçlendirilmiş Sistem Hakkındaki Sonuçlar

Güçlendirilmiş sistem için daha önce mevcut sistemde yapıldığı gibi görelî kat ötelemeleri kontrolü, A1 burulma düzensizliği kontrolü, B1 zayıf kat kontrolü, B2 yumuşak kat kontrolü ve zemin kat kolon kapasiteleri kontrolü yapılmıştır. Betonarme perdelerle güçlendirilmiş sistemin yapılan tüm kontrollerde istenilen koşulları sağladığı görülmüştür. Özellikle deprem kuvvetlerinden kaynaklanan etkilerin perdeler tarafından karşılanması sonucu zemin kattaki taşıma kapasitesi az olan kolonlara gelen etkilerin bu kapasiteyi aşmadığı gözlenmektedir.

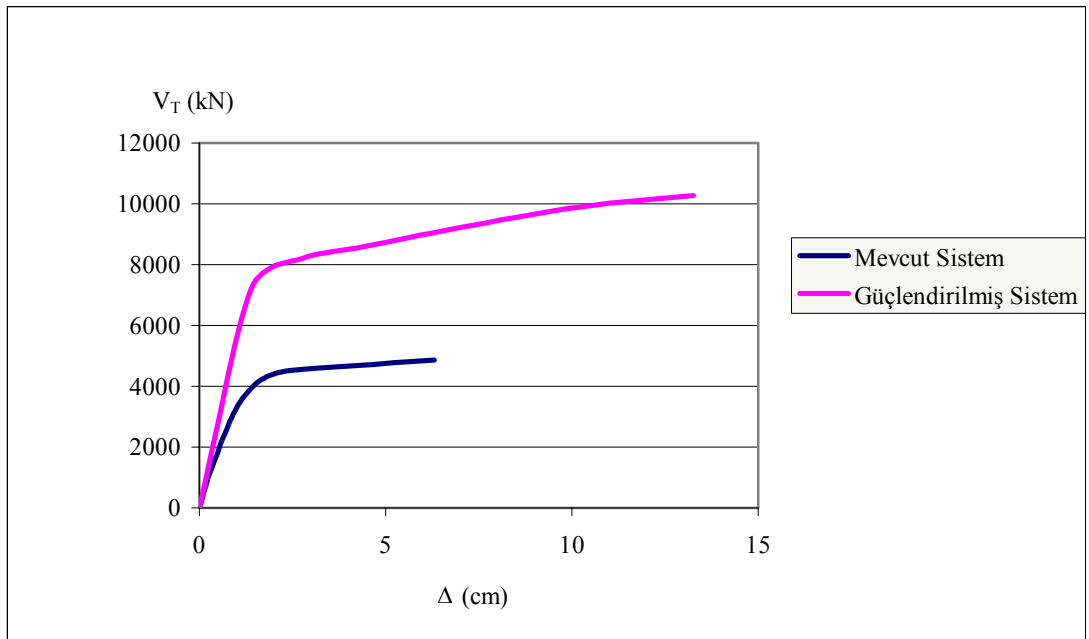
Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının x ve y doğrultularındaki deprem kuvveti taşıma kapasitelerinin de yeterli derecede arttığı görülmektedir. Perdelerle güçlendirilmiş yapı için statik deprem kuvveti 0.15W nispetinde hesaplanırken, x doğrultusundaki yatay yük taşıma kapasitesi 0.31W , y doğrultusundaki yatay yük taşıma kapasitesi ise 0.32W mertebesine çıkartılmıştır.

6.3.9. Mevcut Sistem İle Güçlendirilmiş Sistemin Karşılaştırılması

Mevcut sistem ile güçlendirilmiş sistemin doğrusal olmayan itme analizi sonuçlarına göre deprem performansları karşılaştırılmıştır. x ve y doğrultularında itme yükü ile yatay yerdeğiştirme arasındaki ilişki Şekil 6.18 ve Şekil 6.19’da görülmektedir. Betonarme perdeler ilave edilerek güçlendirilen sistemin yatay yük taşıma kapasitesinin arttığı görülmektedir. Bunun yanı sıra yapının rijitliğinin artırılması, elastik bölgeyi temsil eden eğrinin eğiminin artmasına sebep olmuştur.



