

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BİR BİNANIN PROJELENDİRİLİP
DEPREM YÜKÜ KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Hakan US

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı Mühendisliği

MAYIS 2005

**MEVCUT BİR BİNANIN PROJELENDİRİLİP
DEPREM YÜKÜ KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Müh. Hakan US
501021080**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 6 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2005**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Zekai CELEP
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Zekeriya POLAT (Y.T.Ü.)
Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK**

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans Tezi çalışmasında, beton sınıfı ve donatı oranı değişikliği altında yapının kapasitesinin değişiminin parametrik değişiminin incelenmesi ve 1975 ABYYHY'e göre inşaa edildiği varsayılan bir tip okul yapısının 1998 ABYYHY'e göre doğrusal olmayan statik itme çözümlemesi ve performans metodu ile değerlendirilmesi sunulmaktadır.

Bu tez çalışmam sırasında, bilgisini esirgemeyen Ar. Gör. İdris BEDİRHANOĞLU'na, İnş. Yük. Müh. Cem ÖZER'e, Dr. Kutlu DARILMAZ'a ve değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan, bana sabır gösteren danışmanım Prof. Dr. Zekai CELEP'e,

Eğitim hayatım boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme; gösterdikleri sabır ve hoşgörü için,

Teşekkür ederim.

Mayıs 2005

Hakan US

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. DEPREM.....	3
3. BETONARME MALZEME	5
3.1. Beton ve Davranışı	5
3.2. Çelik ve Davranışı	5
3.3. İdeal Elastoplastik Kabul.....	6
4. SÜNEKLİK KAVRAMI	7
4.1. Betonda Süneklik ve Betonarme Elemanlarda Sargı Etkisi	7
4.2. Çelikte Süneklik	8
4.3. Yapı Elemanlarında Süneklik	9
4.3.1. Basit eğilme etkisi	9
4.3.2. Normal kuvvet etkisi	9
4.4. Yapı Sistemlerinde Süneklik	10
5. PERFORMANS METODU	11
5.3. Deprem Etki Seviyesi	11
5.2. Performans Seviyeleri	12
5.2.1. Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri.....	12
5.2.2. Taşıyıcı olmayan Elemanların performans seviyeleri	13
5.2.3. Bina performans seviyeleri.....	15
5.3. Performans Hedefinin Belirlenmesi	17
5.4. Temel Güvenlik Hedefi	18
6. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ	19
6.1. Giriş	19
6.1.1. Temel kavramlar.....	19
6.2. Plastik Mafsal Kabulü	20
6.3. Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri.....	21
6.3.1. Elastik karşılık spektrumu'nun oluşturulması.....	22
6.3.2. Kapasite eğrisinin oluşturulması	28
6.3.3. Sismik talebin belirlenmesi	29

6.3.4. Kapasite spektrumu yöntemi ile sismik talebin belirlenmesi	30
6.3.4.1. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi.....	30
6.3.4.2. Elastik karşılık spektrumunun ve kapasite spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi	32
6.3.4.3. Kapasite spektrumunun ideal hale getirilmesi.....	34
6.3.4.4. Sönüm değerinin tahmini ve % 5 sönümlü talep spektrumu'nun indirgenmesi	35
6.3.4.5. Kapasite spektrumu ve talep spektrumu'nun kesiştirilmesi.....	37
6.3.5. Performans noktasının belirlenmesi	38
6.3.5.1. Performans noktasının bulunması için A yöntemi	38
7. SINIR DURUMLARI.....	39
7.1. Giriş	39
7.2. Beklenen Performansı Tanımlayan Sınırlar	39
7.3. Bina Kabul Sınırları.....	41
7.3.1. Düşey yükler.....	41
7.3.2. Yatay yükler	42
7.3.3. Yatay yer değiştirmeler	42
7.4. Eleman Kabul Sınırları	43
7.4.1. Birincil ve ikincil elemanlar	43
7.4.2. Eleman şekil değiştirme kapasitesi.....	43
7.4.3. Çerçeve sistemler.....	43
7.4.3.1. Kolon-kiriş çerçeveler	43
7.4.3.2. Döşeme-kolon çerçeveler	44
7.4.4. Perdeli sistemler	44
7.4.4.1. Boşluksuz perdeler	44
7.4.4.2. Perde ve çerçeveler.....	45
7.4.5. Performans kriteri uygunluk tabloları	45
8. 1975 ve 1998 DEPREM YÖNETMELİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	46
8.1. Giriş	46
8.1. Yapının Genel Davranışı	46
8.2. Yapısal Düzensizlik Kavramı	47
8.4. Deprem Bölgesi Belirlenmesi Kavramı	47
8.4.1. Etkin yer ivmesi katsayısı	47
8.4.2. Bina önem katsayısı.....	49
8.4.3. Hareketli yük katsayısı	50
8.4.4. Spektrum katsayısı	50
8.5. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	51
8.6. Deprem Yüğü hesap Yöntemleri	53
8.7. Betonarme Yapılar İçin Kurallar	54
8.7.1. Döşemeler.....	54
8.7.2. Kirişler.....	54
8.7.3. Kolonlar	54
8.7.4. Kiriş kolon birleşim bölgeleri.....	55
8.7.5. Perdeler.....	55
8.7.5. Temeller.....	55
9. STATİK İTME ANALİZİ İÇİN TAŞIYICI SİSTEMİN BİLGİSAYARDA MODELLENMESİ	56
9.1. Esaslar.....	56
9.2. Kabuller	57

9.3. Section Designer Programı	58
9.3.1. Section designer programdaki hatalar	58
9.3.2. Prof. Anil CHOPRA'ya yazılan mektup ve cevabı	61
10. MEVCUT BİNANIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİ	63
10.1. Amaç	63
10.2. İncelenen Yapının Tanımı	63
10.3. Mevcut Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi	63
10.3.1. Giriş	63
10.3.2. Genel yapı bilgileri	65
10.3.3. Sistemin ETABS bilgisayar programında modellenmesi	66
10.3.4. Eşdeğer deprem yükü analizi.....	68
10.3.4.1. 1975 Yönetmeliğine göre hesap	68
10.3.4.2. 1998 Yönetmeliğine göre hesap	69
10.3.5. Sistemin çözülmesi ve sonuçların incelenmesi	70
10.4. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi İle Mevcut Sistemin Çözülmesi.....	71
10.4.1. Plastik mafsallık özelliklerinin elde edilmesi ve kesitlere aktarılması	71
10.4.2. Düşey ve yatay pushover tanımlaması	75
10.4.3. Elastik deprem spektrumunun belirlenmesi	77
10.4.4. Doğrusal olmayan statik İtme analizi sonuçları	79
10.5. Statik İtme Analizi Kontrolleri.....	83
10.5.1. Yer değiştire kontrolü	83
10.5.2. Mafsalda dönme Kontrolü	84
10.5.2.1. Donatısı tam yerleştirilmiş sistemlerin mafsallık kontrolü.....	84
10.5.2.2. Donatısı yarım yerleştirilmiş sistemlerin mafsallık kontrolü	87
10.6. Mevcut Bina Hakkında Sonuçlar ve Yorumlar	91
11. MEVCUT BİNANIN GÜÇLENDİRİLMESİ	92
11.1. Amaç.....	92
11.2. Yapının Çözümünde Değişen Parametrelerin Hesabı	92
11.2.1. 1998 deprem yönetmeliğine göre hesabı	92
11.2.2. Değişen parametreler doğrultusunda $Z \times E \times N$ hesabı	92
11.3. Güçlendirilmiş Yapının statik İtme Analizi Sonucu.....	93
11.4. Yapının Güçlendirilme Çalışması	94
11.5. Güçlendirilmemiş ve Güçlendirilmiş Yapının Sonuçları	96
11.5.1. Statik analiz sonuçları.....	96
11.5.2. Statik itme analizi sonuçları	96
12. SONUÇLAR.....	97
13. EKLER.....	98
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ	104

KISALTMALAR

SE	: Serviceability Earthquake
DE	: Design Earthquake
ME	: Maximum Earthquake
TGD	: Temel Güvenlik Depremi
SP	: Structural Performance
NP	: Nonstructural Performance
ATC	: Applied Technology Council
ADRS	: Acceleration Displacement Response Spectra
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
IO	: Immediate Occupancy
LS	: Life Safety
SS	: Structural Stability
EPA	: Effective Peak Acceleration

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1. Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri.....	13
Tablo 5.2. Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri	14
Tablo 5.3. Bina performans seviyeleri ve aralıkları	16
Tablo 5.4. Performans hedefinin belirlenmesi	17
Tablo 5.5. Çoklu performans hedefinin belirlenmesi	17
Tablo 5.6. Temel güvenlik hedefi	18
Tablo 6.1. Zemin sınıflarının tanımı	24
Tablo 6.2. C_A Deprem katsayısı tablosu	24
Tablo 6.3. C_v Deprem katsayısı tablosu	25
Tablo 6.4. Sismik bölge katsayısı, Z	25
Tablo 6.5. Deprem etki seviyesi katsayısı, E	25
Tablo 6.6. Deprem kaynağı yakınlık katsayısı, N	26
Tablo 6.7. Zemin spektrum karakteristik periyotlarının belirlenmesi.....	27
Tablo 7.1. Taşıyıcı elemanlar için performans - hasar tablosu	40
Tablo 7.2. Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans - hasar tablosu	41
Tablo 7.3. Yatay rölatif yer değiştirme sınırları	42
Tablo 8.1. Düzensiz binalar, ABYYHY 1998	48
Tablo 8.2. Etkin yer ivmesi katsayısı A_0 , ABYYHY 1998.....	49
Tablo 8.3. Deprem bölge katsayısı C_0 , ABYYHY 1975	49
Tablo 8.4. Bina önem katsayısı, ABYYHY 1975	49
Tablo 8.5. Bina önem katsayısı, ABYYHY 1998	50
Tablo 8.6. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ABYYHY 1998.....	52
Tablo 8.7. Yapı tipi katsayısı (K) ABYYHY 1975	53
Tablo10.1. 1975 Deprem yönetmeliğine göre deprem yükü hesabı	68
Tablo10.2. 1998 Deprem yönetmeliğine göre deprem yükü hesabı.....	70
Tablo10.3. Parametrik analiz sonucunda yapı periyotları	70
Tablo10.4. Yapı tipi belirleme tablosu	78
Tablo10.5. Donatısı tam parametrik çalışma sonuçları.....	82
Tablo10.6. Donatısı yarım parametrik çalışma sonuçları	83
Tablo10.7. Parametrik çalışmanın yer değiştirme kontrolü tablosu.....	83
Tablo10.8. C14 betonu ile PushX analizinde mafsallık kontrolü.....	84
Tablo10.9. C14 betonu ile PushY analizinde mafsallık kontrolü	84
Tablo10.10. C16 betonu ile PushX analizinde mafsallık kontrolü.....	85
Tablo10.11. C16 betonu ile PushY analizinde mafsallık kontrolü	85
Tablo10.12. C20 betonu ile PushX analizinde mafsallık kontrolü.....	85
Tablo10.13. C20 betonu ile PushY analizinde mafsallık kontrolü	86
Tablo10.14. C25 betonu ile PushX analizinde mafsallık kontrolü.....	86
Tablo10.15. C25 betonu ile PushY analizinde mafsallık kontrolü	86
Tablo10.16. C30 betonu ile PushX analizinde mafsallık kontrolü.....	87
Tablo10.17. C30 betonu ile PushY analizinde mafsallık kontrolü	87

Tablo10.18.	C14 betonu ile PushX analizinde mafsalsal kontrolü.....	87
Tablo10.19.	C14 betonu ile PushY analizinde mafsalsal kontrolü	88
Tablo10.20.	C16 betonu ile PushX analizinde mafsalsal kontrolü.....	88
Tablo10.21.	C16 betonu ile PushY analizinde mafsalsal kontrolü	88
Tablo10.22.	C20 betonu ile PushX analizinde mafsalsal kontrolü.....	89
Tablo10.23.	C20 betonu ile PushY analizinde mafsalsal kontrolü	89
Tablo10.24.	C25 betonu ile PushX analizinde mafsalsal kontrolü.....	89
Tablo10.25.	C25 betonu ile PushY analizinde mafsalsal kontrolü	90
Tablo10.26.	C30 betonu ile PushX analizinde mafsalsal kontrolü.....	90
Tablo10.27.	C30 betonu ile PushY analizinde mafsalsal kontrolü	90
Tablo11.1.	1998 deprem yönetmeliğine göre deprem yükü hesabı	92
Tablo11.2.	II. bölgeden I. bölgeye statik itme analizi sonuç değişimleri	93
Tablo11.3.	Parametrik analiz snucunda yapı periyotları	96
Tablo11.4.	Güçlendirme öncesi ve sonrası statik itme analizi sonuçları.....	96
Tablo11.5.	Parametrik çalışmanın yer değiştirme kontrolü tablosu.....	96

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi	5
Şekil 3.2 : Çeliğin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi	6
Şekil 3.3 : İdealleştirilmiş beton ve çelik gerilme-şekil değiştirme ilişkileri ..	6
Şekil 4.1 : Farklı dayanımda betonların gerilme-şekil değiştirme ilişkileri ..	7
Şekil 4.2 : Sargı donatısının sünekliğe etkisi	8
Şekil 4.3 : Farklı donatı çelikleri için σ - ϵ ilişkileri	8
Şekil 4.4 : Basit eğilme etkisindeki betonarme kesitte eğilme momenti- eğrilik ilişkisi.....	9
Şekil 4.5 : Normal kuvvetin sünekliğe etkisi	10
Şekil 6.1 : Basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz işlem sırası	23
Şekil 6.2 : %5 Sönümlü elastik karşılık spektrumu.....	26
Şekil 6.3 : ABYYHY'e göre sönümlü elastik karşılık spektrumu	28
Şekil 6.4 : Kapasite eğrisi	28
Şekil 6.5 : Klasik spektrum ve ADRS spektrum gösterimi	32
Şekil 6.6 : Karşılık spektrumları üzerinde kapasite spektrumunun gösterimi	32
Şekil 6.7 : Klasik spektrumun ADRS spektrumuna dönüştürülmesi	33
Şekil 6.8 : Kapasite eğrisinin ADRS kapasite spektrumuna dönüştürülmesi	34
Şekil 6.9 : Kapasite spektrumu'nun ideal hale getirilmesi	34
Şekil 6.10 : Spektral indirgenme için sönümün gösterilişi	36
Şekil 6.11 : İndirgenmiş talep spektrumu'nun elde edilmesi	37
Şekil 6.12 : Karşılık talep ve kapasite spektrumunun kesiştirilmesi	37
Şekil 8.1 : ABYYHY'e göre sönümlü elastik karşılık spektrumu.....	51
Şekil 9.1 : Program birimi Kip-in'den farklı haldeki ekran görüntüsü	59
Şekil 9.2 : Program birimi Kip-in halindeki ekran görüntüsü.....	59
Şekil 9.3 : P-M3 Section designer sonuç ekranı	60
Şekil 9.4 : P-M2 Section designer sonuç ekranı	61
Şekil 10.1 : Analizi yapılacak yapının kat kalıp planı	64
Şekil 10.2 : Yapının Etabs programında üç boyutlu görüntüsü	67
Şekil 10.3 : Etabs programında mafsallık özelliği tanımlama	71
Şekil 10.4 : Etabs programında tanımlı mafsalları elemanlara atama	72
Şekil 10.5 : 30×60 kesitli elemanda 12φ14 donatısı tanımlama	73
Şekil 10.6 : 40×60 kesitli elemanda 12φ16 donatısı tanımlama	73
Şekil 10.7 : 50×50 kesitli elemanda 12φ16 donatısı tanımlama	74
Şekil 10.8 : Perde elemanda kısa kenarda 4φ14, gövdede 40φ14 donatı	74
Şekil 10.9 : Perde elemanda kısa kenarda 4φ14, gövdede 40φ14 donatı	75
Şekil 10.10 : Statik itme analizi için düşey Push1 tanımlaması	76
Şekil 10.11 : Statik itme analizi için yatay PushX tanımlaması	76
Şekil 10.12 : Statik itme analizi için yatay PushY tanımlaması	77
Şekil 10.13 : Statik itme analizi sonuç ekranı	78
Şekil 10.14 : C20 betonu ile yapılan çözümlemenin Push1 ekranı	79

Şekil 10.15:	C20 betonu-PushX yer değıştirme-taban kesme kuvveti sonucu..	79
Şekil 10.16:	C20 betonu-PushX spektral yer değıştirme-spektral ivme sonucu	80
Şekil 10.17:	C20 betonu-PushY yer değıştirme-taban kesme kuvveti sonucu..	80
Şekil 10.18:	C20 betonu-PushY spektral yer değıştirme-spektral ivme sonucu	81
Şekil 10.19:	3.adımda CP seviyesine ulaşmış sistemde PushX mafsalları.....	81
Şekil 10.20:	2.adımda CP seviyesine ulaşmış sistemde PushY mafsalları	82
Şekil 11.1 :	Güçlendirilmemiş sistemin PushX analiz sonucu	93
Şekil 11.2 :	Güçlendirilmemiş sistemin PushY analiz sonucu	94
Şekil 11.3 :	Güçlendirilmiş sistemin Etabs programındaki 3 boyutlu şekli	94
Şekil 11.4 :	Güçlendirilmiş sistemin kat kalıp planı	95
Şekil 13.1 :	Donatısı tam monte edilmiş sistemlerin kapasite eğrileri	98
Şekil 13.2 :	Donatısı yarım monte edilmiş sistemlerin kapasite eğrileri	98
Şekil 13.3 :	C14 beton sınıfında donatı parametrelerine göre kapasite eğrileri.	99
Şekil 13.4 :	C16 beton sınıfında donatı parametrelerine göre kapasite eğrileri.	99
Şekil 13.5 :	C20 beton sınıfında donatı parametrelerine göre kapasite eğrileri.	100
Şekil 13.6 :	C25 beton sınıfında donatı parametrelerine göre kapasite eğrileri.	100
Şekil 13.7 :	C30 beton sınıfında donatı parametrelerine göre kapasite eğrileri.	101
Şekil 13.8 :	Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş sistemlerin kapasite eğrileri.	101

SEMBOL LİSTESİ

a, b, c	: Modelleme katsayıları
A, B, C	: Yapı davranış sınıfı
A_g	: Brüt kesit alanı
A_s	: Çekme donatısı alanı
A_s'	: Basınç donatısı alanı
α₁	: Birinci modun modal kütle katsayısı
φ_{il}	: Birinci modun i. kattaki genliği
b_w	: Kesit basınç bölgesi genişliği
β_{ef}	: Eşdeğer viskoz sönüm
β₀	: Çevrimsel sönüm
C₀, C₁, C₂, C₃	: Yerdeğiştirme katsayıları
C_A, C_V	: Deprem katsayıları
d	: Etkili kesit derinliği
E	: Deprem etki seviyesi katsayısı
E_c	: Beton için elastisite modülü
E_{sec}	: Beton için sekant rijitliği
ε	: Şekil değiştirme
ε_c	: Betonun şekil değiştirmesi
ε_{cc}	: Sargılı beton şekil değiştirmesi
ε_{su}	: Çelik kopma şekil değiştirmesi
ε_y	: Çelik akma şekil değiştirmesi
f_c	: Beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton basınç gerilmesi
f_{cu}	: Beton ezilme gerilmesi
f_l'	: Etkili yanal sargı basıncı
f_{st}	: Çeliğin kopma gerilmesi
f_y	: Çeliğin akma gerilmesi
φ	: Dönme
φ_u	: Sınır dönme değeri
φ_y	: Akma dönme değeri
g	: Yer ivmesi
K_e	: Etkili rijitlik
K_i	: Başlangıç rijitliği
κ	: Sönüm değiştirme katsayısı
l_p	: Plastik mafsallık boyu
l_w	: Perde uzunluğu
M_u	: Sınır durum momenti
M_w	: Moment büyüklüğü
N	: Standart penetrasyon deneyi darbe sayısı
N_A, N_V	: Deprem kaynağı yakınlık katsayısı
P	: Tasarım normal kuvveti

PF	: Modal katılım katsayısı
R	: Doğrusal dayanımın akma dayanımına oranı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
ρ	: Çekme donatası oranı
ρ'	: Basınç donatası oranı
ρ_{bal}	: Dengeli donata oranı
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
SR_A, SR_V	: Azaltma katsayısı
S_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
σ	: Gerilme
t_w	: Perde genişliği
T	: Periyot
T_A, T_B	: Karakteristik periyotları
T_i	: Başlangıç periyodu
V_b, V_b	: Taban kesme kuvveti
w	: Kat ağırlığı
Z	: Sismik bölge katsayısı

MEVCUT BİR YAPININ PROJELENDİRİLP DEPREM YÜKÜ KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Deprem kuvvetleri altında oluşan yatay kuvvetler, yapı sistemlerinin sürekli karşı karşıya oldukları düşey yüklerden farklıdır. Deprem etkisinden oluşan yatay kuvvetler tersinir ve tekrarlı yüklemelerdir. Çerçeve sistemler bu tür etkilerde, özellikle mesnet kesitlerinde, alışık olmadıkları yön ve şiddette iç kuvvetler ile karşılaşır.

Mevcut binaların geleneksel yöntemler yerine doğrusal 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 doğrusal olmayan itme analizi yöntemi ile incelenmesi üzerine parametrik bir çalışmayı içermektedir.

Birinci bölümde yöntemin gelişimi ve özellikleri hakkında genel bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde deprem ile ilgili genel bilgilere değinilmiştir.

Üçüncü bölümde betonarme malzeme ve davranışı hakkında bilgi verilmiş, malzeme için seçilen matematiksel model incelenmiştir.

Dördüncü bölümde yapı malzemelerinde, yapı elemanlarında, yapı sistemlerinde süneklik kavramı hakkında bilgi verilmiştir.

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

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

Yedinci 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.

Sekizinci bölüm 1975 ve 1998 yönetmeliklerinin karşılaştırılması üzerinedir.

Dokuzuncu bölümde statik itme modellenmesine ve section designer programına değinilmektedir.

Onuncu bölümde mevcut bina üzerinde parametrik bir çalışmaya değinilmektedir.

SEISMIC PERFORMANCE CAPACITY ANALYSIS OF AN EXISTING CONCRATE STRUCTURE

SUMMARY

The earthquake forces are lateral forces that are applied to structural systems different than the vertical service loads. Earthquake forces are cyclic loads and structural systems are not used to resist those forces.

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

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

The second chapter is about the concepts of earthquake .

The third chapter is about the properties of materials and behaviour of materials and the mathematical modelling of the material which is chosen.

The fourth chapter is about the concept of ductility in materials, structural components, structural systems.

The fifth chapter is about performance levels explanations and performance levels for structural and nonstructural elements and combinations of levels are given.

The sixth chapter is completely about performance based design. 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 seventh chapter, the design of an efficient strengthening strategy using the performance concept is introduced.

The eighth chapter gives a comparative study of 1975 Building Code with 1998 Building Code.

The ninth chapter is about advantages and pros about modelling the system on computer design programs and section designer programs.

The tenth chapter is about an application and evaluation of an existing reinforced concrete structure for parametrical solutions .

1. GİRİŞ

Türkiye topraklarının hemen hemen tamamı deprem riski altında bulunmaktadır. Nitekim tarihi ve aletsel kayıtlar ülkenin çok büyük bir kesiminde geçmişte ciddi depremler yaşandığını göstermektedir. Bu depremlerin en yıkıcı olanları ise Kuzey Anadolu Fayı üzerinde olmaktadır. Bu fay hattındaki depremlere bakıldığında bunların batıya doğru göçen depremler zinciri şeklinde gerçekleştiği görülür. Bu durum bir çok bilim adamının dikkatini çekmiş ve kırılan fay parçalarının üzerinde biriken gerilmenin bir kısmını uçlarında bulunan diğer fay parçalarına aktardığı kabul edilmiştir.

1999 Marmara (Gölcük) depreminden sonra kamuoyunun depreme olan dikkati artmış, insanlarımız deprem ve sonuçları hakkında bilim adamlarını daha çok çalışmaya teşvik eder duruma gelmiştir. Bu çalışmalar sonucunda deprem raporlarının açıklanması ile Marmara bölgesinde beklenen depremin aletsel büyüklüğünün ortalama 7,5 olması, önümüzdeki 30 yıl içerisinde böyle bir sarsıntının olma ihtimalinin %62, önümüzdeki 22 yıl için %50, 10 yıl için ise %32 olarak hesaplanmıştır [1-2]. Beklenen bu depremler sonucunda bölgede oluşabilecek can ve mal kaybı konusunda ise verilen rakamlar, günümüze kadar meydana gelen depremlerdeki can kayıplarından daha fazladır.

Depremin tehlike oluşturması ve afete dönüşmesi, yapıların güvenlik derecesine bağlıdır. Maalesef ülkemizde genel yapı stoku depremin afete dönüşmesine neden olabilir. Genel olarak betonarme taşıyıcı sistemlerin tercih edildiği yapılar, çoğu zaman mühendislik bilgisinden yoksun ve bilinçsizce inşa edilmiş, mühendis gözetiminde uygulanan projeler ise mevcut ihale kanunlarının iş veren devlet – iş yapan müteahhit aleyhinde çalışmasından dolayı yeterli itinaı almayıp büyük risk içermektedir. Kullanılan yapı malzemelerinin kalite düşüklüğü ve betonarme kesitlerin düzenlenmesi mevcut yapıların başlıca problemidir. 1998 yılında yürürlüğe giren afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik ve 2000 yılında yenilenen TS500 ile birlikte bir takım standartlar sağlansa da, bu yönetmeliklerden önce yapılan yapıların durumu belirsizliğini korumaktadır. Belirsizliğini koruyan bu yapılarda ise milyonlarca insan ikamet etmekte, her hangi bir afet sonrasında ihtiyaç

duyulacak hastane, itfaiye ve güvenlik güçleri yapıları ise daha büyük bir muamma oluşturmaktadır.

Deprem kuvvetleri, yapı sistemlerinin sürekli karşı koydukları düşey yüklerden farklı olan, tekrarlı ve yön değiştiren yatay kuvvetlerdir. Dolayısıyla bu kuvvetlerin belirlenmesi ve betonarme çerçeve sistemlerin yatay kuvvetlere göre boyutlandırılması, düşey kuvvetlere oranla daha karmaşıktır. Bunun sonucu olarak yatay deprem kuvvetlerinin belirlenmesinden kesitlerin boyutlandırılmasına kadar birçok noktada kabuller yapmak gerekir.

Yatay kuvvetler altında betonarme taşıyıcı sistemlerin çözümlenmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Genel olarak çözümleme yöntemlerinde yapının doğrusal olmayan kapasitesi bir sayı ile belirlenir ve bu katsayı ile doğrusal çözümleme yapılır. 1998 yönetmeliğinde bina ve bina türü yapıların deprem hesabında üç adet hesap yöntemi belirtilmektedir. Bunlar Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleridir. 1975 yönetmeliği ise sadece Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi hesaplarda dikkate alınmak üzere hazırlanmıştır.

Eşdeğer deprem yüğü ve mod birleştirme yöntemleri yapının doğrusal olmayan kapasitesini deprem yüğü azaltma katsayısı (R_a) ile tanımlar. Kuvvetler bu katsayı ile azaltılarak doğrusal çözümleme yapılır. Ancak, yapının doğrusal olmayan kapasitesinin belirlenmesi ve bu kapasiteden yararlanılması için doğrusal olmayan çözümleme daha etkilidir.

Doğrusal olmayan statik itme çözümlemesi de (push over) yapıların yatay kuvvetler altında incelenmesinde kullanılan yöntemlerdendir. Boyutlamada kapasite kavramının gelişmesi ile bu yöntemin uygulamaları da artmıştır. Gerek malzemenin (beton ve çelik) gerekse taşıyıcı sistemin doğru sınır ötesi kapasitesini daha etkin kullanması, taşıyıcı sistemin güç tükenmesinde durumunu da tespit ve kontrol etmesi yanında uygulama kolaylığı da yöntemin kullanılmasını cazip hale getirmiştir.

Genel olarak bu çalışmada, doğrusal sınır ötesi kapasitesinin kullanımında doğrusal olmayan statik itme analizinden (push over), ilgili yönetmeliklerden ve bir betonarme taşıyıcı sistem için parametrik uygulamadan bahsedilecektir.

2. DEPREM

İnsanlığın var oluşundan bu yana depremler, insanları etkileyen en önemli doğal afetlerden biri olmuştur. Yüzyıllar önce insanlar depremlerin doğa üstü güçler tarafından oluşturulduğunu düşünmüş, bilimsel olmayan görüşler ileri sürmüşlerdir. 20.yüzyılda ise diğer bütün bilim dalları gibi deprem bilimi de büyük gelişim yaşamıştır. Bugün bilinen ve kabul edilen gerçek depremin yerin hareketleri sonucu oluştuğudur. Depremler; volkanik patlamalar, yerkabuğu içerisindeki boşlukların çökmesi sonucu, faylanmaya bağlı olarak oluşabilir. Deprem biliminin en önemli kuramlarından biri 1910 yılında Amerikalı bilim adamı H.F.Reid tarafından ileri sürülen elastik geri çekme (elastic rebound) kuramıdır. Bu kurama göre mevcut bir fayın iki tarafındaki bloklar fay düzlemi boyunca birbirlerine sürtündükleri için hareket edemez, üzerlerine gelen kuvvetleri deforme olarak karşılarlar. Bu durumdaki faylara kilitli fay denir. Üzerlerine yüklenen enerjiyi biriktiren ve deforme olan kayalar deformasyonun gücü sürtünme gücünü ya da blokların birini oluşturan kayaların kırılma dayanımını yenecek seviyeye gelince aniden kırılır ve böylece fay oluşur. Kayalar içerisinde biriken enerji depremin odak noktasında boşalır, fay harekete geçerek bloklar bir miktar atılır. Fayın iki tarafındaki kayalar ise şekil değiştirmesi öncesi hallerine geri dönerler. Kayalara etki eden kuvvet devam ettikçe bu döngü böyle sürer. Bir kırığın iki tarafındaki kayalar birbirine göre gözle görülür miktarda hareket etmişse bu kırığa fay denir. Fayların boyu depremin büyüklüğü ile logoritmik olarak orantılıdır. Faylar, blokların hareket yönü ile fay düzlemi arasındaki ilişkiye göre, eğim atımlı, verrev ve doğrultu atımlı faylar olarak sınıflandırılır. Bunlar sıkışma, gerilme ya da makaslama kuvvetlerinin etkisi ile gelişir, kendilerini oluşturan kuvvete bağlı olarak farklı şekiller alırlar. Atım ise, blokların fay düzlemi boyunca birbirinden uzaklaşma miktarına denir. Deprem sırasında fayın kırılması anlık olmamakta, kırılma zaman içinde belirli hızla (2-3 km/s) çeşitli yönde ilerlemektedir. Faylar basit bir yaklaşımla tek bir düzlem olarak kabul edilirlerse de gerçekte kırılma tek bir düzlem şeklinde değil bir kırılma zonu şeklinde gerçekleşmektedir. Fayın üzerindeki gerilme farklılıkları, jeolojik yapının değişmesi nedeniyle oluşan engel, pürüzler ve fay düzlemi üzerindeki sürtünme kuvvetinin değişmesi gibi etmenler faylanma'nın karakterini dolayısıyla depremin ve özellikle depreme yakın noktalardaki yer hareketlerinin kimliğini belirlemektedir. Depremi oluşturan faylanma ile birlikte odaktan çevreye doğru çeşitli türde sismik

dalgalar yayılır. Bunlar boyuna dalgalar (P dalgası), enine dalgalar (S dalgası) ve yüzey dalgalarıdır. Yapılarda en fazla hasara S dalgaları neden olur. S dalgalarının hızı P dalgalarının hızından 1,7 kez daha yavaştır. Yüzey dalgaları yer yüzünde en büyük genlikle oluşurlar ve derinlikle azalır. S dalgalarından sonra gelen bu dalgalar yakın depremlerde S dalgaları gibi yıkıcı özelliklerdedir.

Türkiye dünyanın en aktif deprem kuşakları üzerinde yer almaktadır. Ülkenin çok büyük bir kesiminde geçmişte ciddi depremler yaşanmıştır. Yaşanan depremlerin en yıkıcı olanları Kuzey Anadolu Fayı üzerinde olmaktadır. 1939 Erzincan depremini Kuzey Anadolu Fayı üzerinde 1942, 1943, 1944, 1951, 1957, 1967 ve 1999 da ki depremler izlemiştir. Oluşan büyük depremlere bakıldığında bunların batıya doğru göçen depremler zinciri şeklinde gerçekleştiği görülür. Bu durum bilim adamlarınca kırılan fay parçalarının üzerinde biriken gerilmenin bir kısmını uçlarında bulunan diğer fay parçalarına aktardığı olarak kabul edilmiştir.

Bu ve diğer verilerden hareketle 1999 Gölcük ve 1999 Düzce depreminin olacağı önceden tespit edilmiştir [4]. Kuzey Anadolu Fayı batı kesimlere doğru çatallanarak üç ana kola ayrılır. Sismolojik veriler en kuzeyde yer alan kolun bunlar arasında en aktif olduğunu, gps verileri ise Kuzey Anadolu Fayı üzerindeki yıllık ortalama 2 cm lik hareketin büyük bir kısmının bu kol üzerinde gerçekleştiğini göstermektedir [1]. Bu kol Marmara denizine İzmit körfezinden girerek deniz içerisinden geçer ve mürefte civarında yeniden karaya çıkar. Fayın Marmara denizi içerisindeki geometrisinin iki parçalı bir tek fay olduğu 1999 depreminden sonra yapılan uluslararası çalışmalarda ortaya konulmuştur. Bugün Marmara denizi içerisinde ciddi bir deprem riski olduğu kabul edilmektedir. Bir deprem üzerinde oluşturduğu faydaki gerilmeyi azaltırken, komşu faylar üzerindeki gerilmeleri değiştirir. Deprem sonrası yapılan çalışmalar sismik aktivitenin gerilmenin arttığı alanlarda arttığını, gerilmenin azaldığı alanlarda ise azaldığını ortaya koymuştur. İzmit depremi düzce depreminin meydana geldiği bölgede gerilimi 12 bar arttırmış, kırığın batı tarafındaki bölgede gerilimin 0,5-5,0 bar artmasına yol açmıştır. Parsons tarihsel depremler üzerinde yaptığı çalışmalarda Marmara denizi içerisindeki fayların tekrarlanma aralıklarını araştırmış ve bunları gps verileri ile eşleştirerek Marmara denizinde deprem tekrarlanma zamanın çok yaklaştığını İstanbul da önümüzdeki 30 yıl içerisinde büyük bir deprem olma olasılığının %25 olduğu sonucuna ulaşmıştır [2].

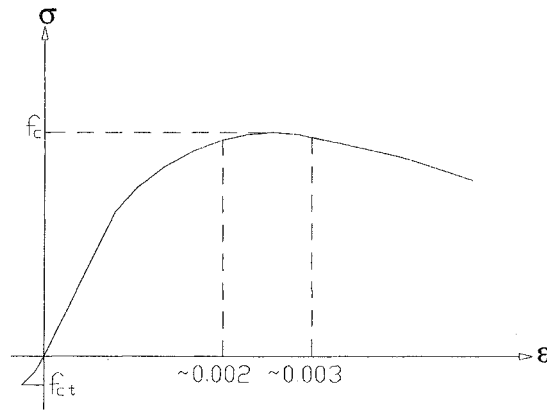
Üzerinde gerilimin arttığı fayların tutularak deprem olasılık hesaplarına gerilim transferi de eklenmiştir. Sonuçta İstanbul da önümüzdeki 30 yıl içerisinde kuvvetli bir sarsıntı olma ihtimali %62, önümüzdeki 22 yıl için %50, 10 yıl için ise %32 olarak hesaplanılmıştır [3].

3. BETONARME MALZEME

Betonarme; agrega, su ve çimentodan oluşan beton malzemesi içine çelik çubukların yerleştirilmesi ile oluşturulur. Bu sayede basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük olan beton; çekme dayanımı yüksek olan çeliklerle tamamlanır. Aynı zamanda gevrek bir yapı malzemesi olan betonun bu eksikliği sünek bir yapı malzemesi olan çelikle giderilmektedir.

3.1. Beton ve Davranışı

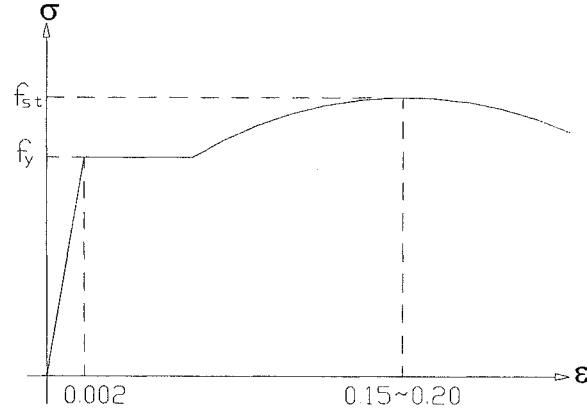
Beton belirli oranlarda karıştırılan agrega, çimento ve sudan oluşmaktadır. Gevrek bir yapı malzemesi olan beton için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 3.1’de verilmiştir. Betonun doğrusal davranış bölgesi $0.60 \sim 0.70 f_c$ gerilmesine kadardır.



Şekil 3.1 Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

3.2. Çelik ve Davranışı

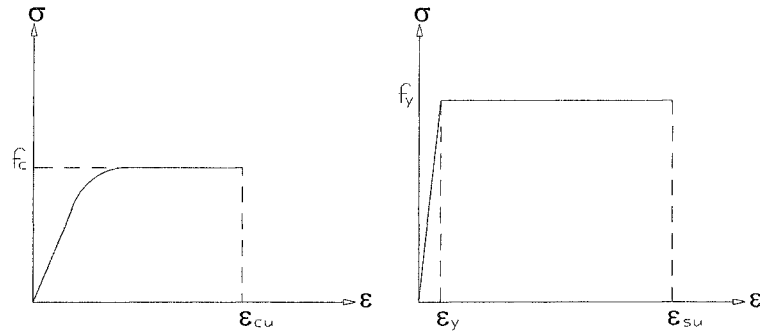
Yüksek çekme dayanımına sahip çelik için eksenel gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 3.2’de verilmiştir. Çeliğin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi üç parçadan oluşur. Birinci parça doğrusal davranışın bulunduğu bölümdür. Bu bölümü akma sahanlığının bulunduğu ikinci bölüm takip eder ve pekleşmeyi içeren üçüncü bölüm ile son bulur. Şekil 3.2’den de anlaşılacağı gibi, çelikte elastik sınır ötesi kapasite ihmal edilemeyecek kadar fazladır.



Şekil 3.2 Çeliğin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

3.3. İdeal Elastoplastik Kabul

Yapı sistemlerinin hesap aşamasında mevcut malzemelerin (beton ve çelik) gerilme-şekil değiştirme eğrileri, ideal elastoplastik gerilme-şekil değiştirme eğrilerine dönüştürülür. Beton ve çelik malzeme için sınır ve taşıma gücü sınır değerleri belirlenerek, ideal elastoplastik davranış eğrileri çizilir.



Şekil 3.3 İdealleştirilmiş beton ve çelik gerilme-şekil değiştirme ilişkileri

Şekil 3.3 beton ve çelik için kabul edilebilir elastoplastik gerilme-şekil değiştirme ilişkilerini göstermektedir. Malzemelerde doğrusal elastik bölgeyi plastikleşme bölgesi takip etmektedir. Malzemelerin plastikleşme bölgelerindeki kapasitelerinin daha iyi kullanılması için doğrusal olmayan çözümleme yöntemleri daha etkili sonuçlar vermektedir.

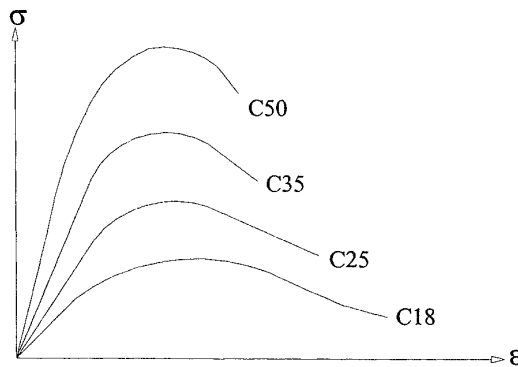
4. SÜNEKLİK KAVRAMI

Süneklik, bir yapının, bir yapı elemanının veya bir kesitin, taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan büyük şekildeğiştirebilme yeteneğidir [5]. Sünek bir eleman, kesit ya da yapısal sistemde, ileri yük kademelerinde dayanım neredeyse sabit kalırken önemli ölçüde şekil değiştirmeler meydana gelir. Sünek davranış gösteren yapılarda, ileri yük kademelerinde, plastik şekil değiştirmeler sayesinde göçme olmadan yük taşımaya devam edecektir. Önemli olan yapının karşılaştığı dinamik etkiyi, süneklik sayesinde kazandığı şekil değiştirme kapasitesini kullanarak sönmümesidir. Süneklik, doğrusal sınır sonrasında ani göçme olmadan şekil değiştirme yeteneğidir [6].

Sünek bir taşıyıcı sistem ancak ve ancak sünek kesitlere sahip elemanlardan oluşturulur. Betonarme kesitlerde doğrusal sınır geçilince beton ve çeliğin doğrusal olmayan davranışları betonarme malzemenin doğrusal olmayan davranışında etkili olur. Bir betonarme elemanda yeterli sünekliğin sağlanması için, elemanı oluşturan beton ve çeliğin de kabul edilebilir sünekliğe sahip olması gerekir [7]. Beton ve çelik malzemeleri için süneklik, şekil değiştirebilme yeteneği olarak tanımlanabilir.

4.1. Betonda Süneklik ve Betonarme Elemanlarda Sargı Etkisi

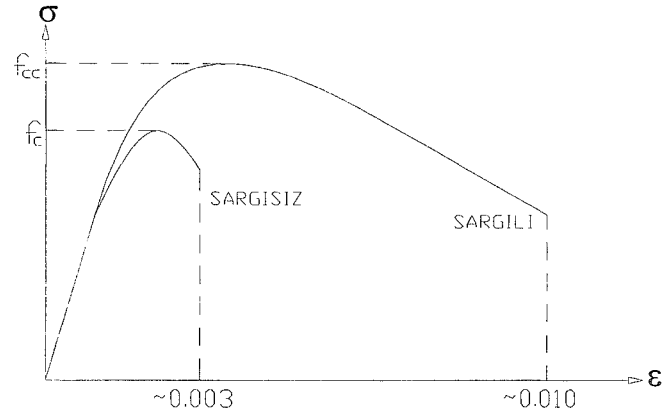
Beton, gevrek davranış gösteren bir yapı malzemesidir. Şekil 4.1 farklı kalitelerdeki betonların gerilme-şekil değiştirme ilişkilerini göstermektedir.



Şekil 4.1 Farklı dayanımda betonların gerilme-şekil değiştirme ilişkileri

Şekil 4.1'den de anlaşılacağı gibi, beton basınç dayanımı arttıkça şekil değiştirme kapasitesi azalmaktadır. Yani düşük dayanımlı betonlar, kendilerinden daha yüksek dayanımlı betonlara oranla daha sünektir.

Betonarme kesitlerde sargı donatısı; beton basınç dayanımını artırır ve şekil değiştirmeleri sınırlar. Bu sayede artan etkiler altında kesit moment dayanımında önemli bir azalma olmadan şekil değiştirme yapabilmesi amaçlanır. Yanal şekil değiştirmelerin önlenmesi sünekliliği artırır. Sargı donatısı, betonarme kesitlerde sünekliliği artıran en önemli etkidir.

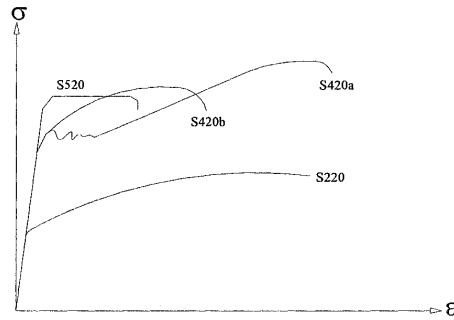


Şekil 4.2 Sargı donatısının sünekliliğe etkisi

Şekil 4.2'de de görüldüğü gibi sargılı durumdaki beton sargısız durumdaki betona göre çok daha fazla şekil değiştirme yapabilmektedir. Eğrilerin altında kalan alan tüketilen enerjinin dolayısıyla sünekliliğin ifadesidir. Sargılı durum sünekliliği, sargısız duruma göre fazladır.

4.2. Çelikte Süneklilik

Çelik, sünek davranışlı bir yapı malzemesidir. Şekil 4.3 farklı kalitelere sahip çeliklerin gerilme-şekil değiştirme eğrilerini göstermektedir.

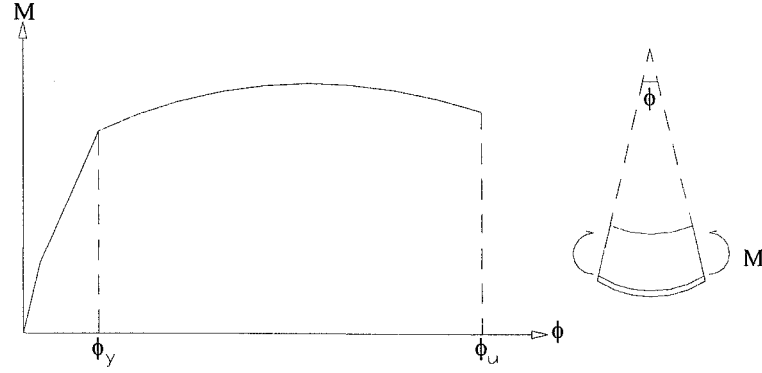


Şekil 4.3 Farklı donatı çelikleri için gerilme-şekil değiştirme ilişkileri

4.3. Yapı Elemanlarında Süneklik

4.3.1. Basit eğilme etkisi

Betonarme çerçeveli yapı sistemlerinde kirişler eğilme momentinin normal kuvvete göre daha etkin olduğu elemanlardır. Eğilme momenti etkisindeki kirişler döner.



Şekil 4.4 Basit eğilme etkisindeki betonarme kesitte eğilme momenti-eğrilik ilişkisi

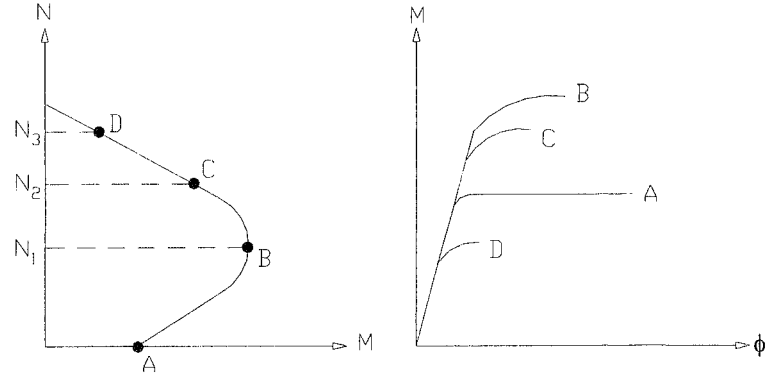
Şekil 4.4 sünek bir kiriş kesitinin moment-dönme eğrisini göstermektedir. Eğilme etkilerinin ön plana çıktığı kiriş kesitleri için süneklik, kesit dayanımında önemli bir değişim olmadan dönebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Buna göre kiriş kesiti için süneklik bağıntısı

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (4.1)$$

olarak tanımlanabilir. Kiriş kesitlerinin sünekliği çeşitli parametrelere bağlıdır. Süneklik, çekme donatı oranı ve donatı kalitesi ile ters, basınç donatısı oranı ve kalitesi ile doğru orantılıdır.

4.3.2. Normal kuvvet etkisi

Betonarme çerçeveli yapı sistemlerinde kolonlar normal kuvvetin ve eğilme momentinin etkin olduğu elemanlardır. Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki bir kolon kesitinin moment-dönme eğrisi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekil 4.5'ten de anlaşılabacağı gibi A durumu basit eğilme durumunu temsil etmektedir. Normal kuvvetin artması ile beraber, erişilen sınır durum eğrilik değerleri (ϕ_u) azalmaktadır. Süneklik; sınır durum eğrilik değerinin (ϕ_u) akma eğrilğine (ϕ_y) oranı olarak düşünülürse, artan normal kuvvet etkilerinde genel olarak süneklik azalmaktadır.



Şekil 4.5 Normal kuvvetin sünekliğe etkisi

4.4. Yapı Sistemlerinde Süneklik

Yapı sistemlerinde süneklik, yapının enerji tüketebilme yeteneğidir. Sünek yapılarda deprem etkilerinin meydana getirdiği enerji, büyük genlikli titreşimlerle yutulur. Sünek yapılarda bu büyük genlikli titreşimler yapının toplam dayanımında önemli bir kayıp oluşturmaz. Süneklik sayesinde kesitler arası yardımlaşma meydana gelecek ve yüklemenin ilerleyen kademelerinde doğrusal sınırı geçen kesitler plastik şekil değiştirmeler ile enerji sönümlerken, iç kuvvetler daha az zorlanan kesitlere aktarılacaktır. Sünekliğin gereği olan plastikleşme bölgelerinin meydana gelebilmesi için sistem yüksek mertebeden hiperstatik olması gerekmektedir [8]. Bu özellik yapının göçme şeklinin belirlenmesine de yardımcı olur. Ayrıca patlama gibi yükleme durumlarında enerjinin yutulması için süneklik gerekmektedir [9].

Sünek yapılar için sünek malzemeler, sünek kesitler ve sünek taşıyıcı sistemler gereklidir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin sahip oldukları sönüm yeteneklerinin sünek özelliği ile birleştirilmesi sonucu depreme dayanıklı betonarme yapı sistemleri oluşturulabilir. Süneklik düzeyi yüksek olmayan betonarme yapılarda, bir çok kesit kapasitesine ulaşmadan kat mekanizması gibi durumların oluşması sonucu yapı stabilitesini yitirmektedir. Oysa süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan yapılarda süneklik, kesitlerin yardımlaşmasına imkan verebilecek şekil değiştirme ve yer değiştirme yeteneği sağlar.

5. PERFORMANS METODU

Performans Metodu, yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının belirlenmesi ve depreme dayanıklı duruma getirilmelerinde kullanılan yöntemlerdendir. Yapının fonksiyonuna göre Yapı Performans Seviyeleri'nden biri belirlenir. Belirlenen yapı performans seviyesinin şartlarına göre yapıların tasarımı, mevcut yapıların incelenmesi ve güçlendirilmesi yapılır.

5.1. Deprem Etkisi Seviyesi

Yapıların Performans Metodu ile incelenmesinde, seçilen performans amacının hangi deprem etkisi altında sağlanacağını belirlenmesi gerekir. Deprem etkisinin belirlenmesi iki adımdan oluşur.

- Kullanılacak deprem etkisinin tanımlanması
- Bu deprem için spektrum eğrisinin oluşturulması

Kullanılacak depremin tanımlanmasında iki yöntem kullanılır. Bunlardan birincisi, depremin 50 yıl içerisinde aşılma olasılığından hareket eder. Diğer tanım ise benzer büyüklükteki depremlerin ortalama tekrarlanma aralığı (dönüş periyodu) kavramını kullanır. Birinci tanım kullanılarak üç adet deprem seviyesi tanımlanabilir.

- Kullanım Depremi (SE)

50 yıllık periyot içinde aşılma olasılığı %50 olan deprem etkisini tanımlar (%50/50 yıl). Bu etkinin ortalama dönüş periyodu yaklaşık 75 yıldır ve yapı ömrü boyunca ortaya çıkması muhtemeldir.

- Tasarım Depremi (DE)

Temel Güvenlik Depremi 1 (TGD-1) olarak belirtilebilecek bu tür depremlerin 50 yıllık periyot içinde aşılma olasılığı %10'dur (%10/50 yıl). Bu etkinin ortalama dönüş periyodu yaklaşık 500 yıldır ve yapı ömrü boyunca ortaya çıkması pek muhtemel değildir. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998 tarif ettiği deprem kuvvetlerinde yaklaşık olarak bu depremi göz önünde bulundurur.

- Maksimum Deprem (ME)

Temel Güvenlik Depremi 2 (TGD-2) olarak belirtilebilecek bu tür depremlerin 50 yıllık periyot içinde aşılma olasılığı %2 (%2/50 yıl). Bu etkinin ortalama dönüş periyodu yaklaşık 2500 yıldır.

5.2. Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri, deprem sonrası meydana gelen hasarı ve yapı sistemlerinin deprem sonrası durumlarını sınıflandırır. Deprem sırasında ve sonrasında can güvenliği riskini inceler deprem sonrası onarım veya güçlendirme gereksinimlerini tanımlar.

Yapı performans seviyeleri, taşıyıcı olan ve taşıyıcı olmayan sistemler için ayrı ayrı tanımlanır. Taşıyıcı Sistem Performans Seviyeleri ve Taşıyıcı Olmayan Sistem Performans Seviyelerinin çeşitli kombinasyonları Yapı Performans Seviyesini oluşturur [10].