Şekil 6.18 x Doğrultusu İtme – Yatay Yerdeğiştirme Grafiği



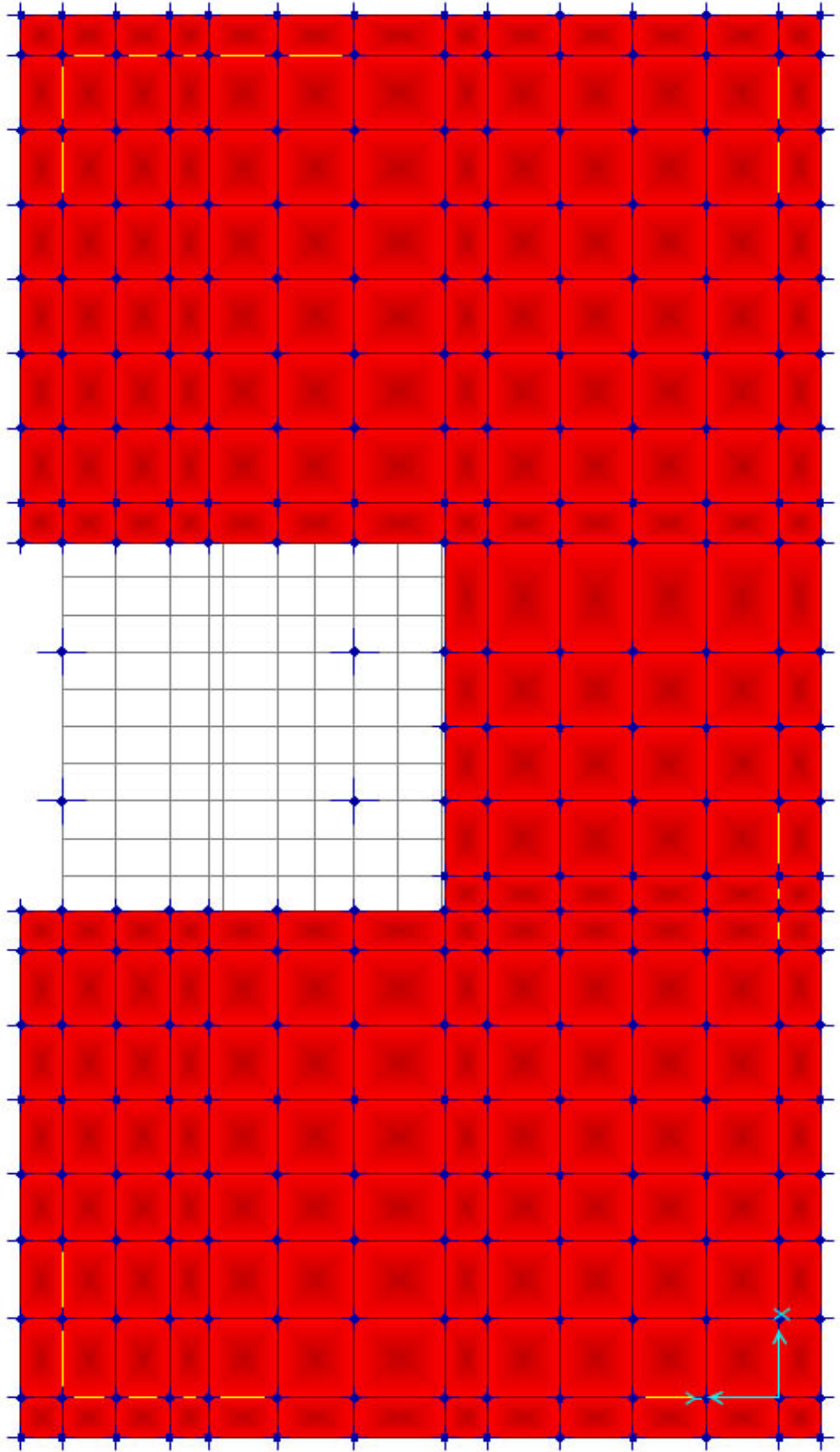
Şekil 6.19 y Doğrultusu İtme – Yatay Yerdeğiştirme Grafiği