5.2.1. Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri

Taşıyıcı sistem performans seviyeleri, yapı taşıyıcı sistem elemanlarının deprem sonrası hasarlarını sınıflandırır. Taşıyıcı sistemlerin deprem sonrası işlevselliğini tespit eder. Üç adet taşıyıcı sistem performans seviyesi ve bu seviyeler arasında kalan, iki adet taşıyıcı sistem performans aralığı tanımlanır [6].

- Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-1): Deprem sonrasında sınırlı yapısal hasarın olduğu performans seviyesidir. Yapının taşıyıcı sistemleri, deprem öncesi kapasite ve taşıyıcılık özelliklerini hemen hemen korumaktadır. Yapı giriş ve çıkışları hemen kullanım aşamasında güvenlidir.
- Hasar Kontrol Performans Aralığı (SP-2): Performans seviyesi olmayıp, Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-1) ile Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3) aralığını tanımlar. Yönetmeliklerde yeni binalar için 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi bu aralığa düşer [12].
- Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3): Deprem sonrasında önemli sayılabilecek yapısal hasarın olduğu performans seviyesidir. Ancak taşıyıcı sistem toptan veya kısmi göçme durumuna ulaşmamıştır. Önemli yapısal sistemlerde düşme veya göçme gözlenmez. Deprem sırasında yaralanma olabilir. Yapısal hasardan kaynaklanan, hayati tehlike oluşabilecek yaralanma riski çok

düşüktür. Yapının kullanımı için kapsamlı yapısal onarımlar gerekebilir. Ancak, hasar seviyesi her zaman onarılabilecek kadar ekonomik olmayabilir.

- Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı (SP-4): Performans seviyesi olmayıp, Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3) ile Toptan Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (SP-5) aralığını tanımlar.
- Toptan Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (SP-5): Deprem sonrası, güç tükenmesi eşiğindeki hasarın sınırlandırılması seviyesidir. Yapıda önemli derecede hasar meydana gelmiştir. Yatay kuvvet taşıyıcı sistem rijitlik ve dayanımında önemli derecede düşüş gerçekleşmiştir. Ancak, düşey yük taşıyıcı sistem işlevini sürdürmektedir. Yapı içinde veya dışında yaralanma riski yüksektir. Artçı depremler göçmeye neden olabilir. Maksimum deprem etkilerinde yapısal stabilite devamı için performans seviyesi kullanılabilir.
- Hasarın Gözönüne Alınmadığı Performans Seviyesi (SP-6): Taşıyıcı sistem ve eleman hasarlarının gözönüne alınmadığı hasar seviyesidir. ATC-40 raporunda belirlenen taşıyıcı elemanlar için performans seviyeleri ve aralıkları Tablo 5.1'de gösterilmiştir [6].

Tablo 5.1 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

5.2.2. Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri

Taşıyıcı olmayan sistem performans seviyeleri, yapıda taşıyıcı olmayan sistem elemanlarının deprem sonrası hasarlarını sınıflandırır. Taşıyıcı olmayan sistemlerin deprem sonrası işlevselliğini tespit eder. Beş adet taşıyıcı olmayan sistem performans seviyesi tanımlanır.

- Kullanıma Devam Performans Seviyesi (NP-A): Deprem sonrasında yapısal olmayan eleman ve sistemler genel olarak işlevlerine devam eder. Küçük temizlik ve onarım gerekebilir. Bütün ekipman ve makineler çalışabilir durumdadır.
- Hemen Kullanım Performans Seviyesi (NP-B): Yapısal olmayan elemanlarda bir hasar söz konusu değildir. Deprem sonrasında yapısal olmayan eleman ve sistemler genel olarak işlevlerine devam eder. Küçük temizlik ve onarım gerekebilir. Ekipman ve makineler genellikle sabitlenmiştir. Kuvvetli sarsıntıdan sonra işlevsel olmaları düşünülemez ve işlevlerinde bazı kısıtlamalar olabilir.
- Can Güvenliği Performans Seviyesi (NP-C): Deprem sonrası yapısal olmayan eleman ve sistemlerde önemli hasarlar meydana gelebilir. Fakat yapının kısmi veya toptan göçmesi söz konusu değildir. Yapısal olmayan sistemler, ekipman ve makineler işlevsel değildir. Deprem sırasında yaralanmalar meydana gelebilir. Yapısal olmayan eleman hasarlarından kaynaklanabilecek hayati yaralanma riski düşüktür.
- Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (NP-D): Deprem sonrası yapısal olmayan eleman ve sistemlerde yaygın hasarlar meydana gelebilir. Fakat göçme veya düşme gözlenmez.

Hasarın Gözönüne Alınmadığı Performans Seviyesi (NP-E): Taşıyıcı olmayan eleman hasarlarının gözönüne alınmadığı hasar seviyesidir. ATC-40 raporunda belirlenen taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri ve aralıkları Tablo 5.2'de gösterilmiştir [6].

Tablo 5.2 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

5.2.3. 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 5.3'de gösterilmiştir. En çok kullanılan yapı performans seviyeleri;

- Kullanıma Devam Performans Seviyesi (1-A): Bu performans seviyesi işlevsellikle ilgilidir. Yapıdaki hasar sınırlıdır. Yapının taşıyıcı olan ve olmayan elemanlarındaki hasar, kullanımı etkilemeyecek seviyededir.
- Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B): Önemli yapılar için öngörülen performans seviyesidir. Yapının sistemleri kullanılabilir durumdadır. Bazı onarım işleri gerekebilir.
- Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C): Can güvenliği için tehlikeli olabilecek hasar seviyesi olasılığının çok düşük olmasını öngörür. Taşıyıcı olan sistemde hasar oluşmuştur. Ancak sistemde bir miktar kapasite bulunmaktadır.
- Toptan Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (5-E): Yapının düşey yük taşıyıcı sistemdeki hasarla ilgilidir. Yapının düşey yük taşıyan sistemi ancak ayaktaadır. Yatay yükler altında sistemin yalnızca stabil olması yeterlidir. Artçı depremlerde toptan göçme olabilir. Taşıyıcı olan ve taşıyıcı olmayan sistem elemanları hasarları can güvenliğini tehlikeye sokabilir.

Yapı performans seviyeleri Tablo 5.3'de gösterildiği gibi köşegen üzerinde, Taşıyıcı Sistem ve Taşıyıcı Olmayan Sistem Performans Seviyelerinin mantıklı eşleşmeleriyle belirlenir. Tavsiye edilmeyen performans seviyeleri, Taşıyıcı Sistem ve Taşıyıcı Olmayan Sistem Performans seviyelerinin mantıklı olmayan eşleşmeleridir. Örnek olarak taşıyıcı olmayan sistemlerde kullanıma devam seviyesi hedeflenirken, taşıyıcı sistemlerde hasarın göz önünde bulundurulmadığı performans seviyesinin hedeflenerek eşleştirilmesi mantıklı değildir.

Tablo 5.3 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 Performans Seviyesi	SP-2 Hasar Kontrol Performans Aralığı	SP-3 Can Güvenliği Performans Seviyesi	SP-4 Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı	SP-5 Toptan Göçmenin Önlenmesi P. Seviyesi	SP-6 Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye
NP-A Kullanıma Devam Performans Seviyesi	1-A Kullanıma Devam Performans Seviyesi	2-A				
NP-B Hemen Kullanım Performans Seviyesi	1-B Hemen Kullanım Performans Seviyesi	2-B	3-B			
NP-C Can Güvenliği Performans Seviyesi	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği Performans Seviyesi	4-C	5-C	6-C
NP-D Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi		2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Performansın Dikkate Alınmadığı Performans Seviyesi			3-E	4-E	5-E Toptan Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi	

	En çok kullanılan performans seviyeleri
	Tavsiye edilmeyen veya uygulanamayan performans seviyeleri
	Diğer kullanılabilir performans seviyeleri

1-A, 1-B, 3-C ve 5-E seviyeleri ATC - 40 tarafından en çok kullanılan yapısal performans seviyeleri olarak belirlenmiştir.

5.3. Performans Hedefinin Belirlenmesi

Yapılarda performans hedefi; yapı performans seviyeleri ve deprem etki seviyelerinin birebir eşleşmesi ile oluşturulur. Belirlenen deprem etki seviyesinde, seçilen yapı performans seviyesi, yapı performans hedefini oluşturur. Yapı için tek performans hedefi belirlenemediği gibi; değişik deprem etkileri altında değişik yapı performans seviyeleri seçilerek, birden fazla performans hedefi de belirlenebilir. Tablo 5.4'de Deprem Etki Seviyesinin ve Yapı Performans Seviyesinin eşlenerek Performans Amacı'nın oluşturulması gösterilmiştir. Değişik Yapı Performans ve Deprem Etki Seviyeleri eşlenerek farklı performans amaçları belirlenebilir.

Tablo 5.4 Performans hedefinin belirlenmesi

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

Tablo 5.4'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 5.5'te görülmektedir:

Tablo 5.5 Çoklu performans hedefinin belirlenmesi

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

Tablo 5.5'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.

5.4. 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 5.6'da görülmektedir.

Tablo 5.6 Temel güvenlik hedefi

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

6. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ

6.1. 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 doğrusal olmayan analiz yöntemleri hakkında bilgi verilecektir.

Bilindiği gibi doğrusal 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.

6.1.1. 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 bağlı olarak karmaşık yatay yer değiştirme şekilleri ortaya çıkarmaktadır. Her zaman aralığında bu hareketi incelemek, yani zamana bağlı analiz yapmak verinin karmaşıklığı açısından pratik olmamaktadır. Doğrusal olmayan bir hesap izlenerek tasarım kriteri olarak bir dizi yatay yer değiştirmeyi esas almak hesabı kolaylaştıracak ve sonuca doğrudan olarak ulaşılmasını sağlayacaktır. Belirli bir yapı ve yer hareketi için bu tür bir hesapta kullanılacak talep yer değiştirmesi, binanın deprem sırasında yapması beklenen en büyük yer değiştirme karşılığıdır.

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

Yapısal kapasite, kapasite eğrisi ile temsil edilir. Kapasite eğrisi ise genel olarak yapının tepe noktasının yer değiştirmesi 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 sınır 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 1.0 saniyenin altında olan yapılar için birinci doğal titreşim modunun etkin olduğu varsayılabilir. Özel periyodu 1.0 saniyenin üstünde olan yapılarda diğer titreşim modlarının etkilerinin de gözönüne alınması gerekmektedir. Kapasite eğrisinin elde edilmesi konusu, ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanacaktır [10].

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

6.2. Plastik Mafsal Kabulü

Betonarme kesitlerde moment etkisi altında dönme meydana gelir. Momentin düşük değerlerinde betonarme kesitlerin moment-eğrilik bağıntıları doğrusal elastik olarak kabul edilebilir. Momentin artan değerlerinde sırasıyla betonarme kesitte çatlama ve donatıda akma meydana gelir. Bu noktadan itibaren betonarme kesiti oluşturan betonun ve çeliğin doğrusal olmayan davranışları kesitte hakim olur. Kesitin moment-eğrilik bağıntısı da doğrusal davranıştan uzaklaşır. Plastik davranışların hakim olduğu bu aşamalarda kesitin taşıyabileceği moment çok az artarken, kesit dönmeleri hızlı bir şekilde artar. Bu iki bölgenin ayrımı, çekme donatısının akmaya başladığı nokta olara kabul edilebilir.

Meydana gelen plastik şekil değiştirmelerin belirli bir bölgede yoğunlaştığı ve bu bölgede kesit dönmelerinin en büyük kesit dönmesine (ϕ_u) eşit olduğu kabul edilir.

Plastik dönmelerin bu şekilde belirli bir bölgede toplanması “Plastik Mafsal Kabulü” olarak adlandırılır. Plastik mafsalarda kesit dönmeleri, eğilme momentinin en büyük değerine (M_u) ulaşması ile ortaya çıkar. Bu, plastik mafsalın normal mafsalardan ayıran en önemli özelliğidir. Plastik mafsal bölgelerinde kesit, moment artışı olmadan dönmeye devam eder.

Plastik mafsal bölgelerinin sünek sistemlerde oluşabilmesi, sistemin yüksek dereceden hiperstatik olmasına bağlıdır. Plastik mafsal bölgesi boyu, moment-eğrilik diyagramına, eleman boyunca eğilme momentinin değişimine, kesit yüksekliğine ve kesitteki normal kuvvete bağlıdır [8]. Kiriş kesitleri için $d/2$, kolon kesitleri için d plastik mafsal boyu olarak kabul edilebilir. Diğer bir yaklaşımla deney sonuçlarına göre kirişlerde plastik mafsal boyu aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$l_p = 0,25d + 0,075z \quad (6.1)$$

$$l_p = 0,50d + 0,050z \quad (6.2)$$

Denklem 6.1 ve 6.2’de verilen l_p ; plastik mafsal boyu, z ; kesitin moment sıfır kesitinden uzaklığı, d ; kiriş yüksekliğidir.

6.3. Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri

Mevcut betonarme binalar için kullanılabilecek çeşitli doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri bulunmaktadır. Zamana bağlı analiz temel alınarak yapılan doğrusal olmayan hesap son derece karmaşık olduğu için basitleştirilmiş doğrusal olmayan hesap yöntemlerine gereksinim duyulmuştur. Yapıların deprem etkisi altındaki performanslarının belirlenebilmesi amacıyla kullanılan basitleştirilmiş doğrusal olmayan hesap yöntemleri, yapının yatay kuvvetler altındaki davranışını temsil eden yatay kuvvet ve yatay yer değiştirme ($P - \delta$) arasındaki ilişkinin malzeme ve ikinci mertebe etkilerin hesaba katıldığı geometri değişimi bakımından doğrusal 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.

Anılan yöntemler ile performans analizi genel olarak iki farklı kriter gözönüne alınarak yapılır. İlk kriter, yapıya etkiyen deprem yükleri yönetmeliklerde öngörülen belli seviyelere ulaştığında, dayanım, yer değiştirme ve şekil değiştirmeler açısından yapıdan istenilen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığının kontrolüdür. İkinci

kriter ise yer değiştirme kontrolüdür, yani belirli bir deprem yükü altında yapıdaki yer değiştirme istemine ulaşıldığında yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığının kontrolüdür

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

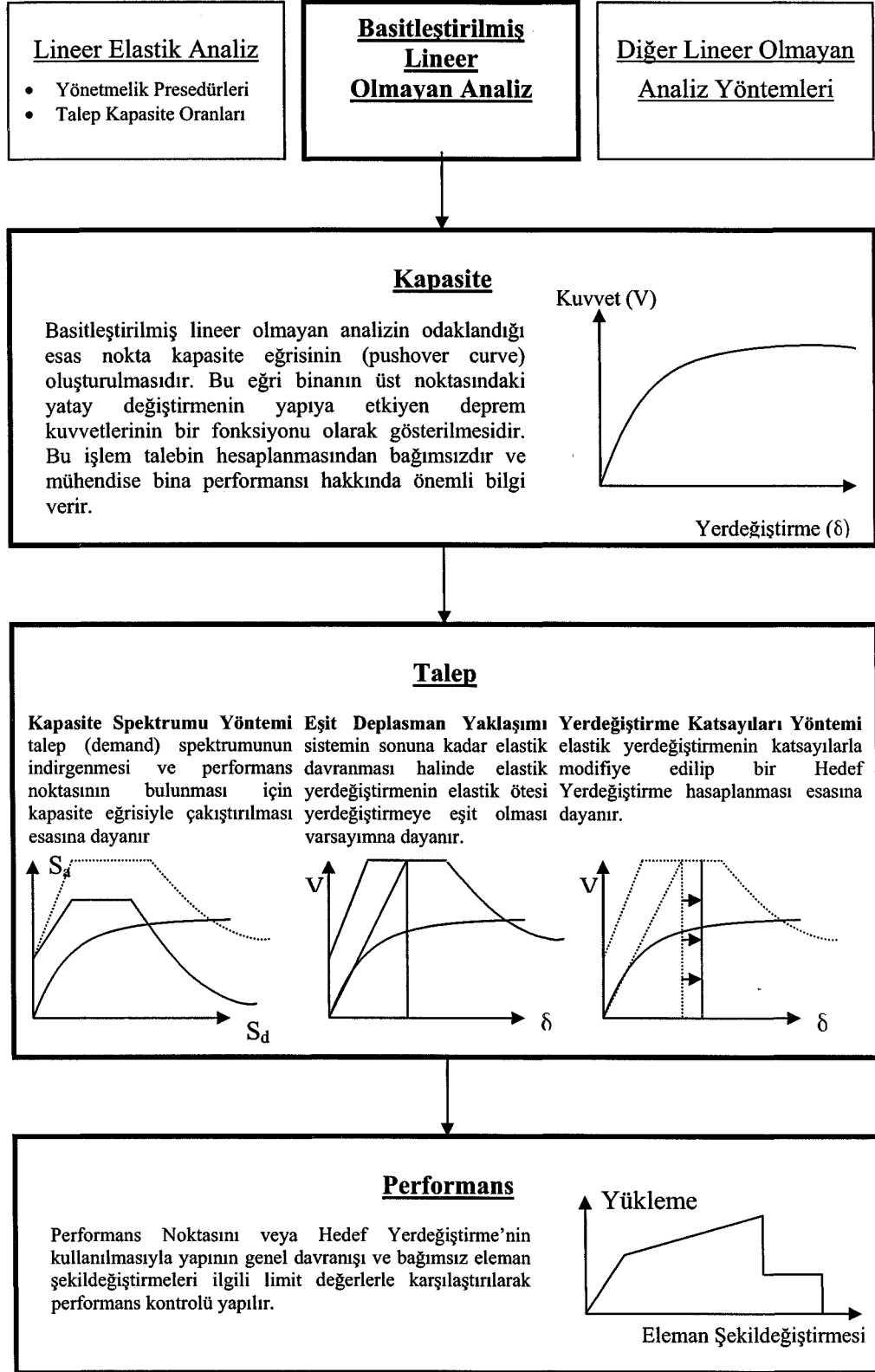
Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC-40): Maksimum yer değiştirmeyi bulmak amacıyla kapasite eğrisi ile indirgenmiş karşılık spektrumunun keşiştirilmesiyle uygulanır.

İfade edilen analiz yöntemlerinin ATC-40 raporunda açıklanan analitik işlem sırası şekil 6.1'de gösterilmiştir.

Yer değiştirme Katsayıları Yöntemi (FEMA-356): Bu yöntem kapasite spektrumu yöntemine benzer bir biçimde kapasite ve istemin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde, yer değiştirme istemi grafik olarak değil, sayısal bir şekilde belirlenir. Bu yöntemde kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürölmesine gerek duyulmamaktadır.

6.3.1. 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 6.1, Tablo 6.2 ve Tablo 6.3 kullanılarak elde edilebilmektedir.



Şekil 6.1 Basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz işlem sırası

Tablo 6.1 Zemin sınıflarının tanımı

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

Tablo 6.2 C_A Deprem katsayısı tablosu

	Deprem Katsayısı $Z \times E \times N$					
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	$1,0 \times Z \times E \times N$
S_B	0,08	0,15	0,2	0,3	0,4	$1,0 \times Z \times E \times N$
S_C	0,09	0,18	0,24	0,33	0,40	$1,0 \times Z \times E \times N$
S_D	0,12	0,22	0,28	0,36	0,44	$1,1 \times Z \times E \times N$
S_E	0,19	0,30	0,34	0,36	0,36	$0,9 \times Z \times E \times N$
S_F	Yerel zeminin incelenmesi gerekmektedir					

Tablo 6.3 C_v Deprem katsayısı tablosu

	Deprem Katsayısı Z×E×N					
Zemin Sınıfı	= 0,075	= 0,15	= 0,2	= 0,3	= 0,4	>0,4
S _A	0.08	0.15	0,20	0,30	0,40	1,0×Z×E×N
S _B	0.08	0.15	0,20	0,30	0,40	1,0×Z×E×N
S _C	0.13	0.25	0,32	0,45	0,56	1,4×Z×E×N
S _D	0.18	0.32	0,40	0,54	0,64	1,6×Z×E×N
S _E	0.26	0.50	0,64	0,84	0,96	2,4×Z×E×N
S _F	Yerel zeminin incelenmesi gerekmektedir					

Tablo 6.2 ve 6.3’de kullanılan Z katsayısı binanın bulunduğu deprem bölgesine göre değişmektedir. Bu katsayı 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’de [14] tanımlanan A₀ katsayısı gibi değerlendirilebilir.

Tablo 6.4 Sismik bölge katsayısı, Z

Sismik Bölge Katsayısı					
Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0,075	0,15	0,20	0,30	0,40

Kullanılan E katsayısı binaya uygulanacak deprem etki seviyesini tanımlayan katsayıdır. Bölüm 5.1’de tanımlanan deprem etki seviyelerine göre değişmektedir.

Tablo 6.5 Deprem etki seviyesi katsayısı, E

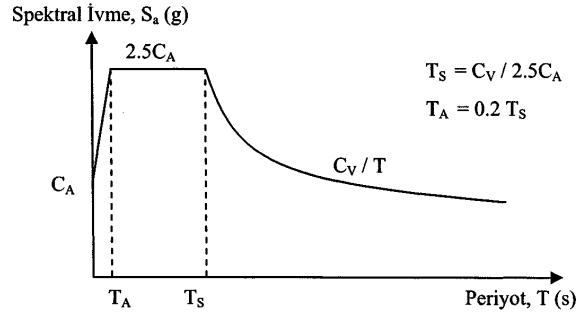
Deprem Etki Seviyesi	E
Kullanma Depremi (SE)	0,50
Tasarım Depremi (DE)	1,00
Maksimum Deprem (ME)	1,25-1,50

Kullanılan N katsayısı binanın bilinen herhangi bir sismik kaynağa (fay) olan uzaklığına göre değişen katsayıdır.

Tablo 6.6 Deprem kaynağı yakınlık katsayısı, N

Sismik Kaynak Tipi	Bilinen Sismik Kaynağa En Yakın Uzaklık							
	< 2km		5km		10km		> 15km	
	N _A	N _V	N _A	N _V	N _A	N _V	N _A	N _V
A	1,5	2,0	1,2	1,6	1,0	1,2	1,0	1,0
B	1,3	1,6	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

T_A, T_S, C_A ve C_V terimlerinin yardımıyla %5 sönümlü elastik karşılık spektrumu Şekil 6.2'deki gibi çizilir.

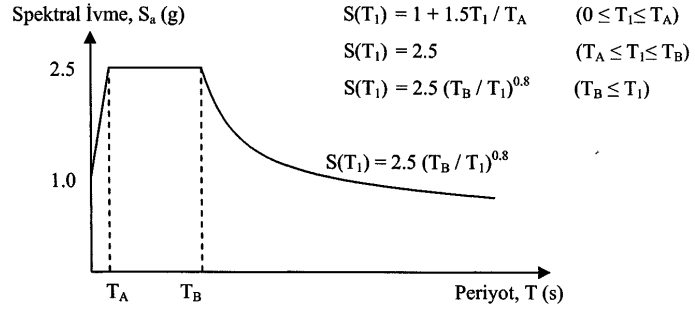


Şekil 6.2 %5 Sönümlü elastik karşılık spektrumu

ABYYHY'de 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 6.7'de, spektrumun oluşturulması ise Şekil 6.3'te gösterilmektedir.

Tablo 6.7 Zemin spektrum karakteristik periyotlarının belirlenmesi

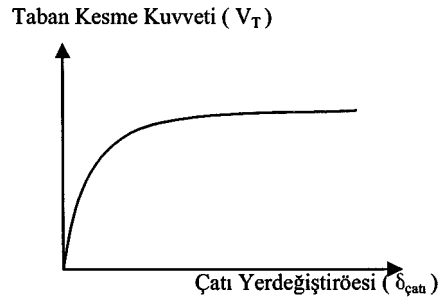
Zemin Grubu	Tanımlama		
A	Ayrışmamış sağlam kayalar, çok sıkı çakıl ve kum; sert kil ve siltli kil		
B	Ayrışmamış ve çatlaklı kayalar; sıkı çakıl ve kum; çok katlı kil ve siltli kil		
C	Yumuşak süreksiz düzlemli çok ayrılmış kayalar; orta sıkı çakıl ve kum; katı kil ve siltli kil		
D	Yeraltı su seviyesi 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 6.3 ABYYHY'e göre sönümlü elastik karşılık spektrumu

6.3.2. Kapasite eğrisinin oluşturulması

Daha önce de belirtildiği gibi yapısal kapasite, kapasite eğrisi ile temsil edilmektedir. Bu kuvvet – yer değiştirme eğrisi genel olarak Şekil 6.4'de gösterilen taban kesme kuvveti ile çatı uç noktasının yer değiştirmesinin bir fonksiyonudur.



Şekil 6.4 Kapasite eğrisi

Bazı doğrusal olmayan hesap yapabilen bilgisayar programlarında (SAP2000 Nonlinear, DRAIN-2DX, vb.) kapasite eğrisi doğrudan elde edilebilirken, ETABS, SAP90 gibi sadece doğrusal 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 etkililir. 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 yer değiştirmesi kaydedilir. Performans kontrolünde kullanılacağından eleman kuvvetleri ve dönmeler de kaydedilmelidir.
4. Plastik mafsalları oluşan kesitler için rijitlik sıfır alınarak model tekrar oluşturulur.
5. Yapı elemanlarında yeni bir plastik mafsalları oluşumu gözlenene kadar yükler artırılır.
6. Yklerdeki ve yer değiştirmedeki artışlar bir önceki adımda bulunan değerlere eklenir.
7. Yapı kapasitesi sınır duruma ulaşana kadar 4., 5. ve 6. adımlar tekrar edilir. Burada sözü edilen sınır durum, daha önceden belirlenen performans hedefine göre seçilebilir, yani çatı yer değiştirmesinin belirli bir değere ulaşması veya yapıda bir göçme mekanizması oluşması gibi.

6.3.3. 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 yer değiştirmenin de incelenmesi gerekmektedir. Bu analiz için iki farklı yol önerilmektedir. Genellikle birbirine yakın sonuçlar veren bu iki yöntemin ilki FEMA-273 raporunda açıklanan Yer Değiştirme Katsayıları Yöntemi, diğeri ise ATC-40 raporunun temel aldığı Kapasite Spektrumu Yöntemidir [6], [11]. Kapasite Spektrumu Yöntemi, indirgenmiş talep karşılık spektrumu ile kapasite eğrisinin çakıştırılması ve bu eğrilerin kesişme noktalarının bulunması esasına dayanmaktadır.

Kapasite Spektrumu Yöntemi'ndeki deprem talep yer değiştirmesi kapasite spektrumu zerindeki "Performans Noktası" adı verilen bir noktada oluşur. Bu performans noktası, belirli bir deprem hareketi ve bunun sonucunda bir talep yer değiştirmesi altındaki yapının sismik kapasitesini göstermektedir.

FEMA-273 raporunda açıklanan Yer Değiştirme Katsayıları Yöntemi'nde ise tek serbestlik dereceli sistemlerin zaman analizine bağlı istatistiksel sonuçlarının değerlendirilmesi temel alınmıştır. Bu yöntemde talep yer değiştirmesine "hedef yer değiştirme" adı verilmektedir.

6.3.4. Kapasite spektrumu yöntemi ile sismik talebin belirlenmesi

Performans Noktası'nın yeri aşağıdaki iki bağıntıyı sağlamalıdır:

1. Nokta, yapının belirli bir yer değiştirme altındaki durumunun temsil edilebilmesi için kapasite spektrumu eğrisinin üzerinde yer almalıdır.
2. Nokta doğrusal 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 hesaba kolaylaştıracak üç adet yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerin açıklaması ilerideki bölümlerde ayrıntılı olarak yapılacaktır.

6.3.4.1. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

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

Bu işlem sırasında kullanılacak formüller şu şekilde sıralanmıştır:

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i1} / g}{\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i1}^2 / g} \right] \quad (6.3)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \times \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (6.4)$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (6.5)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{PF_1 \times \phi_{\text{çatı},1}} \quad (6.6)$$

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_i : Birinci modun i. kattaki genliği

N : Yapı kat sayısı

V_T : Taban kesme kuvveti

W : Zati yük + hareketli yükler (katsayılarla çarpılmamış halde)

$\Delta_{\text{çatı}}$: Çatı uç yer değiştirmesi

S_a : Spektral ivme

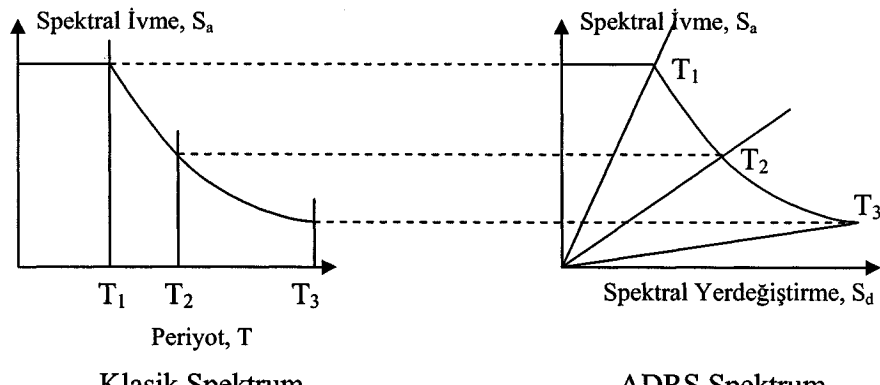
S_d : Spektral yer değiştirme

Kapasite eğrisinden kapasite spektrumuna geçmek için ilk olarak denklem 6.3 ve 6.4 kullanılarak PF_1 modal katılım katsayısı ile α_1 modal kütle katsayısı hesaplanır. Daha sonra denklem 6.5 kullanılarak taban kesme kuvvetinden S_a spektral ivmeye, denklem 6.6 kullanılarak $\Delta_{\text{çatı}}$ çatı uç yer değiştirmesinden S_d spektral yer değiştirmeye geçiş yapılır. Bu işlem kapasite eğrisi üzerindeki her nokta için tekrar edilerek kapasite eğrisinin dönüştürülmesiyle 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 6.7 ve denklem 6.8'da gösterilmektedir. Şekil 6.5'te ise bu geçişin grafik hali gösterilmiştir.

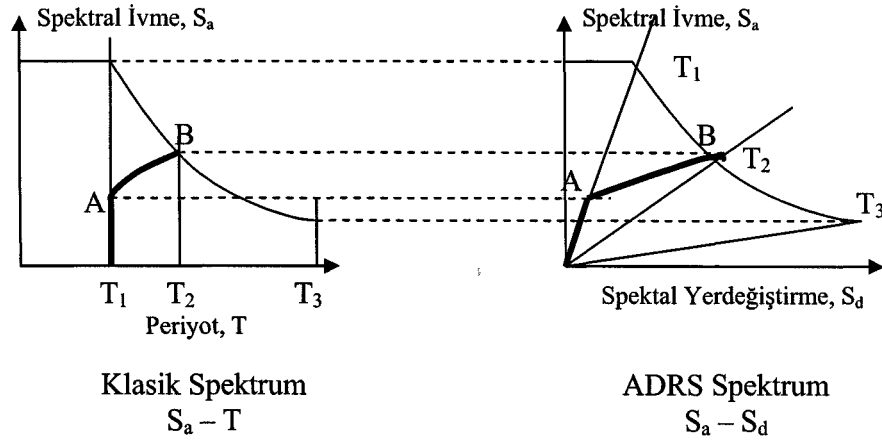
$$S_d = \frac{1}{4\pi^2} S_a \times T^2 \quad (6.7)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \quad (6.8)$$



Şekil 6.5 Klasik spektrum ve ADRS spektrum gösterimi

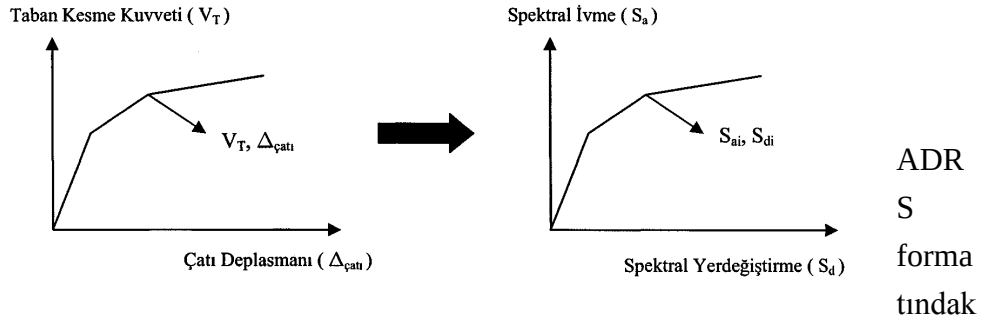
Şekil 6.5'de kapasite spektrumu ile karşılık spektrumunun çakıştırılmış hali klasik formatta ve ADRS formatında gösterilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde kapasite spektrumunun T_1 periyodunda A noktasına kadar sabit olduğu, B noktasına ulaştığında ise periyodun T_a olduğu görülmektedir. Bu durum yapıda gözlenen doğrusal 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 6.6 Karşılık spektrumları üzerinde kapasite spektrumunun gösterimi

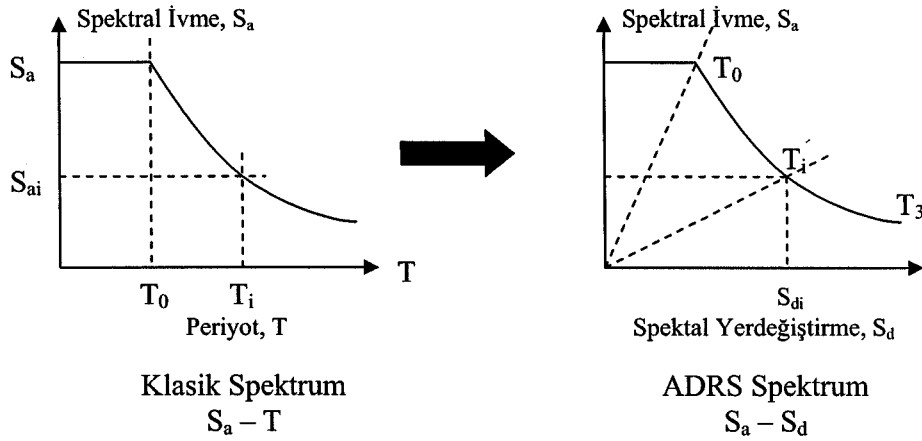
6.3.4.2. Elastik karşılık spektrumunun ve kapasite spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi

Kapasite Spektrumu Yöntemi'nin kullanılabilmesi için Elastik Karşılık Spektrumu'nun ve Yapısal Kapasite Eğrisi'nin spektral ivme ve spektral yer değiştirmenin bir fonksiyonu olarak gösterilmesi gerekmektedir. Bu şekilde oluşturulan bir spektrum "İvme-Yer Değiştirme Karşılık Spektrumu" olarak adlandırılmıştır.



i bir spektrumun üzerindeki her nokta S_a (spektral ivme), S_v (spektral hız), S_d (spektral yer değıştirme) ve T (periyot) değeriini içerir. Klasik formattaki bir spektrumun ADRS formatına çevirmek için her noktadaki S_d değeriinin belirlenmesi gerekir. Bu işlem için daha önce de sözü edilen denklem 6.7'nin genel hali kullanılır.

$$S_{di} = \frac{1}{\pi^2} S_{ai} \times T^2 \quad (6.9)$$



Şekil 6.7 Klasik spektrumun ADRS spektrumuna dönüştürülmesi

Kapasite eğrisinden kapasite spektrumuna geçmek için eğrinin her noktasında dönüştürüm yapmak gerekmektedir. Kapasite eğrisi üzerindeki V_i ve $\Delta_{çatı}$ değeriileri denklem 6.10 ve denklem 6.11 kullanılarak bunlara karşılık gelen S_{ai} ve değeriilerine dönüştürülür.

$$S_{ai} = \frac{V_i/W}{\alpha_1} \quad (6.10)$$

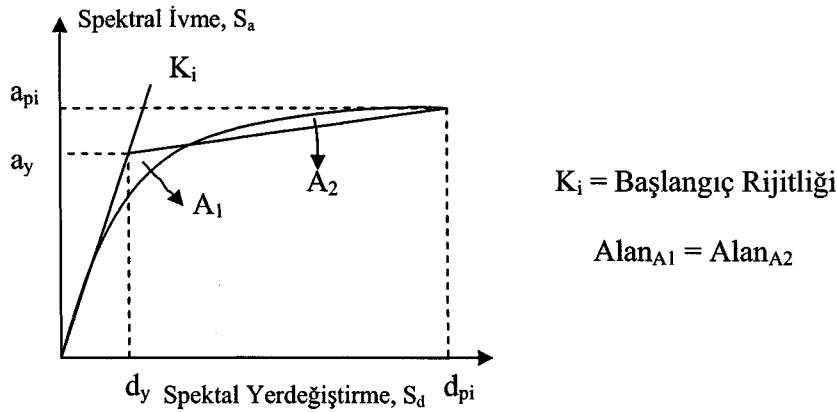
$$S_{di} = \frac{\Delta_{çatı}}{PF_1 \times \phi_{çatı,1}} \quad (6.11)$$

Şekil 6.8 Kapasite eğrisinin ADRS kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

6.3.4.3. Kapasite spektrumunun ideal 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 6.3.5'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 6.9'da da gösterildiği gibi A_1 ve A_2 alanlarını eşit olarak seçmenin sebebi, kapasite spektrumunun ve ideal hale getirilmiş kapasite spektrumunun altında eşit alan kalmasını sağlamaktır, böylece iki durumda da yapının sönümleyeceği enerji sabit kalacaktır.



Şekil 6.9 Kapasite spektrumu'nun ideal hale getirilmesi

6.3.4.4 Sönüm değerinin tahmini ve %5 sönümlü talep spektrumu'nun indirgenmesi

Kapasite ve elastik talep spektrumları, aynı spektral ivme-spektral yer değiştirme koordinat sisteminde, yani ADRS formatında ifade edildikten sonra, deprem etkileri altında yapı sisteminde oluşan doğrusal olmayan şekil değiştirmeler 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 6.12 ve 6.13'ün kullanılması gerekir.

$$\beta_{ef} = \kappa \beta_0 + 0,05 = \frac{0,637 \kappa (a_y \times d_{pi} - d_y \times a_{pi})}{a_{pi} \times d_{pi}} + 0,05 \quad (6.12)$$

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{s0}} \quad (6.13)$$

Bu bağtıda yer alan terimler şu şekilde açıklanmıştır:

β_{ef} : 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 $0,33 < \kappa < 1,00$ arasında değişen bir katsayıdır.

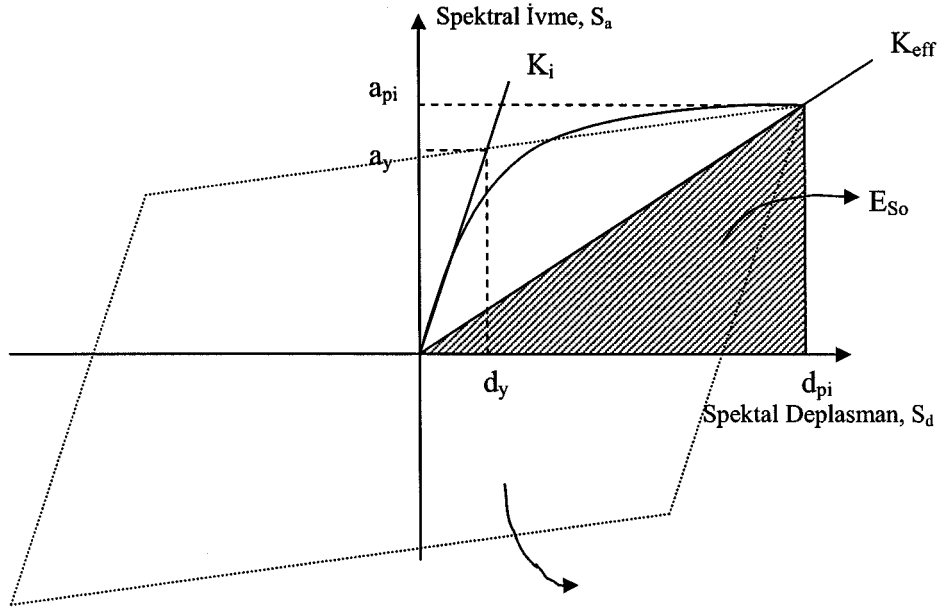
E_D : Sönümle yutulan enerji

E_{s0} :Elastik şekil değiştirme enerjisi

Şekil 6. 10'da görüldüğü üzere, etkili sönüm oranının hesaplanabilmesi için performans noktasının başlangıçta bilinmesi veya tahmin edilmesi gerekmektedir. E_D ve E_{s0} terimleri şekil üzerinde basit geometrik bağıntılar yardımıyla elde edilebilir. Bu bağıntılar denklem 6.14 ve 6.15'de gösterilmiştir.

$$E_D = 4(a_y \times d_{pi} - d_y \times a_{pi}) \quad (6.14)$$

$$E_{s0} = \frac{a_{pi} \times d_{pi}}{2} \quad (6.15)$$



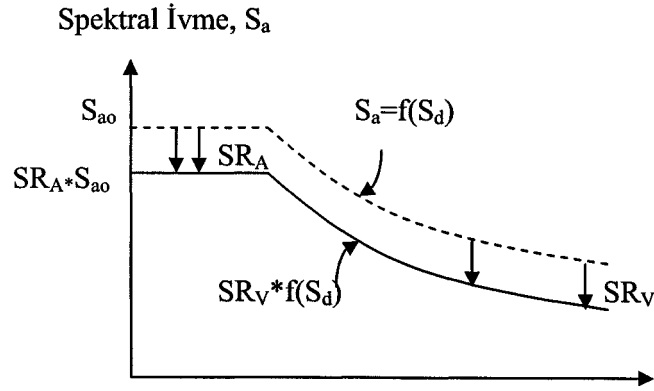
Şekil 6.10 Spektral indirgenme için sönümün gösterilişi

Spektral ivme - spektral yer değiştirme 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_{ef} etkili sönüm oranına bağlı olarak sırasıyla denklem 6.16 ve 6.17'de gösterilmiştir.

$$SR_A \approx \frac{3.21 - 0.68 \times \ln(\beta_{ef})}{2.12} \quad (6.16)$$

$$SR_V \approx \frac{3.31 - 0.41 \times \ln(\beta_{ef})}{1.65} \quad (6.17)$$

SR_A ve SR_V katsayıları kullanılarak yapılan indirgeme işlemi Şekil 6.11'de gösterilmektedir.

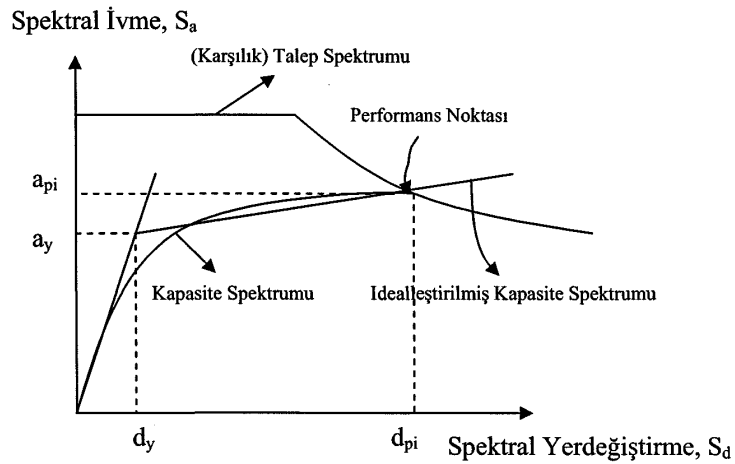


Şekil 6.11 İndirgenmiş talep spektrumu'nun elde edilmesi

6.3.4.5. 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 6.16'da gösterilmiştir. 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 yer değiştirmeyi göstermektedir. Kapasite spektrumu ve karşılık talep spektrumunun kesiştirilmesi Şekil 6.12'de gösterilmiştir.

$$0,95d_{pi} \leq d_i \leq 1,05d_{pi} \quad (6.18)$$



Şekil 6.12 Karşılık talep ve kapasite spektrumunun kesiştirilmesi

6.3.5. Performans noktasının belirlenmesi

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

6.3.5.1. Performans noktasının bulunması için 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 6.3.3.3'de anlatılan esaslar çerçevesinde kapasite spektrumu ideal (bilinear) hale getirilir.
5. 6.14 ve 6.15 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 6.16' 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 dönlür.
8. Bulunan kesişim noktası denklem 6.16'daki hassasiyet koşulunu sağlıyorsa, seçilen tahmini nokta performans noktasıdır. Bu durumda a_{pi} , d_{pi} koordinatları nokta a_p , d_p olarak alınır. d_p değeri belirlenen muhtemel deprem için maksimum yapısal yer değiştirmeyi göstermektedir.

7. SINIR DURUMLARI

7.1. Giriş

Bir yapının seçilen performans hedefine ulaşp ulaşmadığının kontrolü doğrusal 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 sınırlar, düşey yük kapasitesi, yatay yük direnci ve yanıl yer değıştirme sınırlarını içermektedir.
- **Eleman Kabul Sınırları:** Binanın taşıyıcı sistemlerini oluşturan elemanlar için ayrı ayrı belirlenen sınırları 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.

7.2. Beklenen Performansı Tanımlayan Sınırlar

Çeşitli performans seviyelerinin tanımları kaba hatlarıyla Bölüm 5'de verilmiştir. Bu kısımda belirli performans seviyeleri için taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda gözlenebilecek hasar sınırları açıklanacaktır. Hemen Kullanım, Hasar Kontrol, Can Güvenliği ve Göçmenin Önlenmesi performans seviyeleri için taşıyıcı elemanlardaki hasar sınırları Tablo 7.1'de gösterilmiştir.

Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans ve hasar ilişkisi ise Tablo 7.2'de gösterilmiştir.

Tablo 7.2 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 tavanda 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 ekipmanlar kullanılamaz haldedir. Çatı katları yıkılabilir.

7.3. Bina Kabul Sınırları

7.3.1. Düşey yükler

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.

7.3.2. 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 yer değiştirmeler 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 sınırları aşılmayacak şekilde olmalıdır. Bu durum eleman ve bileşenler bazında incelendiğinde, tüm elemanların mukavemet ve şekil değiştirme kapasitesi durumlarının kontrol edilmesi gerekmektedir.

7.3.3. Yatay yer değiştirmeler

Yapılan doğrusal olmayan analiz sonucunda bulunan performans noktasındaki yatay yer değiştirmenin belli sınır durumlarını geçmemesi gerekmektedir. Bu sınırlar Tablo 7.3'te gösterilmiştir. Burada söz edilen maksimum toplam ötelenme, performans noktası yer değiştirmesindeki 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 7.1'in sağlanması gerekmektedir.

$$\text{Maksimum Toplam Ötelenme} \leq 0,33\left(\frac{V_i}{P_i}\right) \quad (7.1)$$

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 7.3 Yatay rölatif yer değiştirme sınırları

	Performans Seviyesi			
Kat Ötelenme Sınırı	Hemen Kullanım	Hasar Kontrol	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
Maksimum Toplam Ötelenme	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33(V_i/P_i)$
Maksimum Elastik Olmayan Ötelenme	0,005	0,005-0,015	Sınırsız	Sınırsız

7.4. Eleman Kabul Sınırları

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

7.4.1. Birincil ve ikincil 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.

7.4.2. Eleman şekil değiştirme kapasitesi

Elemanlar için hesaplanan şekil değiştirme değerleri performans seviyeleri için belirlenmiş şekil değiştirme sınırlarını aşamaz.

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

Şekil değiştirme kapasitesinin hesaplanması yerine, tablolardaki sayısal sınırlar da kullanılabilir.

7.4.3. Çerçeve Sistemler

7.4.3.1. Kolon - kiriş çerçeveler

Kabul kriterleri kolon, kiriş ve bunların birleşim yerlerindeki dayanım ve şekil değiştirme 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.

7.4.3.2. Döşeme - kolon çerçeveler

Kabul kriterleri döşemelerde, kolonlarda ve bunların birleşim yerlerindeki dayanım ve şekil değiştirme 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.

7.4.4. Perdeli Sistemler

7.4.4.1. Boşluksuz perdeler

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

- Eğilme şekil değiştirme kapasitesi

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

7.4.4.2. Perde ve çerçeveler

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

- Perdelerin ve bağ kirişlerinin eğilme - şekil değiştirme 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.

7.4.5. Performans kriteri uygunluk tabloları

Performans kriterleri ile ilgili tablolar;

- Betonarme Kirişler (FEMA 356 Tablo 6.7)
- Betonarme Kolonlar (FEMA 356 Tablo 6.8)
- Betonarme Kolon - Kiriş Birleşimleri (FEMA 356 Tablo 6.9)

detaylı olarak açıklanmıştır.

8. 1975 ve 1998 DEPREM YÖNETMELİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

8.1. Giriş

Gelişen inşaat sektöründe yapılarda ki can güvenliğinin sağlanması amacıyla ülkemizde resmi gazetede yayınlanarak kanunlarca sabitlenmiş yönetmelik bulunmaktadır. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik adı ile anılan bu yönetmelik ihtiyaç duyulduğu zamanlarda konusunda uzman yetkililerce gözden geçirilerek yapı proje-üretim sektöründe çalışan mühendis ve firmalara sunulmaktadır.

T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı tarafından hazırlanıp, 9 Haziran 1975 tarih ve 15260 sayılı resmi gazetede yayınlanan yönetmelik; Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-Temmuz 1975 olarak anılmakta [13], 2 Temmuz 1998 tarih 23390 sayılı resmi gazetede yayınlanan değişikliklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-Temmuz 1998 [14] olarak güncellenmiştir.

1998 ABYYHY genel olarak proje hesap standartlarını içermekle birlikte deprem hesaplarına ağırlık vermektedir. Deprem Afetinden Korunma (Kısım III)'de depreme dayanıklı binalar için hesap kurallarını; betonarme yapılar, çelik yapılar, ahşap yapılar, yığma kargir yapılar, kerpiç yapılar ve temeller için depreme dayanıklı tasarım bölümlerini içermektedir.

1975 ABYYHY'de ise genel olarak uygulama boyut standartlarına yer vermekte olup Deprem Afetinden Korunma (Kısım III)'da betonarme yapılar, çelik yapılar, ahşap karkas yapılar, yığma kargir yapılar, yarım kargir yapılar, kerpiç yapılar ve depreme dayanıklı yapılar için hesap ilkeleri içermektedir.

8.2. Yapının Genel Davranışı

ABYYHY 1998'de depreme dayanıklı bina 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

önlenmesi” olarak tanımlanmış, şiddetli deprem tanımlaması olarak da Bölüm 5.1 Deprem Etki Seviyesi’nde açıklanan 50 yıllık periyot içinde aşılma olasılığı %10 olan (%10/50 yıl) Tasarım Depremi (DE) esas alınmıştır. ABYYHY 1975’de ise böyle bir tanımlama bulunmamaktadır.

8.3. Yapısal Düzensizlik Kavramı

Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensiz binaların tanımlanması ABYYHY 1975’de taşıyıcı sistemi düzenli ve taşıyıcı sistemi düzensiz yapılar olmak üzere ikiye ayrılır. Taşıyıcı sistemi düzenli yapılar; taşıyıcı sistemleri döşeme ya da kirişler ile düşey kolonlardan oluşan, kolon ve perdeleri sürekli olarak temele kadar inen yapılar, taşıyıcı sistemi düzensiz yapılar; taşıyıcı sistemi düzenli yapılar tanımlaması dışında kalan ve rijitlik ya da kütle yayılımı bakımından süreksiz ya da düzensiz yığılmalar gösteren yapılar olarak 1975 yönetmeliğinde tanımlanmıştır.

ABYYHY 1998’de düzensizlik kavramı daha geniş ele alınmış ABYYHY’nin bölüm 6.3’de “Düzensiz Binalar” başlığı altında; Planda düzensizlik ve Düşey doğrultuda düzensizlik durumları olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Bu düzensizlik tanımlamaları Tablo 8.1’de gösterilmektedir.

8.4. Deprem Bölgesi Belirlenmesi Kavramı

Deprem yükleri belirlenirken, her 50 yıllık bir sürede aşılma olasılığı %10 olan (Tasarım Depremi) depremin etkileri esas alınmış ve yurdumuz deprem bölgesi bakımından daha önceki depremlere ait kayıtlar gözönüne alınarak, beş bölgeye ayrılmıştır. Birinci bölge tehlikesi en çok olan kısımları gösterirken, beşinci bölge tehlikesi en düşük olan bölgeleri kapsamaktadır.

8.4.1. Etkin yer ivmesi katsayısı

Etkin yer ivmesi katsayısı ABYYHY 1998’de Tablo 8.2’deki gibi A_0 notasyonu altında, ABYYHY 1975’de ise C_0 notasyonu altında Tablo 8.3’deki gibi tanımlanmıştır [7].