6.3.10. Temel Güçlendirmesi

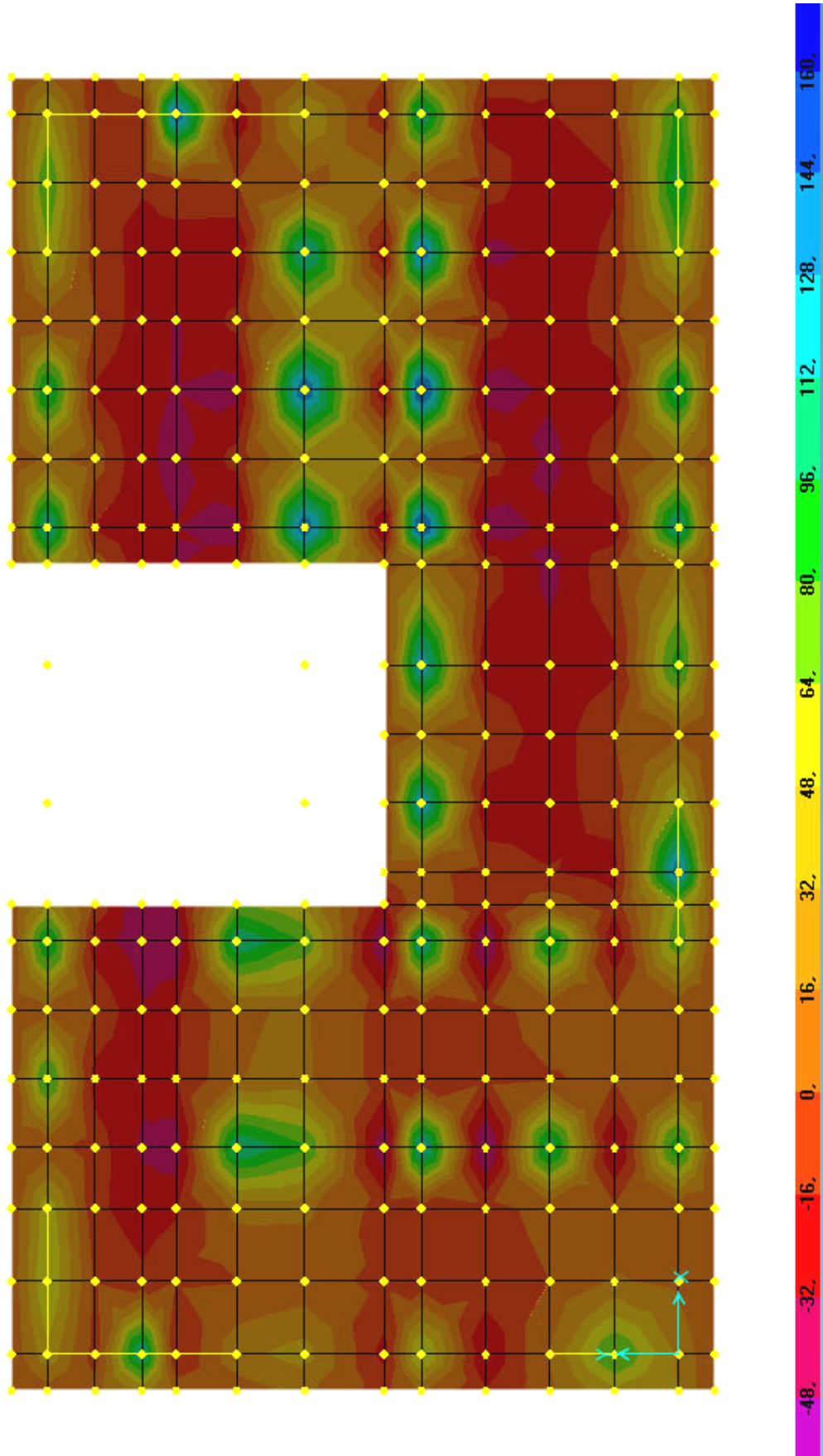
Mevcut binanın temeli hakkında veri sahibi olunmamakla beraber, güçlendirme uygulamasındaki bütünlüğün sağlanması amacıyla temel güçlendirmesi konusunda da bir uygulamaya yer verilmiştir.