Tablo 8.1 Düzensiz binalar

A – PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
<u>A1 – Burulma Düzensizliği :</u> Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı h_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu (Sekil 6.1). $[h_{bi} = (D_{i})_{max} / (D_{i})_{ort} > 1.2]$ Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak, 6.7'ye göre yapılacaktır.	6.3.2.1
<u>A2 - Döşeme Süreksizlikleri :</u> Herhangi bir kattaki döşemede (Sekil 6.2) ; I - Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu, II - Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu, III - Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu	6.3.2.2
<u>A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması :</u> Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Sekil 6.3).	6.3.2.2
<u>A4 - Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması:</u> Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, göz önüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumu (Sekil 6.4).	6.3.2.3
B – DÜŞEY DOĞRULTUDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
<u>B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) :</u> Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı h_{ci} 'nin 0.80'den küçük olması durumu. $[h_{ci} = (\sum A_{ei}) / (\sum A_{ei+1}) < 0.80]$ Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı : $\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k$ (Simgeler için Bkz. 7.0)	6.3.2.4
<u>B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) :</u> Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'ninci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı h_{ki} 'nin 1.5'tan fazla olması durumu. $[h_{ki} = (D_{i})_{ort} / (D_{i+1})_{ort} > 1.5]$ Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak 6.7'ye göre yapılacaktır.	6.3.2.1
<u>B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği :</u> Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya kirişlere oturtulması durumu (Sekil 6.5).	6.3.2.5

Tablo 8.2 Etkin yer ivmesi katsayısı A_0 , ABYYHY 1998

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Tablo 8.3 Deprem bölge katsayısı C_0 , ABYYHY 1975

Deprem Bölgesi	C_0
1	0.10
2	0.08
3	0.06
4	0.03

8.4.2. Bina önem katsayısı

Bina önem katsayısı ABYYHY 1998’de Tablo 8.4’de, ABYYHY 1975’de ise Tablo 8.5’deki gibidir.

Tablo 8.4 Bina önem katsayısı, ABYYHY 1998

Yapı Cinsi	I
a) Bir deprem süresince ya da hemen sonra kullanılması zorunlu yapılar (PTT, itfaiye ve radyoevi yapıları, kuvvet santralleri, pompa istasyonları, hastaneler, istasyon ve terminaller, rafineriler v.b.)	1,5
b) Önemli ve değerli yapıları saklayan yapılar (müzeler v.b.)	1,5
c) Halkın çok yığıldığı yapılar (Okullar, Spor tesisleri, tiyatrolar, sinema ve konser salonları, ibadet mahalleri, v.b.)	1,5
d) Halkın az yığıldığı yapılar (özel konutlar, oteller, iş yerleri, lokantalar, endüstri yapıları v.b.)	1,0

Tablo 8.5 Bina önem katsayısı, ABYYHY 1975

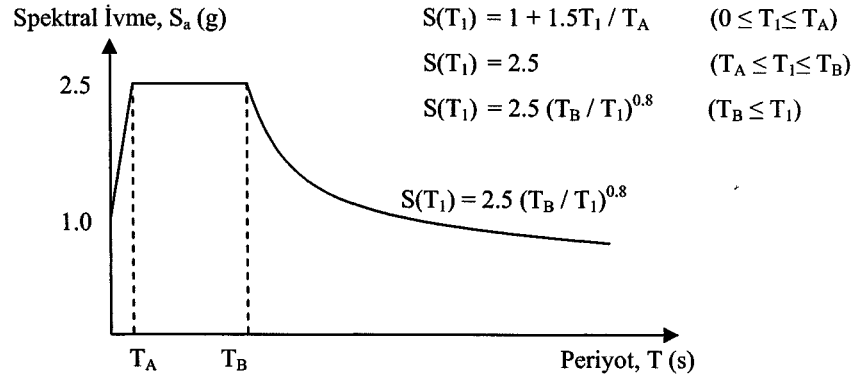
Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u> a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
<u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1,4
<u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1,2
<u>4. Diğer binalar</u> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1,0

8.4.3. Hareketli yük katsayısı

Hareketli yük katsayısı tanımlaması olarak ABYYHY 1998 ve ABYYHY 1975’de aynı değerler kullanılmıştır.

8.4.4. Spektrum katsayısı

1998 yönetmeliğinde; Spektrum katsayısı, $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T ’ye bağlı olarak hesaplanacaktır. Hesaplar sonucunda, Spektral ivme - Periyot grafiği Şekil 8.1’de gösterildiği gibi gerçekleşir.



Şekil 8.1 %5 ABYYHY'e göre sönümlü elastik karşılık spektrumu

1975 yönetmeliği ise; yapı dinamik katsayısı (spektrum katsayısı)'nı verilen

$$S = \frac{1}{|0.8 + T + T_0|} \quad (8.1)$$

T_0 : Zeminin hakim periyodu

$$T = \frac{0.09H}{\sqrt{D}} \quad (8.2)$$

H : Binanın temel üst kotundan ölçülen yüksekliği

D : Yatay yükler doğrultusuna paralel doğrultudaki bina genişliği

denklemini ile hesaplatmış ve de “bu formülden bulunan S değeri en fazla 1,0 alınır” uyarısını bir ya da iki katlı her tür yapıda ve yığma binalarda kullanılması için eklemiştir.

8.5. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

Taşıyıcı sistem davranış katsayıları Tablo 8.6’da verilen süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler ve süneklik düzeyi düşük taşıyıcı sistemler ve uyulması gereken koşullar anlatılmaktadır.

Tablo 8.6’da süneklik düzeyi yüksek olarak göz önüne alınacak taşıyıcı sistemlerde, süneklik düzeyinin her iki yatay deprem doğrultusunda da yüksek olması zorunludur. Süneklik düzeyi bir doğrultusunda yüksek, buna dik diğer deprem doğrultusunda ise normal olan sistemler, her iki doğrultuda da süneklik düzeyi normal sistemler olarak ele alınacaktır [14].

Tablo 8.7 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (K) ABYYHY 1975

Yapı Tipi	K
Aşağıda tanımı yapılmamış tüm sistemler	1,00
Tüm perde duvarlı kutu sistemler	1,33
Çerçeveleri yatay yüklerin tamamını taşıyabilen çerçeve taşıyıcı sistemler	
1. Düktil çerçeveler (çelik ya da betonarme)	a)0,60 b)0,80 c)1,00
2. Düktil olmayan çerçeveler	a)1,20 b)1,50 c)1,50
3. Diyagonal çelik kafes çerçeveler	a)1,33 b)1,50 c)1,60
Düktil çerçeveleri ile yatay yüklerin en az %25'ini taşıyabilen perde duvarlı sistemler	a)0,80 b)1,00 c)1,20
Yığma binalar	1,50
Bağımsız zemin üstü hazneleri	3,00
Binalarda başka yapılar, bacalar, kuleler	2,00

8.6. Deprem Yüğü Hesap Yöntemleri

ABYYHY 1998 hesap yöntemleri hakkında; Binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler, yönetmelik bölüm 6.7'de verilen Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, yönetmelik 6.8'de verilen Mod Birleştirme Yöntemi, yönetmelik 6.9'da verilen Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleridir. Yönetmelik 6.8 ve 6.9'da verilen yöntemler, tüm binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılabilir.

1975 yönetmeliğinde; deprem yüğü hesap yöntemi olarak taşıyıcı sistemi düzenli yapılarda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi esas alınmış, “taşıyıcı sistemi düzensiz olan veya temel üst kotundan ölçülen yüksekliği 75 m'yi geçen tüm yapıların depreme karşı emniyetleri, usulüne ve güvenilir bir dinamik hesap yolu ile saptanmalıdır” denilmiştir [13].

Böyle bir dinamik hesapta zemin ve yapının dinamik özellikleri ayrıntıları ile gözönünde tutulur. Gerçek ya da idealleştirilmiş spektrumlara göre mod birleştirme yöntemi ya da depreme davranışın zamana göre integrasyonu v.b.: yöntemlerinden biri ya da model deneyleri kullanılabilir. Ancak, dinamik hesap sonucunda bulunacak toplam yatay yükler bu bölümdeki hesap ilkelerine göre bulunan değerlerin %70'inden daha küçük olamaz [13].

8.7. Betonarme Yapı Elemanları İçin Kurallar

ABYYHY 1998'de yapı elemanları (kolon, kiriş, perde) süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal elemanlar olmak üzere iki kısma ayrılır.

8.7.1. Döşemeler

Normal kat betonarme döşemelerinin kalınlığı en az 10 cm çatı döşemelerinin ise en az 8 cm olacaktır. Kirişsiz döşemeler statik yüklere ek olarak depremden meydana gelecek zorlamaları emniyetle taşıyabilecek ve düşey taşıyıcı elemanlara aktarabilecek boyut ve donatıyı kapsamalıdır [13].

8.7.2. Kirişler

ABYYHY 1975'e göre; Çerçeve kirişleri en az 20x30 cm kesitinde olacak, ve gövde genişliğine kiriş yüksekliğinin 1,5 katını eklemekle bulunan değeri geçmeyecektir [13]. ABYYHY 1998'e göre ise kiriş gövde genişliği en az 250mm olacaktır. Gövde genişliği, kiriş yüksekliği ile kirişin birleştiği kolonun kirişe dik genişliğinin toplamını geçmeyecektir. Kiriş yüksekliği döşeme kalınlığının 3 katından ve 300mm'den daha az, kiriş gövde genişliğinin 3,5 katından daha fazla olmayacaktır [14].

8.7.3. Kolonlar

Kolonların en küçük boyutu 25 cm'den ya da kat yüksekliğinin 1/20'sinden küçük, geniş kenarın dar kenara oranı 3.0'den daha büyük olamaz. Yuvarlak kolonlarda çap en az 30 cm olacaktır. Kolonlardaki boyuna donatı yüzdesi en az 0,01 en fazla 0,035 (BS225) olmalıdır. Kolonlardaki boyuna donatı için BÇIII den daha yüksek nitelikte çelik kullanılamaz [13].

Her kolonun alt ve üst uçlarında betonun sıkıca çemberlenmesini sağlamak ve böylece normal, kayma ve eğilme gerilmeleri altında gevrek bir şekilde, aniden kırılmasını önlemek amacıyla kolon sarılma bölgeleri bulunacaktır. Bu bölgelerin uzunluğu, döşeme üst kotundan ve kolona bağlanan en derin kirişin alt yüzünden

başlayarak, kolon enkesitinin büyük boyutu, kolon serbest yüksekliğinin 1/6'sı veya 45 cm'den az olamaz [13].

8.7.4. Kiriş - kolon birleşim bölgeleri

kolonların kirişlerle olan birleşim bölgeleri burada mevcut olabilecek en büyük kesme kuvvetine göre etriyelerle donatılmalıdır. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde birim boya rastlayan etriye miktarı, kolon orta bölgesinde birim boya rastlayan etriye miktarından az olamaz [13].

8.7.5. Perdeler

Perde duvarları yatay yükler altında meydana gelecek momentleri, eksenel kuvvetleri ve kesme kuvvetlerini taşıyabilecek şekilde projelendirilecektir. Perde, planda uzun kenarının kalınlığına oranı en az beş olan düşey taşıyıcı elemanlardır. Betonarme taşıyıcı perde duvar kalınlığı kat yüksekliğinin ve perde genişliğinin 1/20'sinden ya da 15 cm'den az olamaz. Güvenilirliği hesapla gösterilmiyor ise bu en az kalınlık 10m perde yüksekliği için alınmalı, daha yüksek perdeler de aşağı doğru her 6 m ek yükseklik için en az kalınlık 2 cm artırılmalıdır [13].

8.7.6. Temeller

Yapı temelleri, oturma ve farklı oturmalarından dolayı üst yapıda hasara nedene olmayacak ve işlevini önlemeyecek biçimde, oturdukları zeminin özelliklerine göre, zemin mekaniği prensipleri göz önünde tutularak projelendirilecek ve yapılacaktır. Kısmi bodrum yapılmasından kaçınılacaktır [13].

9. STATİK İTME ANALİZİ İÇİN TAŞIYICI SİSTEMİN BİLGİSAYARDA MODELLENESİ

9.1. Esaslar

Doğrusal olmayan bir hesap yöntemi olan statik itme yöntemi, çok sayıda parametrenin bir araya getirilerek hesaplama yapılmasını gerektirdiği için hızlı ve etkin bir sonuç elde etmek amacıyla hazır bir analiz programı olan ETABS 8.4.7 tercih edilmiştir. Bu programda yapıya ait tüm elemanları davranışları, hasar sınır oranları, programın kendisi tarafından modellenenebilir, ancak kullanıcının da elemanları kendisi modelleme imkanı sunulmaktadır. Analize geçilmeden önce ilgili yapı modeli; eleman boyutları, kesitler, yapıya etkiyen yükler ve malzeme özellikleri programda oluşturulur.

Bu programda statik itme yöntemi sadece çerçeve tipi elemanlara uygulanabildiği için, perde duvarı gibi elemanlar plak şeklinde modellenemez, bu türdeki elemanlar çerçeve elemanı olarak tarif edilmelidir.

Tüm yapının programda modellenmesinden ve yüklerin girilmesinden sonra statik itme yöntemi için gerekli olan kesit özelliklerine ait verilerin tanımlanmasına başlanır. Bu amaçla mafsallara ait özelliklerin (Hinge Properties) tespit edilmesi ve elemanlara atanması gerekmektedir. ETABS programında diğer programlarda olduğu gibi program tarafından önceden tanımlanmış mafsallar (default hinges) ve kullanıcı tarafından başka tür hesap programlarından (section buider v.d.) elde edilebilen mevcut sistemdeki kesit özelliklerine göre program tarafından verilen moment-eğrilik diyagramlarına göre tanımlanabilen kullanıcı tanımlı (user defined) mafsallar da mevcuttur. Bu iki tip mafsal özelliklerinden biri seçilerek ETABS programında çubuk elemanlara tanımlanabilir. Programda doğrusal olmayan davranış sadece kullanıcı tarafından plastik mafsal atanan yerlerde oluşur.

Moment, normal kuvvet, burulma ve kesme kuvvetinden dolayı oluşan mafsal tanımlanabileceği gibi aynı zamanda normal kuvvet ve momentin de birlikte olduğu durum içinde mafsal tanımlanabilmektedir.

Analiz programı, yapı elemanlarının akma noktalarına kadar olan davranışlarını elastik olarak değerlendirmektedir. Yapı elemanı önce elastik olarak hareket eder, akma noktasının aşılmasından sonra plastik şekil değiştirme yapar. Bir miktar bu değerde şekil değiştirme yaptıktan sonra da belirli bir yer değiştirme değerinde ani bir gerilim boşalması ile sistem çok az bir moment taşıma kapasitesine erişir, göçme şekil değiştirmesine erişinceye kadar eleman bu değerde moment taşımaya devam eder.

Kullanıcı tanımlı mafsallarda, her bir eleman için moment-eğrilik değişimlerinin elde edilmesi ile bu eğriliklerdeki eğrilik sütunundaki değerler kesitlerin plastik mafsal boylarıyla çarpılarak kesitin moment-dönme grafiği elde edilir. Kesitin elastik sınırdan sonraki dönme değerleri için program tarafından tanımlanması istenilen davranış şekli FEMA 356 bölüm 6 kısım 6.4.1.2.2’de belirtilen şekildir. Bundan sonraki aşama ise kesitin hangi şekil değiştirme değerlerinde hangi hasar seviyesinde olduğunun programa tanımlanması olmaktadır. Hasar seviyeleri daha önceden tarif edilen performans değerleridir. IO, LS, CP kısaltmaları ile isimlendirilen hasar seviyeleri kesitin alacağı kesme kuvveti, donatı oranları ve etriyelerin uygun olup olmadığı gibi koşullar için farklı olarak FEMA 356 bölüm 6’da bulunan ilgili tablolarda tarif edilmektedir. İstenilirse analiz programında kabul edilen katsayılarla kabul edilebilir. Hasar seviyesine ilişkin katsayı değerleri, akma şekil değiştirme değerinin katları olarak ele alınır.

Programda yapıdaki bütün elemanlarda göz önünde bulundurulacak şekilde üç tip geometri bakımından doğrusal olmama seçeneği vardır. Bunlar bu etkinin hesaba katılmadığı durum, P-delta seçeneği ve P-delta ile büyük yer değiştirmelerin birlikte bulunduğu seçenektir. P-delta seçeneğinde denge denklemleri yapının şekil değiştirmiş durumunu kısmen dikkate alır. P-delta ve büyük şekil değiştirmeler seçeneğinde ise denge denklemleri yapının şekil değiştirmiş ekseninde yazılır.

9.2. Kabuller

ETABS programı hesapları daha kolaylaştırmak için hesap yöntemlerinde bazı kabuller yapmıştır:

1. Betonarme çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarının iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilebileceği varsayılır.
2. Doğrusal olmayan eğilme, uzama ve burulma şekil değiştirmelerinin plastik kesitlerde toplandığı, bu kesitler dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilir.

3. Akma koşulları eğilme momentlerine, normal kuvvete ve burulma momentine bağlıdır. Kesme kuvvetlerinin akma koşullarına etkisi alınmamıştır.
4. Bileşik eğik eğilme durumunda, akma vektörünün akma yüzeyine dik olduğu varsayılmaktadır.
5. Yapı sistemlerinin narinliğine ve normal kuvvetlerin büyüklüğüne göre birinci veya ikinci mertebe teorisi uygulanmaktadır.
6. Çubukların asal düzlemleri içindeki yer değiştirmelerin denge denklemlerine etkisi göz önüne alınmış fakat burulma yer değiştirmelerinden oluşan ikinci mertebe etkileri terkedilmiştir.
7. Sistemin yer değiştirmesi sırasında yüklerin doğrultularının değişmediği kabul edilir.
8. Sistemi oluşturan çubukların doğru eksenli, sabit en kesitli ve normal kuvvetin çubuk boyunca değişmediği kabul edilmektedir.

Bu kabuller doğrultusunda yapı ETABS programında modellenir.

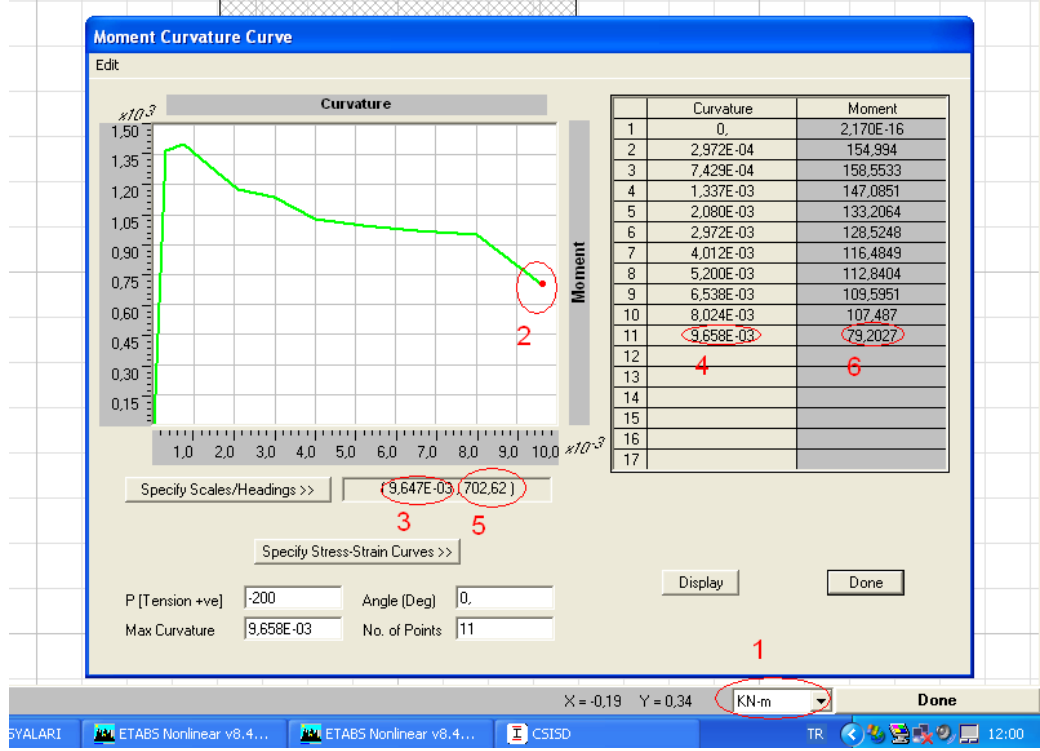
9.3. Section Designer Programı

Statik itme analizinde kullanılmak üzere gerekli olan moment- eğrilik değerlerini Section Designer programından temin edilebilir. ETABS yazılımını üreten CSI Berkeley firmasının bir ürünü olan Section Designer tanımlanan kesit ve malzeme özelliklerine göre girilen normal kuvvet altındaki moment-eğrilik grafiğini, kesitin PMM etkileşimli normal kuvvet-moment grafiğini (interaction surface) çizebilmektedir. CSI Berkeley firmasının bir ürünü olmasına karşın programda bazı hataları tespit edilmiştir, bu hatalardan dolayı yapının statik itme analizinde kullanıcı tanımlı (user defined) mafsallar kullanmak yerine bilgisayar tanımlı (default) mafsallar kullanmayı tercih ettim. Bu hatalar ve mektup bir sonraki bölümde detaylı olarak işlenmiştir.

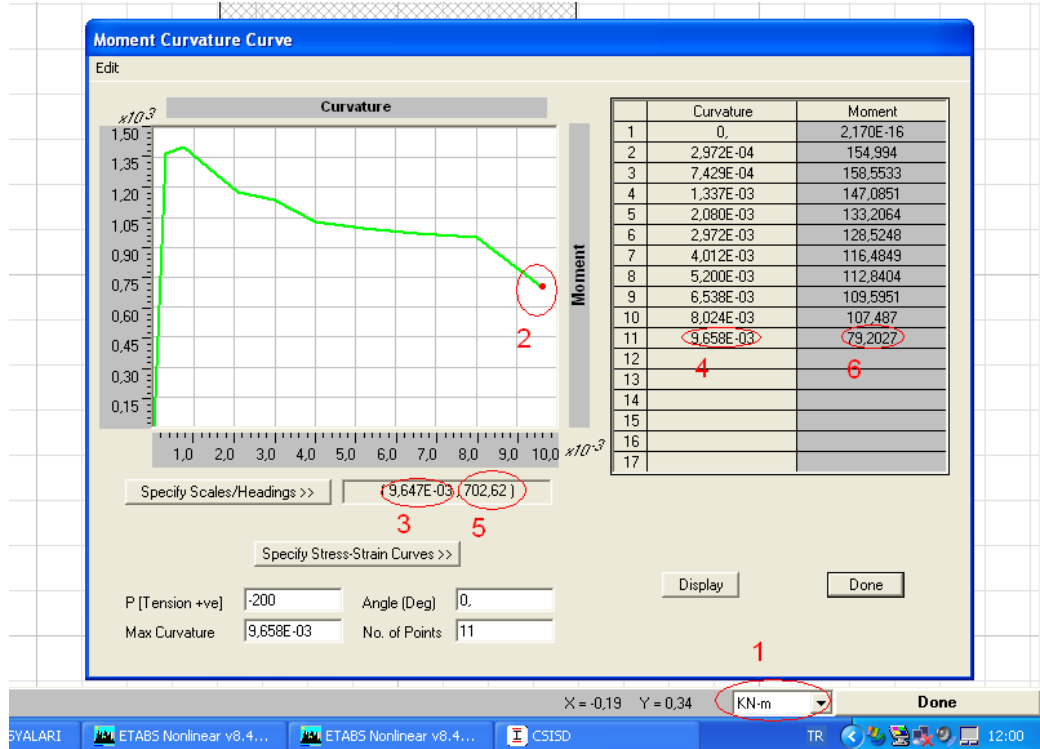
9.3.1. Section designer programındaki hatalar

Section Designer programında tespit ettiğim ilk hata tanımlanmış kesite belirli bir normal yük altında programın sonuç olarak sağladığı moment-eğrilik grafiğinde birimleri değiştirmeniz halinde grafikten okuduğunuz moment değeri programı hangi birime alırsanız alın değişmeyip “kip-in” kalması. Şekil 9.1 de görüldüğü gibi programın birimi “kN/m” (1 numaralı kırmızı kutu), grafikte 2 numaralı kırmızı kutuda işaretlendiği gibi kesitin değerini okumak istersek; birimsiz eğrilik

değerlerinin (kırmızı ile işaretli 3 ve 4 numaralı kutular aynı olup, gene kırmızı ile işaretli 5 ve 6 numaralı kutulardaki değerler (moment değerleri) farklı olduğunu görebilirsiniz.



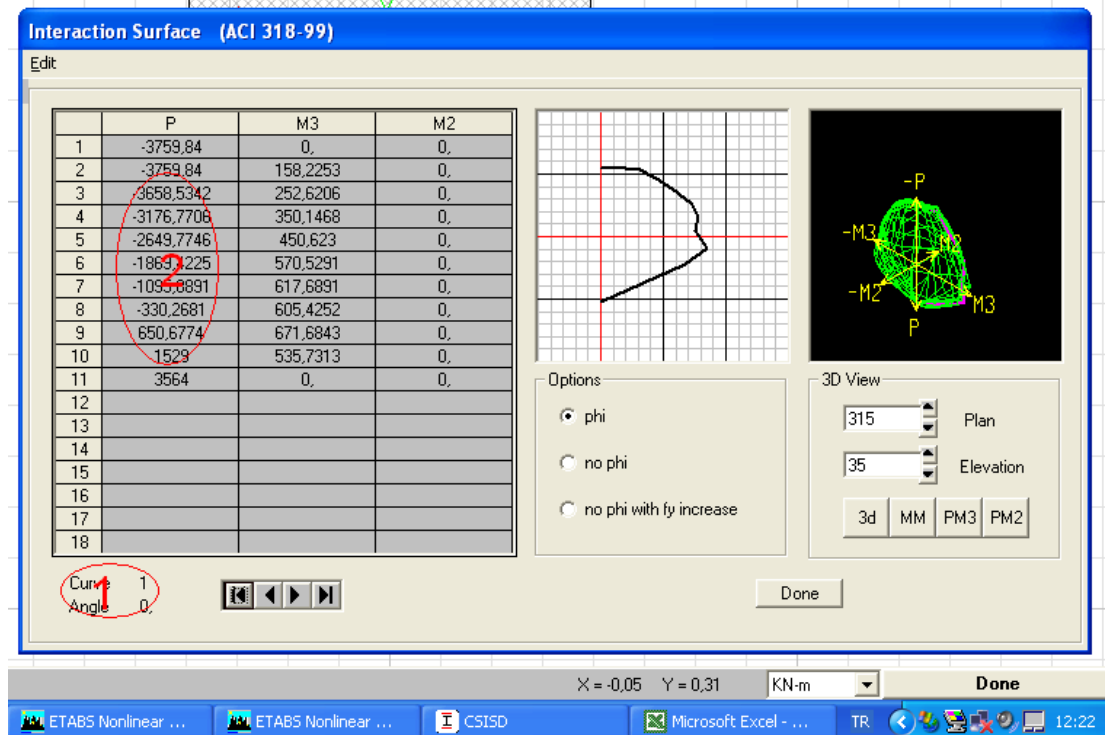
Şekil 9.1 Program birimi Kip-in'den farklı haldeki ekran görüntüsü



Şekil 9.2 Program birimi Kip-in halindeki ekran görüntüsü

Şekil 9.2’de ise programın değerini “kip-in” olarak değiştirdiğimizde iki yolla elde edilen moment değerlerinin eğriliklerde olduğu gibi aynı olduğunu görebiliriz. Bu hata basit bir programlama hatası olup moment-eğrilik değerlerini grafik üzerinden okumak isteyenlerde yanıltıcı sonuçlar doğurabilir.

Programın diğer bir hatası ise aynı firma-üniversite tarafından yazılmasına rağmen Etabs programında kullanılabilir sonuç vermemesidir. Etabs programı mafsallı özellikleri tanımlarken kesitlere (normal kuvvet ve eğilme taşıyan kesitler) etkileşimli eğri diyagram yüzeyinin oluşturulması için kesitlerin PMM değerlerini istemektedir. Etabs programının istediği tek P noktasına denk gelen M3 ve M2 değerleri olup, Section Designer programı ise Şekil 9.3 ve 9.4 de görüldüğü gibi M3 ve M2 değerleri için farklı P değerlerini vermektedir. 1 numaralı kırmızı kutuda ki açı değerini 0 ve 90 derece yaparak görebildiğimiz P-M değerleri Etabs programı için kullanışsız olup beni çalışmamda plastik mafsalları bilgisayar destekli kullanmaya yöneltmiştir. Bu görüşleri ayrıca Kutlu DARILMAZ ve Cem ÖZER de paylaşmaktadır [20], [22].



Şekil 9.3 P-M3 Section designer sonuç ekranı

I did use the etabs for analyse the system and also used the section designer to find out the moment-curvatures curves to crate the hinghes for all members one by one.

But,

As i realised that there is some mistakes on the section designer version 8.5

First, when you want to get the moment-curvature curve lets say we did accept the units kN-m (Şekil 9.1 kN/m-kip/in) and after the displaying of the entered P value there is a graphic of this "P" value.

Now there is the problem; let's say we want to read the point of last node (Şekil 9.1, daire 2) the curvature result the same as graphic and the table (Şekil 9.2 daire 3,4), however moment result of the graphic and the table not the same (Şekil 9.1 daire 5ve 6)

I did work on it, to get the reason why it is. I realised that when we changed the units to kip-inc result of the graphic and the table have the same results.

Who did write the programe must be forget to change the graphic results as units. (Şekil 9.2 kip-in;kip-in)

I think it is so important, if someone work it on, the graphic with another units will give the wrong results.

Second problem of the programe is, when we want to enter the column hinghes we have to descibe the PMM intaraction surface so we have to get the PMM interaction result table for the each member.

But, as you can see the section designer pograme could'nt create the surface because given results for each angles (Şekil 9.3 daire 1 v 2)

given P values are different for each angles.

There is example for it (Şekil 9.4 PMM daire 1 ve 2) P values different

The ETABS is only wants one P value and several M's (M2-M3)

Your respectfully

Civil Engineer Hakan US

Master degree on ITU

www.itu.edu.tr

This message was sent using IMP, the Internet Messaging Program.

10. MEVCUT BİNANIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİ

10.1. Amaç

Genel olarak bu çalışmada, bir betonarme taşıyıcı sistem için parametrik uygulamasından bahsedilecektir. Seçilen tip okul projesinin 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe göre inşaa edilmiş olduğu varsayılmıştır. 1975 Deprem yönetmeliğine göre olası uygulama projesi hazırlanıp bu projenin 1998 yönetmeliğine göre deprem güvenliği çeşitli sistem parametrelerine göre incelemiştir.

10.2. İncelenen Yapının Tanımı

İncelenen yapı betonarme bir okul binası olup, zemin kat ve iki normal kata sahip bir okul yapısıdır, bodrum kat bulunmamaktadır. Yapı planda 40,5m × 19,1m boyutlarında, her kat için kat yükseklikleri 3,2 m, kat alanı 773,55m² dir. Yapının bütün eksenleri düzenli ve 12 eksene 4 eksenden ibarettir. Taşıyıcı sistemi kolon ve perdelerden oluşan yapıda bir adet merdiven bulunmakta, mevcut kolonların boyutları her katta 30cm × 60cm, 40cm × 60cm, 50cm × 50cm, perdelerin boyutları ise 30cm × 390cm dır. Bütün kirişler kolonlara ve perdelerle mesnetlenmiş ve 30cm × 70cm boyutlarındadır. Yapının kat kalıp planı Şekil 10.1'deki gibidir.

10.3. Mevcut Binanın Deprem Performanslarının Belirlenmesi

10.3.1. Giriş

Yapının Etabs bilgisayar programı modellemesinde; döşemeler sisteme dahil edilmediğinden döşemelerden kirişlere ve perdelerle gelen düşey yükler üçgen ve yamuk yükler olarak, kirişlere ve perdelerle, yatay yükler Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemince deprem yönetmeliği 1975'e göre hesaplanan değerler sonucunda her katın yapı kütle merkezine tekil kuvvetler olarak etkitilmiştir. Daha sonra yine yatay itmeden ve düşey yükler altındaki sisteme doğrusal olmayan itme analizi uygulanmış ve mevcut binanın deprem davranışı incelenmiştir.

Şekil 10.1 Analizi yapılacak yapının kat kalıp planı

10.3.2. Genel yapı bilgileri

Döşeme plağı tanımlanmaya sistemde yayılı yükler koridor, merdiven olarak teşkil edilen döşeme bölümlerinde $5,00 \text{ kN/m}^2$, sınıf olarak kabul edilen döşemelerde 3.50 kN/m^2 , düşük döşemelerde ise $2,00 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır. Döşemelerin kendi ağırlıkları, 12 cm kalınlıklı döşemelerde, $4,81 \text{ kN/m}^2$, 14 cm kalınlıklı döşemelerde, $5,31 \text{ kN/m}^2$, düşük döşemelerde, $7,15 \text{ kN/m}^2$, merdiven döşemesinde, $5,56 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır.

Kat sayısı : Zemin + 2 Kat

Kat yüksekliği : 3,2 m

Toplam kat yüksekliği : 9,6 m

Dış duvar kalınlığı : 19 cm

Dış duvar malzemesi : Delikli tuğla (20-20-19)

İç duvar kalınlığı : 9 cm

İç duvar malzemesi : Delikli tuğla (20-20-9)

Döşeme kalınlığı : 12 cm, 14 cm

Döşeme tipi : Kirişli plak döşeme

Hareketli yük katılım katsayısı : 0.6

Deprem bölgesi : II. Deprem bölgesi

Deprem bölge katsayısı : $Z=0,30$

Etkin yer ivmesi katsayısı : $A_0=0,3$

Deprem etkin yer ivme katsayısı : $C_0=0.08$

Bilinen deprem kaynağına uzaklığı : 10 km

Uygulanacak deprem türü : Tasarım depremi

Deprem etki türü katsayısı : $E=1,0$

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı : 6

Zemin sınıfı : Z3 Çok sıkı zemin yumuşak kaya

Zemin spektrum karakteristik periyotları : $T_A=0,15$ sn, $T_B=0,60$ sn

Yapı önem katsayısı : 1,5

Beton sınıfı : C14, C16, C20, C25, C30

Çelik sınıfı : S220

Yapı tipi katsayısı : $K=0,8$

Yapı tipi : B (Kısa deprem süreli, ortalama mevcut bina)

10.3.3. Sistemin ETABS bilgisayar programında modellenmesi

Yapı analizinde sistemin bilgisayar programına tanımlanması öncelikle sistemin eksenlerinin programa girilmesi başlar. X ve Y doğrultularında girilen eksenlere ilaveten kat adedine göre Z doğrultusunca da eksen tanımlaması yapılır. Sistemde kullanılacak betonarme malzeme “Define” başlığı altından yeni bir tür seçilerek hem beton ile ilgili değerler (birim kütle, birim ağırlık, karakteristik dayanım, elastisite modülü) hem de çelik ile ilgili değerler sisteme tanıtılır. Sisteme tanıtılan bu malzemeyi kullanarak “Frame Sections” başlığı altından çubuk elemanlar (kirişler, kolonlar, perdeler, fiktif kirişler) tanımlanır. Daha önceden de bahsedildiği gibi taşıyıcı elemanlara mafsallık yerleştirileceği için taşıyıcı elemanlar çubuk eleman olarak tanımlanmalı, perde elemanlar ise aynı boyutta geniş kolon tanımlanarak alt ve üst yüzeylerine rijitliği yüksek fiktif kiriş tanımlaması yapılmalıdır (bu projede “moment of inertia about 3 axis” 1000kNm olarak kabul edilmiştir). Parametrik çalışma süresince döşeme elemanı tanımlanmamış olup döşeme elemanına gelen yükler ve döşeme elemanın etkisi kirişlere etkitilmiştir. Tanımlanan elemanlar eksenler doğrultusunca projedeki gibi uygulanır ve Kiriş elemanlara “end offset” tanımlanır. Sistemin doğru çalışması, yatay elemanlar arasında döşeme olduğunu modellenmesi için her kata “rijit diyafram” tanımlaması yapılır. “Define mass source” menüsü ile, ölü yük çarpanı 1, hareketli yük çarpanı da 0,6 uygulanarak kütle merkezleri her kata tanımlanarak sistemin modellenmesi tamamlanır.

Şekil 10.2 Yapının Etabs programında üç boyutlu görüntüsü

10.3.4. Eşdeğer Deprem Yüğü Analizi

10.3.4.1. 1975 Yönetmeliğine göre hesabı

Statik itme analizi ile binaya ait elde edilecek kapasite eğrilerinde 1998 deprem yönetmeliğı ile kıyaslama yapabilmek için 1975 yönetmeliğine göre yapıya etki eden taban keme kuvveti hesaplanacaktır. Bu yönetmeliğe göre yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında kullanılacak statik eşdeğer yatay yüklerin toplamı

$$F=C \times W \quad (10.1)$$

Denklemleri ile verilmektedir. Burada C deprem katsayısıdır ve

$$C=C_0 \times K \times S \times I \quad (10.2)$$

C_0 = Deprem bölge katsayısı

K= Yapı tipi katsayısı

S= Yapı dinamik katsayısı

I= Yapı önem katsayısıdır.

Denklemleri ile belirlenir. Buradaki; C_0 , II. Deprem bölgesi için 0,08 olarak tanımlanmıştır. K, yapı çift yönde çalışan perdelerle sahip olduğundan 0,8 seçilmiştir. S aşağıdaki denklem sonucunda S=1 olarak alınmıştır.

$$S=\frac{1}{(0,8+T-T_0)} \quad (10.3)$$

$$F=0,08 \times 0,8 \times 1,5 \times 1 \times 45460=4364 \text{ kN} \quad (10.4)$$

Tablo 10.1 1975 Deprem yönetmeliğine göre deprem yükü hesabı

Kat	w_i (kN)	h_i (m)	$w_i \times h_i$	F_i (kN)
3	15153	9,6	145473	2182
2	15153	6,4	96982	1454
1	15153	3,2	48491	727
Toplam	45460		290947	4364

Sonuç olarak 1975 yönetmeliğine göre statik eşdeğer yatay yüklerin toplamı her iki doğrultuda 4364,21 kN değerindedir ve ETABS analiz modelinde master joint noktasından her iki doğrultuda her kata, kat yüksekleri ile göreceli %5 kaçılıkta etkitilmiştir.

10.3.4.2. 1998 Yönetmeliğine göre hesabı

1998 Deprem yönetmeliğine göre toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti)

$$V_t = \frac{W \times A(T_1)}{R_a(T_1)} \quad (10.5)$$

Denklemleri ile tanımlanır. Buradaki $A(T_1)$, spektral ivme katsayısı olup aşağıdaki denklem ile belirlenir.

$$A(T) = A_0 \times I \times S(T) \quad (10.6)$$

Bu denklemde yer alan etkin yer ivmesi katsayısı, A_0 , deprem bölgesine bağlıdır. İncelenen yapı ikinci derece deprem bölgesinde yer aldığından bu katsayı 0,30 değerine karşılık gelir. Bina önem katsayısı, I , okullar için 1,50 olarak verilmiştir. Spektrum katsayısı, $S(T)$ ise yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak aşağıda verilen denklem ile hesaplanır.

$$S(T) = 1 + \frac{1,5 \times T}{T_A} \quad (0 < T < T_A) \quad (10.7)$$

$$S(T) = 2,5 \quad (T_A < T < T_B) \quad (10.8)$$

$$S(T) = 2,5 \times \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0,8} \quad (T > T_B) \quad (10.9)$$

Buradaki T_A ve T_B , yerel zemin sınıfına bağlı olup binanın bulunduğu zemin sınıfı olan Z3 için sırasıyla 0,15 ve 0,60 değerini almaktadır. Yapının doğal periyodu, T_A ve T_B değerleri arasında olduğu için $S(T) = 2,5$ alınmıştır.

Deprem yükü azaltma katsayısı, $R_a(T)$, çeşitli taşıyıcı sistemler için tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R 'ye doğal titreşim periyodu, T 'ye bağlı olarak aşağıdaki denklemler vasıtasıyla belirlenecektir.

$$R_a = 1,5 + (R - 1,5) \times \frac{T}{T_A} \quad (0 < T < T_A) \quad (10.10)$$

$$R_a(T)=R \quad (T>T_A) \quad (10.11)$$

Yapı çift doğrultuda da perdelerden oluştuğu için $R=6$ alınmıştır.

$$F = \frac{5460,52 \times 0,3 \times 1,5 \times 2,59}{6} = 8523 \text{ kN} \quad (10.12)$$

Tablo 10.2 1998 Deprem yönetmeliğine göre deprem yükü hesabı

Kat	$w_i(\text{kN})$	$h_i(\text{m})$	$w_i \times h_i$	$F_i(\text{kN})$
3	15153	9,6	145473	4261
2	15153	6,4	96982	2841
1	15153	3,2	48491	1420
Toplam	45460		290947	8523

Sonuç olarak 1998 yönetmeliğine göre statik eşdeğer yatay yüklerin toplamı her iki doğrultuda 8523,85 kN değerindedir ve ETABS analiz modelinde master joint noktasından her iki doğrultuda her kata, kat yüksekleri ile görelî %5 kaçıklıkta etkilmiştir.

1975 ve 1998 yönetmelikleri Eşdeğer Deprem Yükü hesapları sonuçlarına göre yapıya etkiyen deprem yükü %95 oranında artmıştır.

10.3.5. Parametrik yapı analizi ve sonuçları

1998 deprem yönetmeliğine göre yapılan parametrik çalışmanın sonucunda, yapının periyotlarının betonarme malzemenin dayanımının artırılması ile düştüğü böylelikle daha az yer değiştirme yapacağı görülmektedir. Yapının ilk modu uzun doğrultuda (X doğrultusu), ikinci modu kısa doğrultuda (Y doğrultusu), üçüncü modun ise burulma şekli olarak karşımıza çıktığını görmekteyiz.

Yapının, kullanılan betonarme malzeme sınıfına göre oluşan periyotları Tablo 10.3'de verilmiştir.

Tablo 10.3 Parametrik analiz sonucunda yapı periyotları T(s)

Periyotlar	C30	C25	C20	C16	C14
X Doğrultusu	0,2867	0,2940	0,3029	0,3112	0,3161
Y Doğrultusu	0,2715	0,2784	0,2868	0,2947	0,2994

10.4. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi İle Mevcut Sistemin Çözülmesi

Parametrik çalışmanın bu kısmında C30, C25, C20, C16, C14 beton sınıflarına göre farklı donatı oranlarına göre yapılan statik çalışmaya doğrusal olmayan statik itme analizi tanımlanarak sistemlerin performansları incelenmiştir. Donatı adedi kesit boyutlarına göre uygulanması gereken uygulamalar “Donatısı Tam”, uygulanması gereken donatı oranlarının yarısı kadar donatı ile imalatı yapılmış olarak varsayılan-tasarlanan uygulamalar ise “Donatısı Yarım” notasyonu ile işlenmiştir.

10.4.1 Plastik mafsallık özelliklerinin elde edilmesi ve kesitlere aktarılması

Analiz programında plastik mafsallık özelliklerini kullanıcı tanımlayabildiği gibi (user defined) program tarafından hazır tanımlı (default) mafsallarda bulunmaktadır. Kullanıcı tanımlı plastik mafsalların ETABS programında tanımlanması “Define” menüsünde “Define Frame Hinge Properties” menüsünden yürütülür (Şekil 10.3).

Frame Hinge Property Data for FH1 - PMM

Edit

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0,2	-7
D-	-0,2	-5
C-	-1,25	-5
B-	-1	0,
A	0,	0,
B	1,	0,
C	1,25	5,
D	0,2	5,
E	0,2	7,

Graph: Hinge is Rigid Plastic, Symmetric

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment Moment SF Positive Negative

☒ Use Yield Rotation Rotation SF Positive Negative

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

Immediate Occupancy Positive Negative 2, 4, 6,

Life Safety Positive Negative 4, 6,

Collapse Prevention Positive Negative 6, 6,

Axial Load - Displacement Relationship

☒ Proportional to Moment - Rotation

☐ Elastic - Perfectly Plastic

Define/Show Interaction...

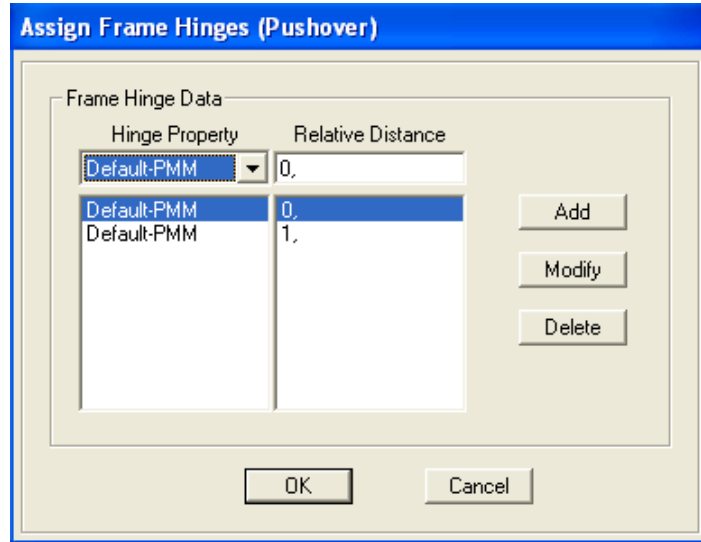
OK

Cancel

Şekil 10.3 Etabs programında mafsallık özelliği tanımlama

USC_RC, Xtract, Response gibi programlar üzerinden kesitlerde oluşabilecek plastik mafsalları değerlerini sağladığı gibi ETABS programının yan ürünü olan “Section Designer” programı da bu verileri sağladığı bildirilmektedir. Kullanıcı tanımlı mafsalları ETABS programında tanımlamak için ihtiyacımız olan (Kolonlar ve Perdeler için P-M-M etkileşimli diyagramın Section Designer programının sağladığı diyagramla uyuşmadığı görülmüştür. Bu uyuşmama Prof. Dr. Anil CHOPRA tarafından da teyit edilmiştir. Bu uyuşmama ve diğer programların sağlıklı sonuç vermemeleri yüzünden kullanıcı tanımlı mafsalları yerine bilgisayar tanımlı hazır mafsallar sistem elemanlarına tanımlanmıştır.

Mafsallar seçilen kolon,kiriş veya perde elemanlarına “Assign” menüsünden “Frame Nonlinear Hinges” başlığı altından tanımlanır. Kolonlar ve perdeler için hem eğilme hem de normal kuvvet etkilerini dikkate alan PMM, kirişler için sadece eğilmeyi dikkate alan M3 mafsalları çubuk elemanların 0 ve 1 rölatif uçlarına tanımlanır.(Şekil 10.4)



Şekil 10.4 Etabs programında tanımlı mafsalları elemanlara atama

Tüm bu tanımlamalar sonucunda sonuç elde etmemiz için dikkat etmemiz gereken mafsalları tanımlı elemanlarda “Define Frame Properties” kısmında tanımlama yapılırken kesitlere ait öngörülen donatı adet, miktar ve yerlerinin çubuk elemanlar için önceden girilmesi gerektirir.

Donatısı tam sistemimizin yapı analizi için sisteme oluşturulan kesitler şöyledir.

The screenshot shows the 'Rectangular Section' dialog box. The 'Section Name' field is 'KOLON30X60'. The 'Material' dropdown is 'BS20'. The 'Dimensions' section shows 'Depth (t3)' as 0,3 and 'Width (t2)' as 0,6. The 'Concrete' section has a 'Reinforcement...' button. The 'Display Color' is a red square. The 'Reinforcement' diagram shows a rectangular section with 12 red dots representing reinforcement bars, arranged in 3 rows and 4 columns. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Şekil 10.5 30cm x60cm kesitli elemanda 12 ϕ 14 donatısı tanımlama

The screenshot shows the 'Rectangular Section' dialog box. The 'Section Name' field is 'KOLON40X60'. The 'Material' dropdown is 'BS20'. The 'Dimensions' section shows 'Depth (t3)' as 0,4 and 'Width (t2)' as 0,6. The 'Concrete' section has a 'Reinforcement...' button. The 'Display Color' is a cyan square. The 'Reinforcement' diagram shows a rectangular section with 12 red dots representing reinforcement bars, arranged in 3 rows and 4 columns. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Şekil 10.6 40cm x60cm kesitli elemanda 12 ϕ 16 donatısı tanımlama

Rectangular Section

Section Name KOLON50X50

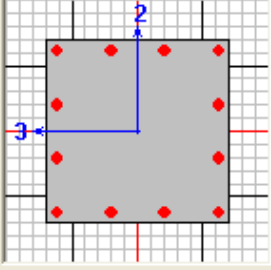
Properties: Section Properties... Property Modifiers: Set Modifiers... Material: BS20

Dimensions:
 Depth (t3) 0,5
 Width (t2) 0,5

Concrete: Reinforcement...

Display Color 

OK Cancel



Şekil 10.7 50cm ×50cm kesitli elemanda 12φ16 donatısı tanımlama

Rectangular Section

Section Name PERDEKOLONX

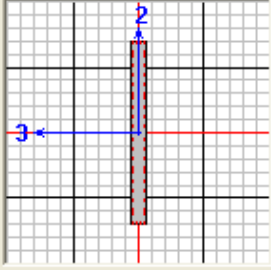
Properties: Section Properties... Property Modifiers: Set Modifiers... Material: BS20

Dimensions:
 Depth (t3) 3,9
 Width (t2) 0,3

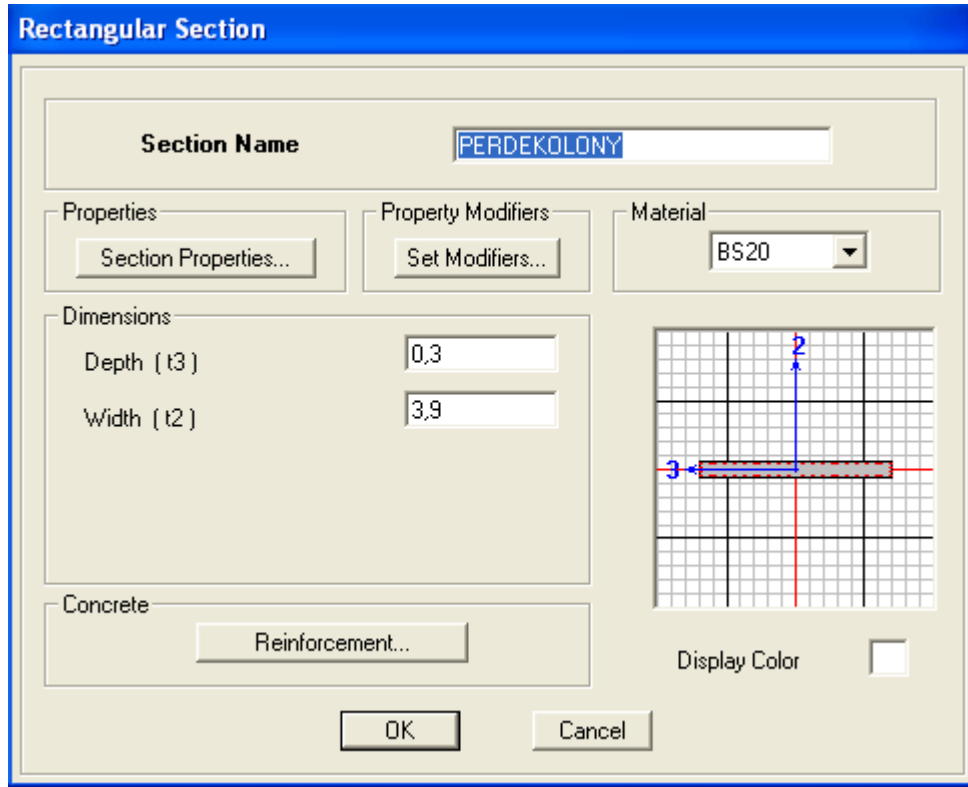
Concrete: Reinforcement...

Display Color 

OK Cancel



Şekil 10.8 Perde elemanda kısa kenarda 4φ14, gövdede 40φ14 donatı tanımlama



Şekil 10.9 Perde elemanda kısa kenarda 4φ14, gövdede 40φ14 donatı tanımlama

10.4.2 Düşey ve yatay pushover tanımlanması

ETABS programında statik itme analizi “Define” menüsü altında “Define Static Nonlinear Case” başlığı altında tanımlanır. Statik itme analizinin başlaması için öncelikle yapının vrilen düşey yükler altında çözümü yapılır. Daha sonra yapılacak ilk aşama yapıya kendi ağırlığının yüklenmesidir. Düşey pushover olarak tanımlayabileceğimiz yüklemede zati ve hareketli yük kombinasyonları istenilen katsayı ile çarpılarak birinci adım yani düşey adıma girilmiş olunur. Burada “Push to Load Level Defied by Pattern” kullanılır. Alınacak ağırlık binanın kendi ağırlığı olacağından katsayı 1 seçilir ve istenilen kayıtlı adımlar ayarlanarak analiz yaptırılacaktır. Bina yapacağı şekil değiştirme yükler kadar olacak ve bu aşama bina üzerine yüklerin girilmesi ve bu yüklerin oluşturacağı yer değiştirme değerlerinin elde edilmesi ile son bulacaktır. En üst master joint noktası işaretlenerek düşey tanımlanmıştır. “Push1” olarak tanımlanan bu düşey yüklemenin ekran görüntüsü Şekil 10.10’deki gibidir.