1 m'lik ampatman boyuna ve 50 cm yüksekliğinde kirişsiz radye temel olarak düşünülen temel sistemi SAP2000 programı yardımıyla çözülmüştür. Yatak katsayısı olarak 100000 kN/m^3 alınmıştır. Radye uygun sayıda ve boyutta kabuk elemanlardan oluşacak şekilde modellenmiştir. Kabuk elemanların birleşim yerlerini oluşturan düğüm noktalarının x ve y doğrultularındaki yerdeğiştirmeleri tutulmuş, z eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirmeleri serbest bırakılmıştır. Ayrıca tüm düğüm noktaları x ve y eksenleri etrafında dönme yapabilir şekilde mesnetlenerek plak davranışı tanımlanmıştır. Elastik zemine oturan plaklar, düğüm noktalarına yerleştirilecek yaylar ile temsil edilecektir. Yay katsayıları, düğüm noktasındaki etkili alan ile zemin yatak katsayısı çarpılarak bulunur. Her düğüm noktasındaki etkili alan, o düğüm noktasına komşu olan sonlu elemanların alanlarının $\frac{1}{4}$ 'lerinin toplamıdır. Modelleme sırasında sonlu eleman alanlarının boyutlarının mümkün olduğunca birbirlerine yakın olmasına dikkat edilmiş, böylece toplam radye alanı ile yatak katsayısının toplam düğüm noktasına bölünmesiyle tüm sistemde uygulanabilecek yay katsayılarının yaklaşık bir şekilde bulunması mümkün olmuştur. Perdelerin altına gelecek kısımlara rijitliği çok yüksek kirişler yerleştirilerek modelleme tamamlanmıştır. SAP2000'de oluşturulan model Şekil 6.20'de görülmektedir.

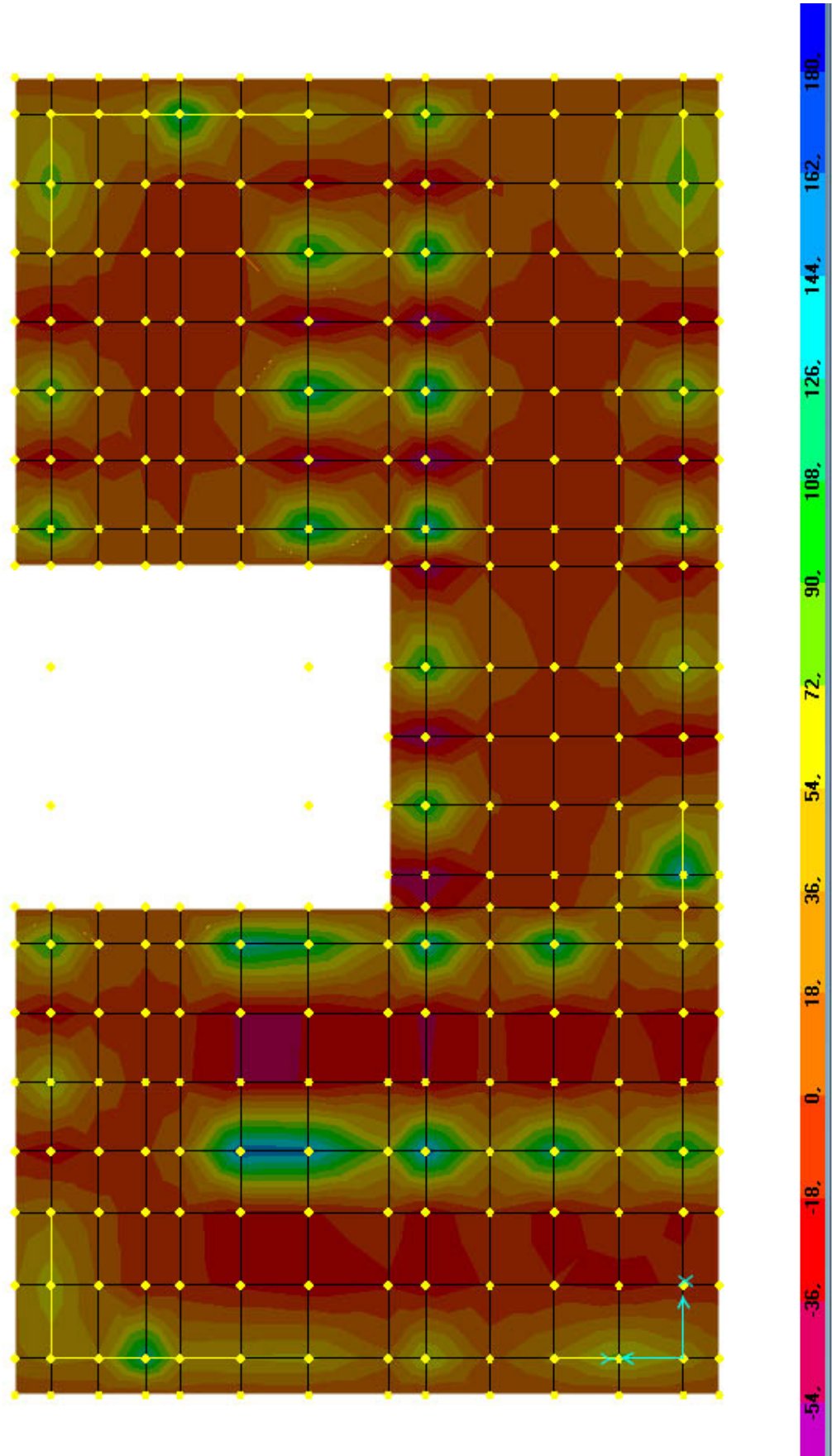
Radye modeli daha önce kullanılan sistem modeli altında oluşturulduğu için düğüm noktalarına kolon ve perdelerden gelecek yüklerin herhangi bir işleme gerek kalmadan uygulanması mümkün olmuştur. Sistem çözülerek en elverişsiz yükleme kombinasyonu sonucunda ortaya çıkacak moment kontur diyagramları elde edilmiştir. Sistemin x eksenini etrafındaki eğilme moment değerlerini gösteren diyagram Şekil 6.21'de, y eksenini etrafındaki eğilme moment değerlerini gösteren diyagram ise Şekil 6.22'de gösterilmektedir.