Static Nonlinear Case Data

Static Nonlinear Case Name

Options

☒ Load to Level Defined by Pattern

☐ Push to Disp. Magnitude

☐ Use Conjugate Displ. for Control

Monitor

Start from Previous Case

☒ Save Positive Increments Only

Minimum Saved Steps

Maximum Null Steps

Maximum Total Steps

Maximum Iterations/Step

Iteration Tolerance

Event Tolerance

Member Unloading Method

Geometric Nonlinearity Effects

Load Pattern

Load	Scale Factor
DEAD	1.
DEAD	1.
LIVE	1.

Add Modify Delete

Active Structure

Stage	Active Group
1	ALL

Add Modify Insert Delete

☐ Loads Apply to Added Elements Only

OK Cancel

Şekil 10.10 Statik itme analizi için düşey Push1 tanımlaması

Düşey pushover yüklemesinden sonra bu çözüm üzerine yatayda X ve Y doğrultularında ayrı ayrı tanımlamalar yapılır. Analizimizde “PushX” ve “PushY” olarak tanımlanan bu yüklemelerde Push1’den farklı olarak “Push to Displacement Magnitude” seçilerek yapının yapmasına izin verdiğimiz en fazla yatay çatı ötelemesini (default olarak yapı toplam yüksekliğinin %4’ü), “Start from Previous Case” seçeneği ile Push1’i “Load Pattern” kısmına ise yüklememiz X doğrultusunda ise Deprem X’i, Y doğrultusunda ise Deprem Y’yi tanımlarız.

Static Nonlinear Case Data

Static Nonlinear Case Name

Options

☐ Load to Level Defined by Pattern

☒ Push to Disp. Magnitude

☐ Use Conjugate Displ. for Control

Monitor

Start from Previous Case

☒ Save Positive Increments Only

Minimum Saved Steps

Maximum Null Steps

Maximum Total Steps

Maximum Iterations/Step

Iteration Tolerance

Event Tolerance

Member Unloading Method

Geometric Nonlinearity Effects

Load Pattern

Load	Scale Factor
DEPX	1.
DEPX	1.

Add Modify Delete

Active Structure

Stage	Active Group
1	ALL

Add Modify Insert Delete

☐ Loads Apply to Added Elements Only

OK Cancel

Şekil 10.11 Statik itme analizi için yatay PushX tanımlaması

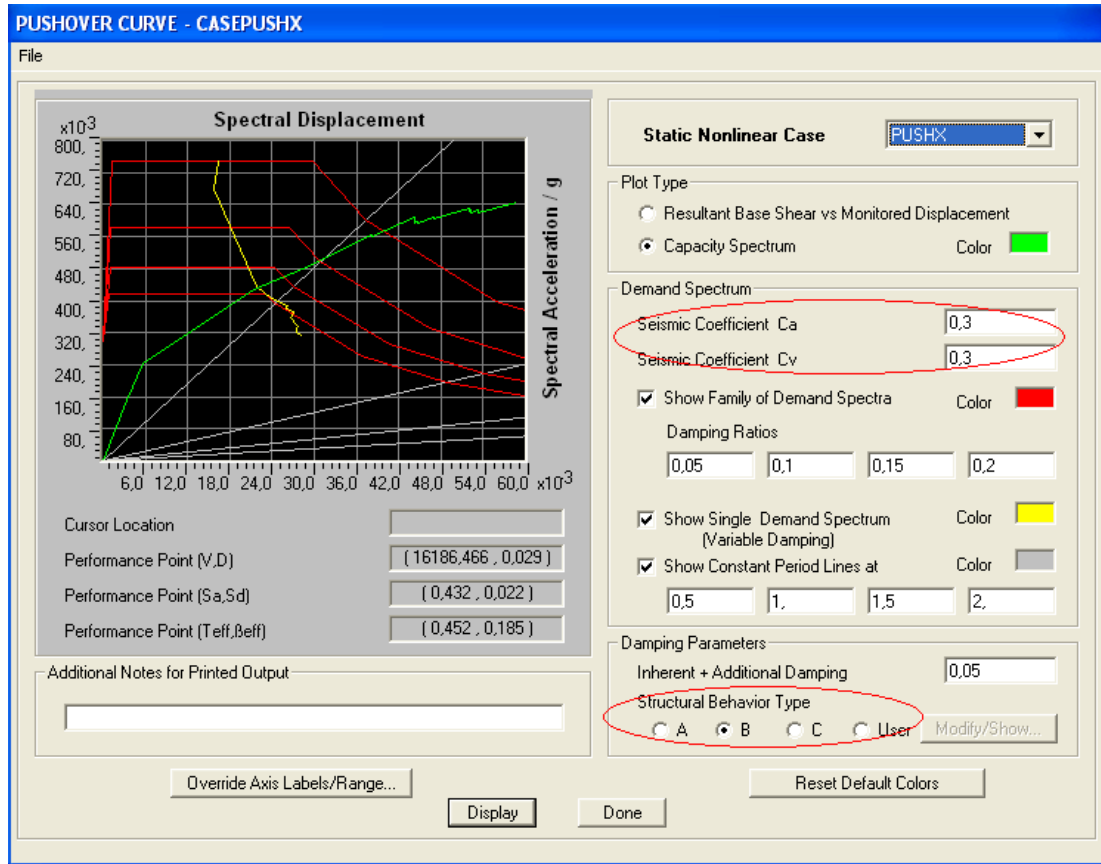
Şekil 10.12 statik itme analizi için yatay PushY tanımlaması

Push1, PushX ve PushY tanımlamaları ile sistemimize statik itme analizi yüklemelerimizi tamamlamış oluruz.

10.4.3. Elastik deprem spektrumunun belirlenmesi

Statik analiz sonucunda başlattığımız pushover analizinde “Display” menüsünden “Show static pushover curve” komutu vasıtasıyla pushover grafiğini görebiliriz. Son grafikleri elde etmek için C_A ve C_V parametrelerini, yapı davranış tipini tanımlamalıyız.

Deprem etkisini temsil eden elastik spektrum eğrisi C_A ve C_V parametrelerine bağlı olarak tanımlanır. Bu parametreler, binanın bulunduğu deprem bölgesine ve bilinen bir deprem kaynağına olan uzaklığına bağlı olarak tablolardan alınır (Tablo 6.6). Buna göre, Tablo 6.4’den seçilen deprem bölge katsayısı II. Deprem bölgesinde olarak incelenen yapımız için $Z=0,30$, deprem etki türü katsayısı tasarım depremi göz önüne alındığı için $E=1,0$, ve tablo 6.6’dan alınan “orta deprem oluşturacak deprem kaynağından 10 km mesafede tasarlanan yapı” için $N_A=1,0$ ve $N_V=1,0$ değerleri doğrultusunda $C_A=0,3$ ve $C_V=0,3$ parametreleri belirlenir. Buradaki C_A , zeminin etkili en fazla ivme katsayısını, C_V ise periyodu 1 s olan %5 sönümlü sistemin spektrum değerini verir. Bu değerlerin ETABS programında nasıl işleneceği Şekil 10.13’de gösterilmiştir.



Şekil 10.13 Statik itme analizi sonuç ekranı

Yapı davranış tipinin (Structural Behaviour Type) seçimi yapı taşıyıcı sisteminin esas elemanlarına ve yer sarsıntısının süresine bağlı olarak seçilir. Yeni Bina, mevcut yönetmeliklere uyararak detaylandırılan yatay yüklere karşı yeni taşıyıcı sistemler içeren ve yapıda bulunan yönetmeliklere uymayan elemanların dayanım ve rijitliklerinin de katkısının az olduğu binaları temsil etmektedir. Yetersiz Mevcut Bina, güvenilir histeritik davranış göstermeyen yatay taşıyıcı sistemi bulunan binaları temsil eder. Orta Derecede Mevcut Bina diğer durumlardaki yapılar için kullanılmalıdır. Analizi yapılan yapıda yapı davranış tipi olarak deprem süresi kısa-orta derecede mevcut bina seçilmiştir.

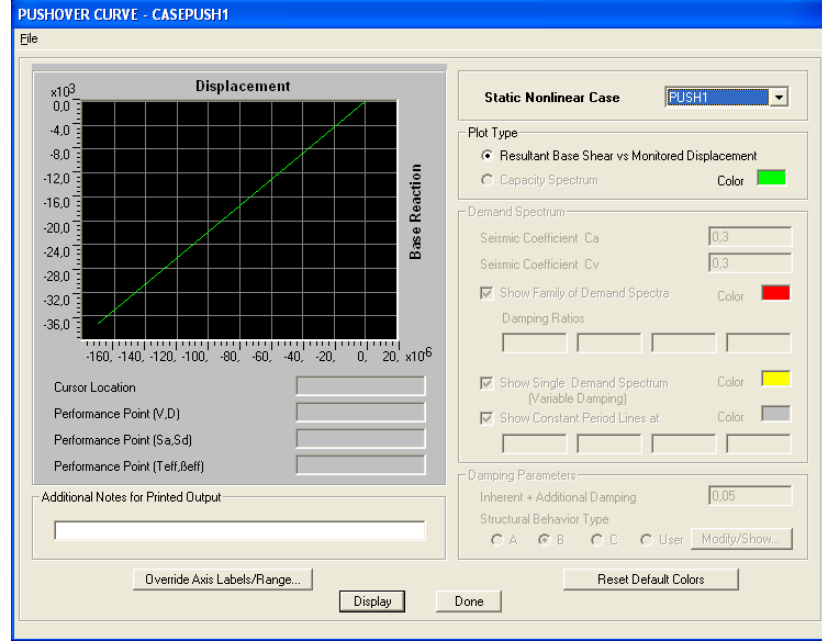
Tablo 10.4 Yapı tipi belirleme tablosu

Deprem Süresi	Genel Yeni Bina	Ortalama Bina	Zayıf Mevcut Bina
Kısa Süreli	Tip A	Tip B	Tip C
Uzun Süreli	Tip B	Tip C	Tip C

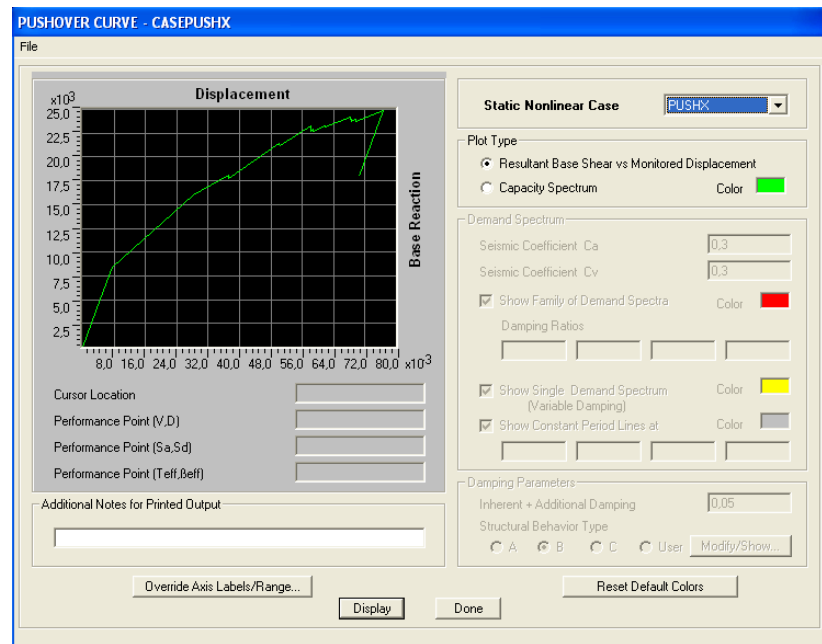
10.4.4. Doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçları

Yapılan Statik İtme Analizleri sonucunda sistemlerin kapasite eğrileri ile talep spektrumu eğrilerinin belli noktalarda kesiştikleri görülmüş ve bu noktalar sistemlerin Performans Noktaları olarak adlandırıldı.

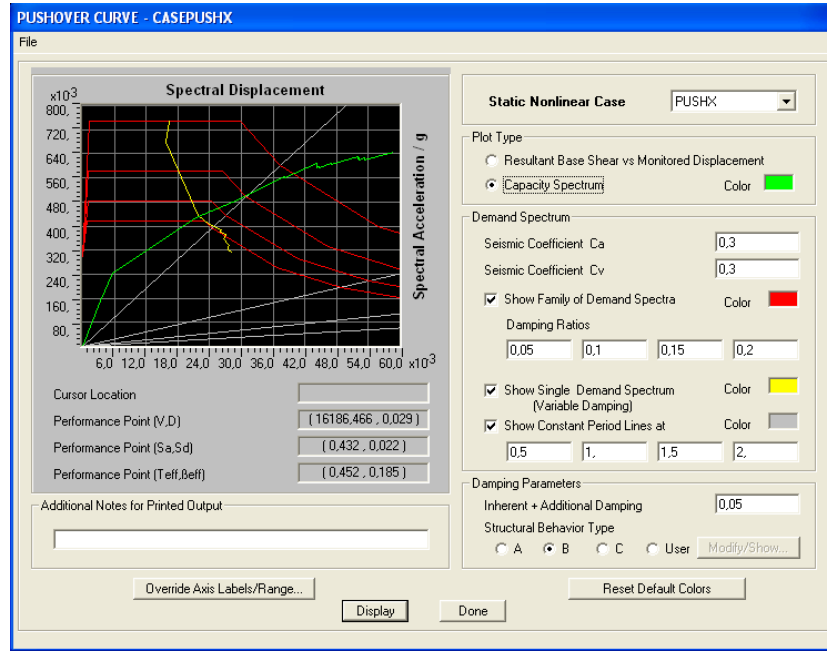
Donatısı tam C20 beton sınıfı kullanılmış çalışma için örnek yer değiştirme-taban kesme kuvveti ve spektral yerdeğiştirme-spektral ivme grafik sonuçları:



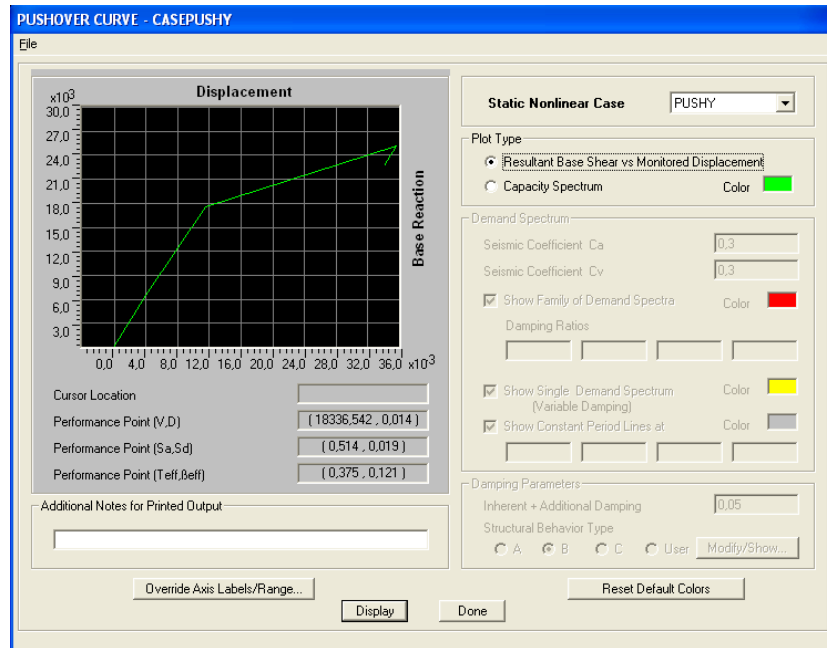
Şekil 10.14 C20 betonu ile yapılan çözümlemenin Push1 ekranı



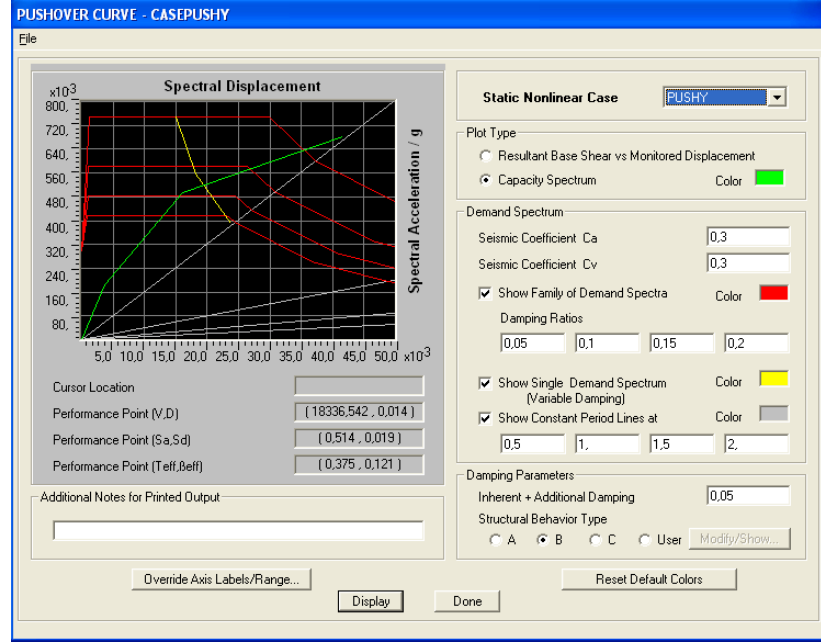
Şekil 10.15 C20 betonu-PushX yer değiştirme-taban kesme kuvveti sonucu



Şekil 10.16 C20 betonu-PushX spektral yer değıştirme-spektral ivme sonucu

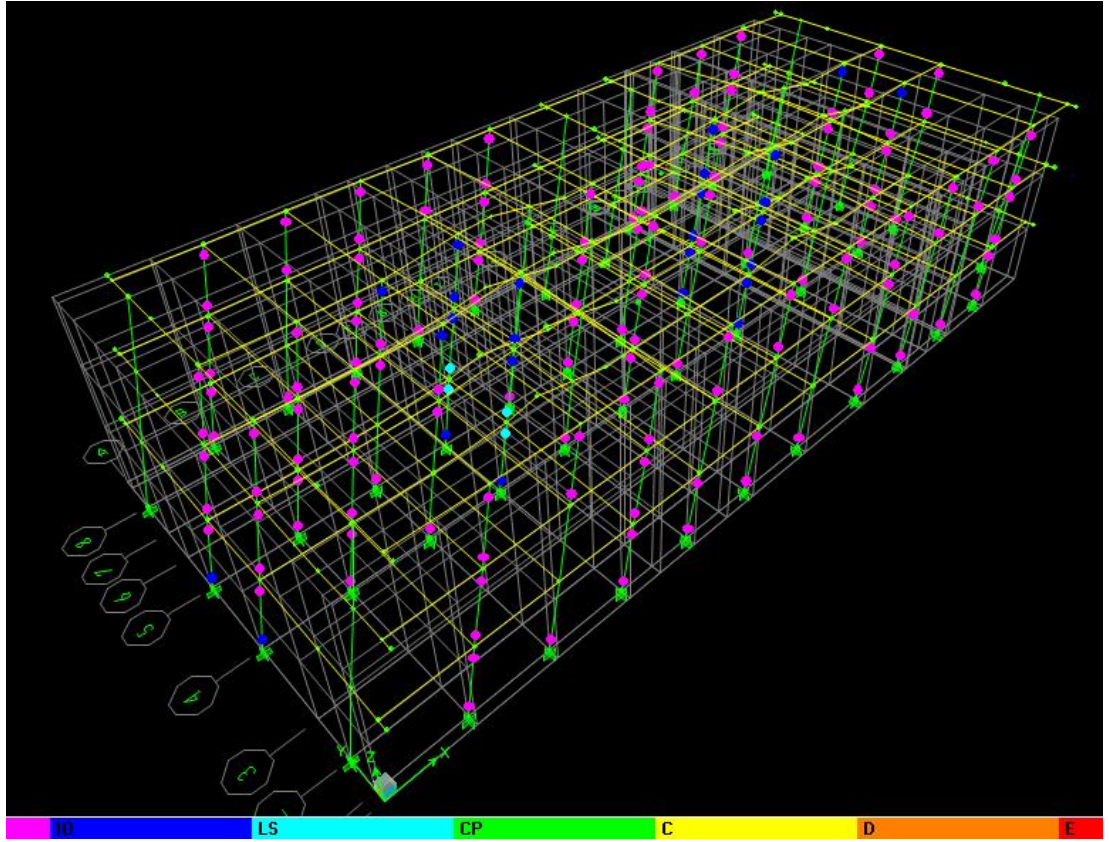


Şekil 10.17 C20 betonu-PushY yer değıştirme-taban kesme kuvveti sonucu



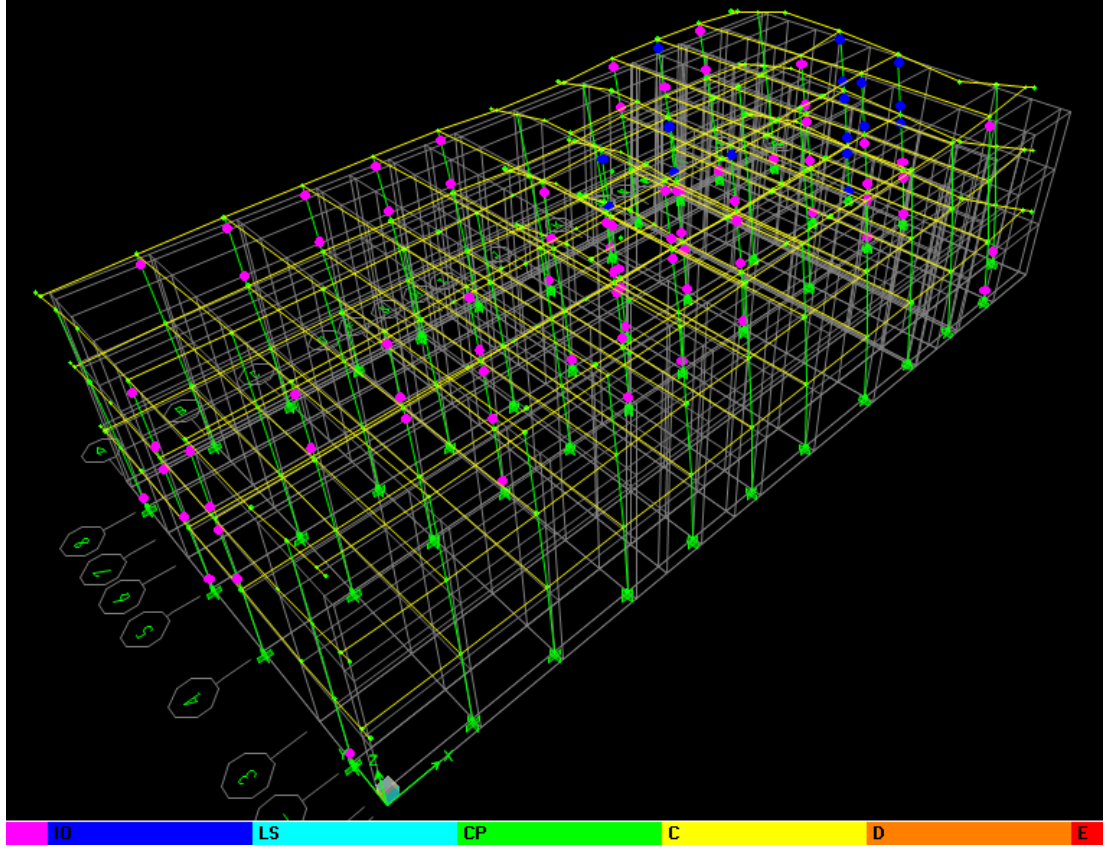
Şekil 10.18 C20 betonu PushY spektral yer değıştirme-spektral ivme sonucu

Donatısı tam, C20 beton sınıfı kullanılmış çalışma için örnek mafsal sonuçları için PushX yüklemesi sonucunda mafsal oluşum şekli Şekil 10.19’da görüldüğü gibidir.



Şekil 10.19 3.adımda CP seviyesine ulaşmış sistemde PushX mafsalları

Donatısı tam, C20 beton sınıfı kullanılmış çalışma için örnek mafsal sonuçları için PushY yükleme sonucunda mafsal oluşum şekli Şekil 10.20’de görüldüğü gibidir.



Şekil 10.20 2.adımda CP seviyesine ulaşmış sistemde PushY mafsalları

ETABS programının sağladığı veriler doğrultusunda Tablo 10.5 ve Tablo 10.6 hazırlanabilir.

Tablo 10.5 Donatısı tam parametrik çalışma sonuçları

Donatısı Tam	Çatı Yer Değiştirmesi		Taban Kesme Kuvveti		Efektif Sönüm Değeri	
	X Doğ.(m)	Y Doğ.(m)	X Doğ.(kN)	Y Doğ.(kN)	X Doğ.	Y Doğ.
C30	0,02584	0,01262	16356	20862	0,135	0,094
C25	0,02683	0,01279	16493	20289	0,156	0,101
C20	0,02869	0,01386	16393	18814	0,173	0,116
C16	0,03022	0,01495	16019	17237	0,185	0,130
C14	0,03066	0,01554	15434	16495	0,190	0,136

Tablo 10.6 Donatısı yarım parametrik çalışma sonuçları

Donatısı Yarım	Çatı Yer Değiştirmesi		Taban Kesme Kuvveti		Efektif Sönüm Değeri	
	X Doğ.(m)	Y Doğ.(m)	X Doğ.(kN)	Y Doğ.(kN)	X Doğ.	Y Doğ.
C30	0,02648	0,01398	16349	20818	0,141	0,092
C25	0,02835	0,01427	16159	20494	0,151	0,098
C20	0,02952	0,01560	15659	18701	0,158	0,115
C16	0,03078	0,01663	15087	17211	0,165	0,129
C14	0,03123	0,01737	14402	16392	0,158	0,134

10.5. Statik İtme Analizi Kontrolleri

10.5.1. Yerdeğiştirme kontrolü

Yerdeğiştirme kontrolü, yapılan statik itme analizi sonucunda performans çatı yer değiştirmesinin yapı yüksekliğine oranı ile belirlenir. Bu değer belli sınır durumlarını geçmemesi gerekmektedir. Bu sınırlar Tablo 7.3'te gösterilmiştir. Tablo 10.7'den de görüldüğü gibi yapılan parametrik analizler sonucunda bütün değerler “Hemen Kullanım Seviyesinin” altındadır. Sistemin hasar kontrol seviyesinde bulunması için en fazla toplam öteleme 9,6cm'den büyük olmalıdır.