Şekil 6.20 SAP2000’de Oluşturulan Radye Modeli



Şekil 6.21 x Eksenine Etrafındaki Eğilme Moment Kontur Diyagramı



Şekil 6.22 y Eksenine Etrafındaki Eğilme Momenti Kontur Diyagramı

Radye donatı hesabı için 50 cm'lik radye temelde kullanılacak minimum donatı miktarı hesaplanmıştır. Faydalı yükseklik x doğrultusu için $d=0.45$ m , y doğrultusu için $d=0.43$ m alınmıştır. İki yönde minimum donatı hesabı için Denklem 6.23 kullanılmıştır.

$$A_{s,min} = 0.0035 \times b_w \times d_{ort} \quad (6.23)$$

Buna göre;

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= 0.0035 \times 1000 \times 440 \\ &= 1540 \text{ mm}^2 / \text{m} \end{aligned}$$

Bir doğrultuda $770 \text{ mm}^2 / \text{m}$ donatı $\rightarrow \phi 14/200$

Minimum donatının taşıyabileceği eğilme moment değerleri tablolar yardımıyla x doğrultusu için 122 kNm, y doğrultusu için ise 117 kNm olarak bulunmuştur. Moment kontur diyagramları incelendiğinde ve gerekli moment düzeltmeleri yapıldığında minimum donatı miktarının neredeyse radyenin tamamında yeterli olduğu görülmüştür. Minimum donatının yetersiz kaldığı mesnet bölgeleri ve ek donatı miktarları Tablo 6.28'de gösterilmiştir.

Tablo 6.28 Radye Ek Donatıları

Akslar	M_d (kNm)	A_s (mm^2/m)	Mevcut Donatı (mm^2/m)	Ek Donatı (mm^2/m)
1 Aksı – F-E Aksları	133	881	770	$\phi 12/200$ (565)
3 Aksı – E-D Aksları	160	1068	770	$\phi 12/200$ (565)
11 Aksı – F-E Aksları	146	896	770	$\phi 12/200$ (565)
D Aksı – 8-9 Aksları	149	905	770	$\phi 12/200$ (565)
D Aksı – 9-10 Aksları	147	908	770	$\phi 12/200$ (565)
C Aksı – 8-9 Aksları	161	992	770	$\phi 12/200$ (565)
C Aksı 9-10 Aksları	162	996	770	$\phi 12/200$ (565)

7. SONUÇLAR

Mevcut yapıların deprem analizinde kullanılabilecek lineer elastik yöntemler yapının elastik kapasitesi ve yapı elemanlarında gözlenecek ilk akmanın yeri gibi konularda mühendise fikir verebilmektedir. Ancak bu çeşit bir hesap yöntemiyle yapıda meydana gelebilecek mekanizma durumları, akma olayı sırasında yapı elemanları üzerindeki kuvvet dağılımları ve göçme durumunun hangi koşullarda meydana gelebileceği incelenememektedir. Lineer olmayan hesap yöntemlerinin kullanılması ile söz konusu dezavantajların önüne geçilebilmekte, yapının göçme anına kadar olan davranışının ve oluşabilecek mekanizma durumlarının incelenebilmesi mümkün olmaktadır.

Son yıllarda elastik olmayan çözüm yöntemleri arasında yer alan “Lineer Olmayan İtme Analizi” ve buna bağlı olarak oluşturulan “Performans Analizi” konuları üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmış böylece yapıların deprem sırasındaki davranışlarının incelenmesi olanaklı hale gelmiştir. FEMA ve ATC kurumlarının yaptıkları araştırmalar sonucu yayımladıkları FEMA 273/356 ve ATC – 40 raporları bu konuda yapılan en kapsamlı çalışmalardır.

Performansa dayalı analizin en önemli özelliği mühendise bir yapının deprem sırasındaki davranışını gerçekçi bir şekilde sunabilmesidir. Bu analiz yöntemi, sismik yükler altındaki yapının elastik ötesi davranışının belirlenmesi, yapıda meydana gelebilecek mekanizma durumları ve bunların sırası, yapıda deprem sonrasında gözlenecek kapasite kayıplarının yaklaşık bir şekilde belirlenmesi ve deprem sonrasında gerekebilecek doğru güçlendirme stratejisinin verimli bir şekilde elde edilmesi gibi konularda mühendise çok önemli bilgiler sunabilmektedir.

Performansa dayalı analiz çok önemli avantajları beraberinde getirir de bir takım kusurları da bünyesinde barındırmaktadır. Tavsiye edilen prosedürler oldukça yeni olduğundan geleneksel yöntemlerle çalışmaya alışmış mühendisler açısından geçiş

problemleri yaşanabilir. Yöntemin içerdiği kabuller, iyileştirmeler ve tahmini hesap yollarının doğru bir biçimde kullanılabilmesi için mühendisin oldukça deneyimli olması gerekmektedir. Deneysel ve teorik veri eksikliği sebebiyle yapıyı oluşturan bileşenlerin modellenmesi her zaman gerçeği yansıtmıyor olabilmektedir. Lineer olmayan analiz yapabilen bilgisayar programları tam manasıyla yaygınlaşmış değildir. Performansa dayalı analiz yöntemleri henüz tam oturmamış olduğu ve gün geçtikçe geliştiği için yöntemin esasları bilgisayar programlarına tam olarak uyarlanmış değildir. Lineer olmayan statik analiz yöntemlerinin sismik etki altındaki yapılar hakkında çok değerli bilgiler verdiği kabul edilmekle birlikte analizin formatı konusunda tam bir fikir birliğine varılabilmiş değildir. Bazıları ADRS formatının fazla karmaşık olduğunu öne sürmüş, aynı konsepti kullanan alternatif yollar önermişlerdir (Powell, 1996). Lineer olmayan yöntemler yapıdaki yüksek mod etkileri tam manasıyla yönetime adapte edilemediğinden bununla ilgili araştırmalar hala sürmektedir. Deprem sonrasında yapı rijitliğinde, sönümünde ve dayanımında meydana gelebilecek azalmalar hala tahmini yaklaşık değerler olarak verilebilmektedir.

Performansa dayalı analizin yukarıda sayılan tüm dezavantajlara karşın mühendise çok önemli getirileri olduğu yadsınamaz. Performansa dayalı analiz yönteminin gitgide daha yaygın olarak kullanılması ve sürekli geliştirilmesi sebebiyle ileride çok daha sağlam temellere oturan bir yöntem haline geleceği düşünülmektedir.

Doğrusal olmayan statik itme analizi yönteminin uygulaması Bingöl 2003 depreminde hasar gören ve yıkılan Bingöl Yatılı İlköğretim Bölge Okulu üzerinde yapılmıştır. Mevcut bina sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde SAP2000 ve Response 2000 programları kullanılmıştır. Bina için görelî kat ötelemeleri, burulma düzensizliği, yumuşak ve zayıf kat kontrolleri yapılmış ve bunlardan bazılarının sağlanamadığı gözlenmiştir. Yapılan kolon taşıma kapasiteleri kontrolünde ise kolon kapasitelerinin yatay yük taşıma kapasitelerinin yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda yapının her iki deprem doğrultusunda da yatay yük taşıma kapasitesinin yetersiz olduğu görülmüştür.

Bir sonraki aşamada bina için bir güçlendirme çalışması yapılmış, ve yöntem olarak taşıyıcı sistem betonarme perdelerle güçlendirilmiştir. Mevcut bina için yapılan

kontroller güçlendirilmiş sistem üzerinde de uygulanmış, sonuç olarak tüm koşulların sağlandığı, bina yatay yük taşıma kapasitesinin yeter derecede arttırıldığı gözlenmiştir.

Daha önce de bahsedildiği gibi böyle bir yapının projesinin 2. derece deprem bölgesi ve 1975 tarihli yönetmeliğe göre yapılmış olması 6.1 büyüklüğünde bir depremde yıkılması gerektirmemektedir. Afet bölgesinde yapılan incelemeler böyle bir durumun ortaya çıkmasındaki en belirleyici etkenin kullanılan malzemenin kalitesizliği ve işçiliğin özensizliği olduğunu göstermiştir.

Türkiye'nin jeolojik durumu incelendiğinde bir deprem ülkesi olduğu rahatlıkla görülebilmektedir. Deprem etkisinin en önemli özelliği meydana gelebilecek can kayıplarının neredeyse hepsinin insanlar tarafından inşa edilen yapıların davranışı ile ilgili olmasıdır. Meydana gelebilecek bir deprem afeti sonrasında ortaya çıkabilecek hasar maliyeti, deprem öncesinde önlem amacıyla yapılacak harcamaların yanında çok büyük mertebelere çıkabilmektedir. Meydana gelebilecek depremlerin hangi büyüklükte veya hangi yılda olabileceği ile ilgili olasılık hesaplarının yanı sıra ülkemizde yapı güvenliği kavramının da ön plana çıkarılması ve önlem alma bilincinin geliştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Bayülke, N., Kuran, F., Doğan, A., Kocaman, C., Memiş, H., Soyak, L.,** 2003. Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan İtme Analizleri ve Deprem Hasarı ile Karşılaştırılması, *5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Mayıs 2003.
- [2] **Özer, E.,** 2002 – 2003 Bahar Yarıyılı Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları.
- [3] **Applied Technology Council, ATC – 40,** 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vol. I, Redwood City, California, USA.
- [4] **Federal Emergency Management Agency, FEMA 273/356,** 1996a. Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings, Vol. I, Redwood City, California, USA.
- [5] **Aydoğan, M.,** 2000. Betonarme Binalarda Onarım ve Güçlendirme Sistemleri ve Tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi.
- [6] **Celep, Z., Kumbasar, N.,** 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [7] **Celep, Z., Kumbasar, N.,** 2001. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [8] **Celep, Z.,** 2000. Deprem Etkisi ve Performans Kavramı: Deprem Etkisindeki Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesinde Performans Kavramı, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- [9] **Sağlamer, A.,** 2003. 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Mühendislik Raporu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı ve Deprem Uygulama Araştırma Merkezi, İTÜ Press, İstanbul.
- [10] **Celep, Z.,** 2003. Bingöl Yatılı Bölge İlköğretim Okulu'nun Deprem Güvenliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [11] **Kuran, F., Bayülke, N., Kocaman, C.,** 2004. 1502 Tipi Afet Konutunun Nonlinear Statik İtme Analizi ve Deprem Hasarının Karşılınması, *Beton 2004 Kongresi*, İstanbul, Haziran 2004.
- [12] **Response 2000,** v.1.05, Reinforced Concrete Sectional Analysis, <http://www.ecf.utoronto.ca/~bentz/home.shtml>

- [13] **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- [14] **Structural Engineers Association of California**, SEAOC., 1990. Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, Sacramento, California, USA.
- [15] **Türk Standartları Enstitüsü**, 2000. TS – 500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Ankara.
- [16] **CSI Inc.**, 1999. SAP2000 Basic Analysis Reference, California, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Ekin Şentürk, 1980 yılında İstanbul’da doğdu. Orta ve lise öğrenimini Bursa Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 1998 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne girdi. 2002 yılında lisans öğrenimini tamamlayarak aynı yıl İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Anabilimdalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. O tarihten bu yana yüksek lisans çalışmasını sürdürmektedir.