Tablo 10.7 Parametrik çalışmanın yer değiştirme kontrolü tablosu

Yerdeğiştirme	Donatı Tam		Donatı Yarım	
	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
C30	0,00269	0,00131	0,00276	0,00146
C25	0,00279	0,00133	0,00295	0,00149
C20	0,00299	0,00144	0,00308	0,00163
C16	0,00315	0,00156	0,00321	0,00173
C14	0,00319	0,00162	0,00325	0,00181

10.5.2 Mafsalda dönme kontrolü

Mafsallık kontrolü sistem genel ölçekte yapıldığı gibi hangi elemanların ne durumda olduğunu görebilmek içinde kullanılabilir. Sistemde bulunan 762 adet mafsallık adımlar boyunca oluşan yer değiştirmelere göre tekrar hesaplanan sistemdeki plastik mafsallık seviyelerine göre tablolandırılmıştır.

Tablo 10.8 ve Tablo 10.9’da da görüldüğü gibi C-D aralığında oluşan mafsallıkların oluştuğu adımların yer değiştirme aralığı statik itme analizimizdeki performans yer değiştirmelerine denk düşmektedir. Tablolarda C-D aralığında çıkan bölüm koyu renk ile yazılmıştır.

10.5.2.1 Donatısı tam yerleştirilmiş sistemlerin mafsallık kontrolü

Tablo 10.8 C14 betonu ile PushX analizinde mafsallık kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,03066\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	760	2	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0044	4696	747	15	0	0	0	0	0	0	762
2	0,0080	8095	599	132	29	2	0	0	0	0	762
3	0,0272	14725	543	113	92	12	0	2	0	0	762
4	0,0405	17448	543	113	92	12	0	2	0	0	762

Tablo 10.9 C14 betonu ile PushY analizinde mafsallık kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,01554\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	761	1	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0041	6182	686	67	9	0	0	0	0	0	762
2	0,0102	14771	583	58	96	24	0	1	0	0	762
3	0,0326	21989	582	54	98	27	0	0	1	0	762
4	0,0326	21735	574	44	110	32	0	1	1	0	762

Tablo 10.10 C16 betonu ile PushX analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,03022\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	760	2	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0044	4839	747	15	0	0	0	0	0	0	762
2	0,0080	83771	583	143	32	4	0	0	0	0	762
3	0,0289	15731	547	142	61	11	0	2	0	0	762
4	0,0369	17510	547	132	71	10	0	0	2	0	762

Tablo 10.11 C16 betonu ile PushY analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,01495\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	761	1	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0041	6275	684	67	11	0	0	0	0	0	762
2	0,0107	15804	584	63	94	20	0	1	0	0	762
3	0,0322	22974	584	60	90	27	0	0	1	0	762
4	0,0322	22769	582	51	101	26	0	1	1	0	762

Tablo 10.12 C20 betonu ile PushX analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,02869\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	759	3	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0044	5126	746	16	0	0	0	0	0	0	762
2	0,0076	8402	583	149	26	4	0	0	0	0	762
3	0,0283	16002	552	145	53	10	0	2	0	0	762
4	0,0372	18098	552	139	59	10	0	0	2	0	762

Tablo 10.13 C20 betonu ile PushY analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,01386\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	761	1	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0040	6444	666	79	17	0	0	0	0	0	762
2	0,0116	17547	574	62	101	24	0	1	0	0	762
3	0,0356	25192	574	61	100	25	0	1	1	0	762
4	0,0340	22658	762	0	0	0	0	0	0	0	762

Tablo 10.14 C25 betonu ile PushX analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,02683\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	760	2	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0045	5481	746	16	0	0	0	0	0	0	762
2	0,0076	8936	574	149	35	4	0	0	0	0	762
3	0,0312	18208	553	150	47	10	0	2	0	0	762
4	0,0367	19609	553	140	53	14	0	0	2	0	762

Tablo 10.15 C25 betonu ile PushY analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,01279\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	761	1	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0038	6634	659	83	20	0	0	0	0	0	762
2	0,0130	20633	654	88	20	0	0	1	0	0	762
3	0,0133	20898	586	68	89	18	0	2	0	0	762
4	0,0307	27278	586	68	89	17	0	0	0	0	762

Tablo 10.16 C30 betonu ile PushX analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,02584\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	760	2	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0045	5781	747	15	0	0	0	0	0	0	762
2	0,0074	9147	554	152	44	10	0	2	0	0	762
3	0,0363	20432	554	145	48	13	0	0	2	0	762
4	0,0363	20023	540	47	152	21	0	0	1	1	762

Tablo 10.17 C30 betonu ile PushY analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,01262\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	761	1	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0037	6790	667	76	19	0	0	0	0	0	762
2	0,0128	21066	581	72	87	21	0	1	0	0	762
3	0,0331	30671	577	69	83	28	0	0	5	0	762
4	0,0226	14042	762	0	0	0	0	0	0	0	762

10.5.2.2 Donatısı yerleştirilmiş sistemlerin mafsals kontrolü

Tablo 10.18 C14 betonu ile PushX analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,03123\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	760	2	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0031	3286	743	19	0	0	0	0	0	0	762
2	0,0080	7999	542	98	106	14	0	2	0	0	762
3	0,0397	16737	542	91	108	19	0	0	2	0	762
4	0,0397	16207	542	91	108	19	0	0	2	0	762

Tablo 10.19 C14 betonu ile PushY analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,01737\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	761	1	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0030	4587	670	79	13	0	0	0	0	0	762
2	0,0103	14238	572	65	100	24	0	1	0	0	762
3	0,0321	20873	572	65	98	25	0	2	0	0	762
4	0,0171	-461	762	0	0	0	0	0	0	0	762

Tablo 10.20 C16 betonu ile PushX analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,03075\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	760	2	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0032	3437	743	19	0	0	0	0	0	0	762
2	0,0080	8269	542	127	81	10	0	2	0	0	762
3	0,0364	16782	542	118	88	12	0	0	2	0	762
4	0,0364	16373	542	22	170	26	0	0	1	1	762

Tablo 10.21 C16 betonu ile PushY analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,01663\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	760	2	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0031	4792	664	79	19	0	0	0	0	0	762
2	0,0110	15427	574	74	94	19	0	1	0	0	762
3	0,0315	21904	573	63	99	26	0	0	1	0	762
4	0,0315	21591	567	51	111	31	0	1	1	0	762

Tablo 10.22 C20 betonu ile PushX analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,02952\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	760	2	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0033	3733	743	19	0	0	0	0	0	0	762
2	0,0079	8588	544	143	62	12	0	1	0	0	762
3	0,0359	17741	544	129	72	15	0	0	2	0	762
4	0,0359	17219	544	128	73	15	0	0	2	0	762

Tablo 10.23 C20 betonu ile PushY analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,01560\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	760	2	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0030	4943	654	85	23	0	0	0	0	0	762
2	0,0121	17548	575	73	95	18	0	1	0	0	762
3	0,0315	23947	575	73	92	20	0	2	0	0	762
4	0,0169	1236	762	0	0	0	0	0	0	0	762

Tablo 10.24 C25 betonu ile PushX analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,02835\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	760	2	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0034	4098	745	17	0	0	0	0	0	0	762
2	0,0076	8818	546	142	62	11	0	1	0	0	762
3	0,0358	18796	546	135	67	12	0	1	1	0	762
4	0,0221	1591	762	0	0	0	0	0	0	0	762

Tablo 10.25 C25 betonu ile PushY analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,01427\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	761	1	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0029	5078	645	85	32	0	0	0	0	0	762
2	0,0134	20212	572	76	96	17	0	1	0	0	762
3	0,0307	26058	570	75	90	26	0	0	1	0	762
4	0,0307	25826	558	63	105	33	0	2	1	0	762

Tablo 10.26 C30 betonu ile PushX analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,02648\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	760	2	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0034	4359	745	17	0	0	0	0	0	0	762
2	0,0074	9047	550	145	56	10	0	1	0	0	762
3	0,0355	19821	549	134	66	12	0	0	1	0	762
4	0,0356	19463	540	31	167	23	0	0	0	1	762

Tablo 10.27 C30 betonu ile PushY analizinde mafsals kontrolü ($\Delta_{\text{çatı}}=0,01398\text{m}$)

Adım	Yer Değ.(m)	Taban Kes.Kuv.(kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	0	0	761	1	0	0	0	0	0	0	762
1	0,0028	5195	656	83	23	0	0	0	0	0	762
2	0,0129	20325	565	79	93	24	0	1	0	0	762
3	0,0335	29476	565	79	91	25	0	2	0	0	762
4	0,0212	8182	762	0	0	0	0	0	0	0	762

10.6. Mevcut Bina Hakkında Sonuçlar ve Yorumlar

Yapılan gerek yer değiştirme gerekse mafsallarda kontrollerinde görüldüğü gibi; bütün beton sınıfı kabullerinde ve kesitlerde değişen donatı miktarına göre yapılan yer değiştirme kontrolünde (Tablo 10.7) bütün çözümlerin yer değiştirmelerinin 0,01'den küçük, yatay rölatif yer değiştirme sınırının altında "HEMEN KULLANIM" seviyesinde olduğu görülmektedir (Tablo 7.3).

Plastik mafsallar öncelikle kolonlarda oluşmakta, bütün çözümlerde X doğrultusunda 3. adımda, Y doğrultusunda ise 2. adımda oluşmaktadır. C-D seviyesinde oluşan plastik mafsallarda 2 adeti geçmemekte sonrasındaki adımda ise mafsallarda oluşumu, ya D-E seviyesine geçmekte veya C-D seviyesinde bir adet artmaktadır.

Yapılan çözümlerden de görüldüğü gibi beton sınıfını C20'den C30'a dönüştürmek performans çatı yer değiştirmesini %10 azaltmakta, yapının etkili sönüm değeri ise %20 oranında düşmektedir. Aynı beton sınıfında varsayılan donatı değişikliklerinde ise çatı yer değiştirmesi %3 oranında arttığı, efektif sönümünün ise %1-10 oranında değiştiği gözlemlenmiştir. Etkili değerlerindeki değişimden de gözleneceği gibi (Tablo 10.5 ve Tablo 10.6) yapılan uygulamada beton sınıfını arttırmanın, donatı adedini arttırmanın sistemi olumlu etkilediği görülmüştür.

Sistemdeki elemanların düzenli projelendirilmesi, taşıyıcı elemanların olabildiğince burulmaya mahal vermeyecek şekilde yerleştirilip, sistemde rijitliği arttırıcı taşıyıcı perdelerle yer verilmesi ile yapı uygulanan beton ve çelik sınıflarına göre yeterli taşıma kapasitesini göstermektedir.

11. MEVCUT BİNANIN GÜÇLENDİRİLMESİ

11.1. Amaç

Bu çalışmada, bahsi geçen betonarme taşıyıcı sistemin farklı zemin ve deprem parametreleri altında deprem yükü kapasitesi belirlenip, güçlendirilmiş sistem üzerinde kapasite hesabı yapıp güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş sistemler arasında kapasite karşılaştırılması yapılacaktır.

Bir önceki çalışmaya göre (Bölüm 10) yapı “kaya zemin” (S_B) yerine “sert zemin” (S_D), deprem bölgesi II. bölge yerine I. bölge olarak değiştirilerek C14 beton sınıfı değerleri kullanılarak tekrar çözüm yapılmıştır.

11.2. Yapının Çözümünde Değişen Parametrelerin Hesabı

11.2.1. 1998 Deprem yönetmeliğine göre hesabı

Deprem bölgesi II. bölgeden I. bölgeye değişen sistemin yeni deprem bölgesine göre hesaplanan Eşdeğer Deprem Yüğü hesabı sonuçları Tablo 11.1’deki gibidir.

Tablo 11.1 1998 Deprem yönetmeliğine göre deprem yükü hesabı

Kat	$w_i(\text{kN})$	$h_i(\text{m})$	$w_i \times h_i$	$F_i(\text{kN})$
3	15153,51	9,6	145473,67	5682,56
2	15153,51	6,4	96982,44	3788,38
1	15153,51	3,2	48491,22	1894,19
Toplam	45460,53		290947,33	11365,13

Sonuç olarak 1998 yönetmeliğine göre eşdeğer yatay yüklerin toplamı her iki doğrultuda 11365,13 kN değerindedir.

11.2.2. Değişen parametreler doğrultusunda $Z \times E \times N$ hesabı

Değişen parametrelere göre yapının kapasitesi eğrisi grafiklerini elde etmek için C_A ve C_V parametrelerini tanımlamalıyız.

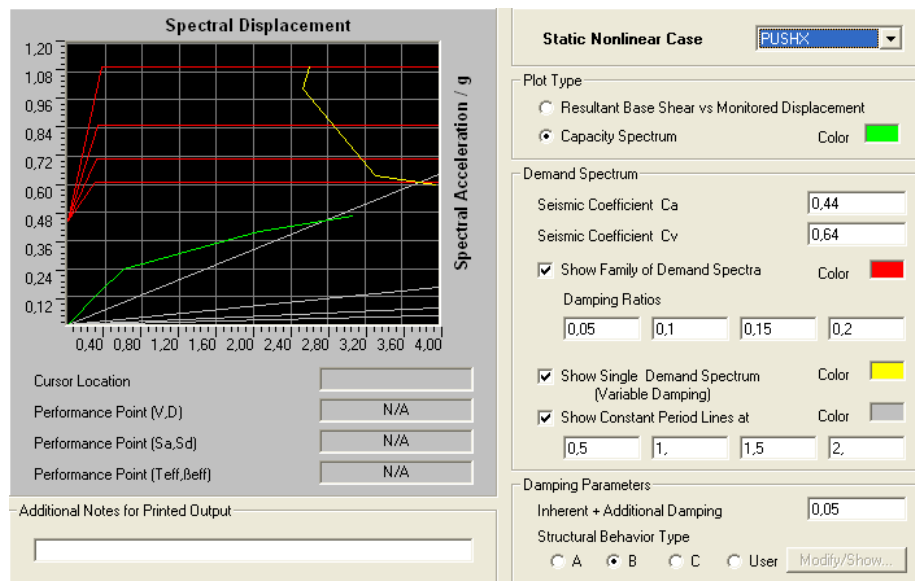
Bu parametreler, binanın bulunduğu deprem bölgesine ve bilinen bir deprem kaynağına olan uzaklığına bağlı olarak tablolardan alınır (Tablo 6.6). Buna göre, Tablo 6.4’den seçilen deprem bölge katsayısı I. Deprem bölgesinde olarak incelenen yapıımız için $Z=0,40$, deprem etki türü katsayısı tasarım depremi göz önüne alındığı için $E=1,0$, ve tablo 6.6’dan alınan “orta deprem oluşturacak deprem kaynağından 10 km mesafede tasarlanan yapı” için $N_A=1,0$ ve $N_V=1,0$ değerleri doğrultusunda S_D zemin sınıfında (Sert zemin) $C_A=0,44$ ve $C_V=0,64$ parametreleri belirlenir. Bu değerler güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş sistemlerde statik itme analizi sonuçlarını elde etmemiz için Etabs programının önceden tarif edilen kısımlarına tanımlanır.

11.3. Güçlendirilmemiş Yapının Statik İtme Analiz Sonucu

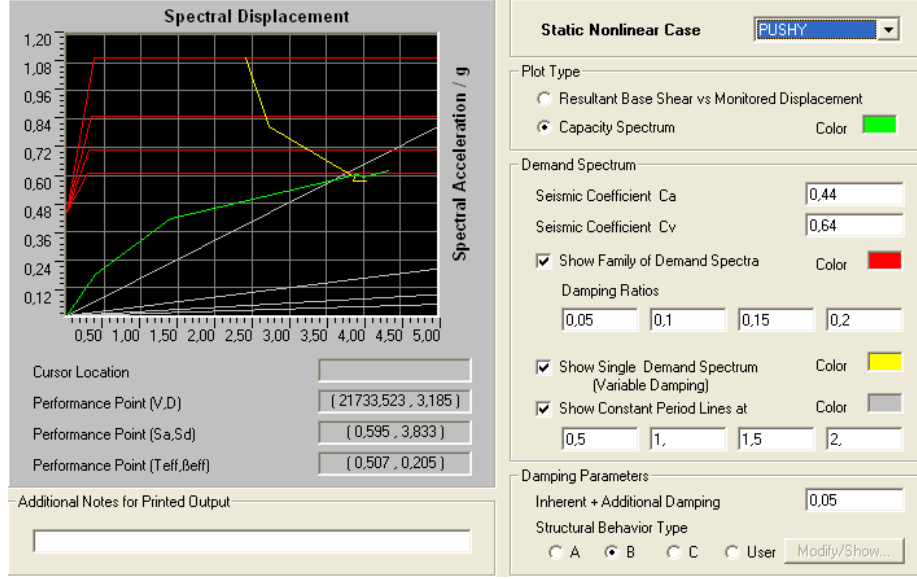
I.deprem bölgesinde C14 betonu ve S220 betonarme çeliği kullanılarak projelendirilen bahsi geçen yapının II. deprem bölgesi ve I. deprem bölgesine göre değişen statik itme analizi sonuçları Tablo 11.2’de sunulmuştur.

Tablo 11.2 II. bölgeden I. bölgeye statik itme analizi sonuç değişimleri

C14	Çatı Yer Değiştirmesi		Taban Kesme Kuvveti		Efektif Sönüm Değeri	
	X Doğ.(m)	Y Doğ.(m)	X Doğ.(kN)	Y Doğ.(kN)	X Doğ.	Y Doğ.
C14 II. Böl.	0,03066	0,01554	15434,15	16495,11	0,190	0,136
C14 I. Böl.	-	0,03185	-	21733,53	-	0,205



Şekil 11.1 Güçlendirilmemiş sistemin PushX analiz sonucu

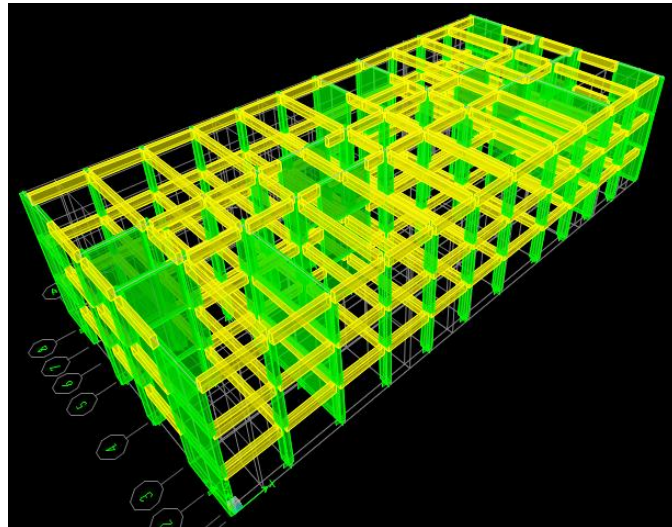


Şekil 11.2 Güçlendirilmemiş sistemin PushY analiz sonucu

Bu sonuçlar doğrultusunda X doğrultusunda kapasite-talep eğrilerinin kesişmediği, Y doğrultusunda ise uç noktalarında kesiştikleri görülerek yapının güçlendirilmesine karar verilir.

11.4. Yapının Güçlendirilme Çalışması

Analizi yapılan güçlendirilmemiş sistemde güçlendirme çalışması için kullanılacak kesitlerde beton sınıfı olarak C30, betonarme çeliği olarak da S420 kullanılmıştır. Sistemin genel mimari yapısına uyularak yapılan güçlendirilmede planın orta bölümünde kalan kolonlar mantolama yöntemi ile güçlendirilirken, sistemin yanıl yer değiştirmesini karşılaması için her iki doğrultuda ilave perdeler yerleştirilmiştir.



Şekil 11.3 Güçlendirilmiş sistemin Etabs programındaki 3 boyutlu şekli

Şekil 11.4 Güçlendirilmiş sistemin kat kalıp planı

11.5. Güçlendirilmemiş ve Güçlendirilmiş Yapının Sonuçları

11.5.1. Statik analiz sonuçları

Güçlendirme sonucunda elde edilen periyotlar incelenirse; güçlendirilmemiş sisteme nazaran periyotlarda büyük bir düşüş olduğu gözlemlenir.

Tablo 11.3 Parametrik analiz sonucunda yapı periyotları T(s)

Periyotlar	Güçlendirilmemiş	Güçlendirilmiş
X Doğrultusu	0,3161	0,1989
Y Doğrultusu	0,2994	0,1711

11.5.2. Statik itme analizi sonuçları

Güçlendirme öncesi ve sonrası statik itme analizi sonuçları incelenirse X doğrultusunda sonuç vermeyen sistemin güçlendirme sonrasında 1,666 cm çatı yer değiştirmesi yapar sonucu verdiğini, Y doğrultusunda ise çatı yer değiştirmesinin %80 azaldığını, yer değiştirmelerinin azalmasından ötürü taban kesme kuvvetinin %80 arttığını, efektif sönüm değerinin ise yapının dayanımının artması ile ters orantılı olarak azaldığı sonuçlarına ulaşabiliriz. Bu statik itme analizi sonuçları Tablo 11.4’de sunulmuştur.

Tablo 11.4 Güçlendirme öncesi ve sonrası sistemlerin statik itme analiz sonuçları

C14	Çatı Yer Değ.		Taban Kesme Kuvveti		Efektif Sönüm	
	X Doğ.(m)	Y Doğ.(m)	X Doğ.(kN)	Y Doğ.(kN)	X Doğ.	Y Doğ.
Güçlendirilmemiş	-	0,03185	-	21733,53	-	0,205
Güçlendirilmiş	0,01666	0,00880	34983,76	38670,93	0,058	0,051

Güçlendirilmiş sistemde yer değiştirme kontrolü yapılmak istenirse Tablo 11.4’de de görüldüğü gibi 0,01 değerinden küçük kalarak kontrolü geçtiği görülür.

Tablo 11.5 Parametrik çalışmanın yer değiştirme kontrolü tablosu

Yer Değ.	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
Güçlendirilmiş	0,00173	0,00096

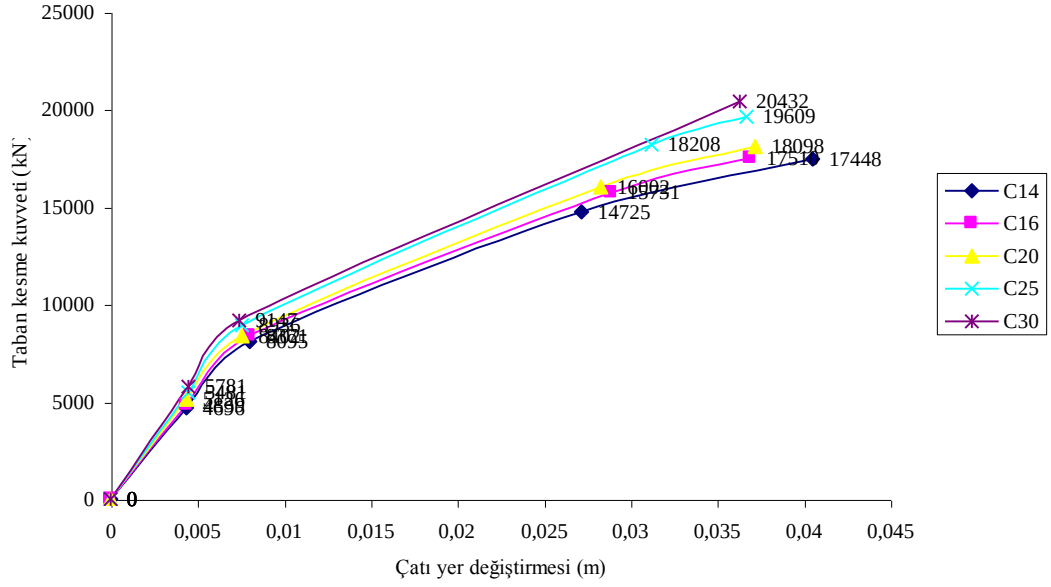
12. SONUÇLAR

Teori ve uygulama kısımlarından oluşan bu tez çalışmasında uygulama için gerekli tanımlamalar ve yöntemlerin bahsedildiği teori bölümlerinden sonra çalışması yapılan uygulama kısmında; statik itme analizine göre parametrik bir çalışma yapılırken, güçlendirilmeye ihtiyaç gösteren ve güçlendirilmiş sistemler üzerinde statik itme analizi yapılmıştır.

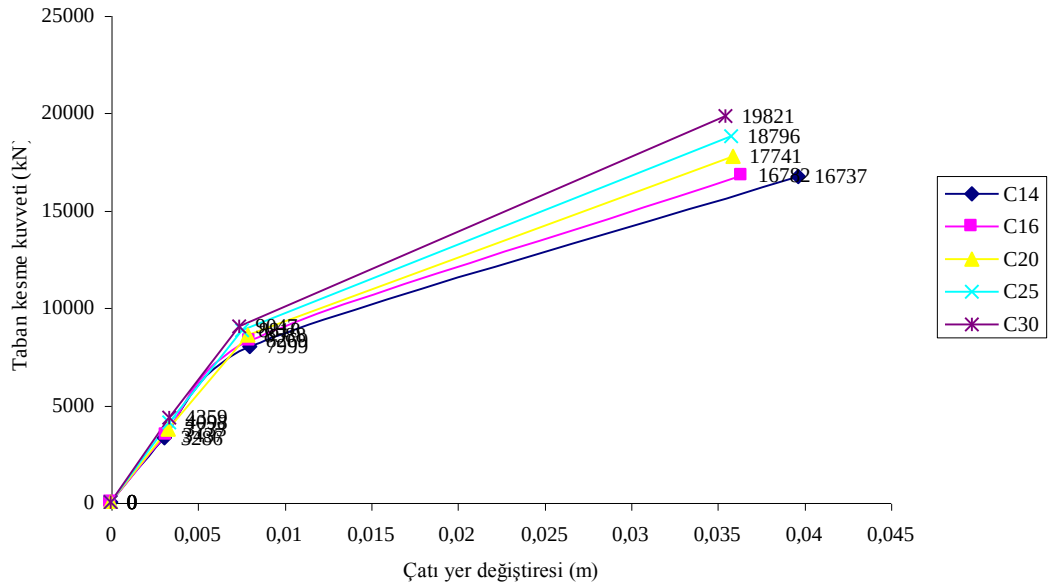
Statik itme analizinde değişen beton sınıfı ve donatı oranlarına göre elde edilen parametrik sonuçlara göre; sistemlerde oluşan ilk mafsallar perdelerin çevresindeki kolonlarda oluşup ilerleyen adımlarda diğer elemanlara yayılarak mekanizma durumuna geçiyor. Taşıyıcı sistemi genel olarak düzenli seçilen bu çalışmada sistem verilen değerler doğrultusunda güçlendirilmeye ihtiyaç göstermemekte, yükseltilem deprem sınıfı doğrultusunda ise güçlendirilmeye ihtiyaç duyulduğu Bölüm 11’de uygulanmıştır.

C14 beton sınıfı, I.deprem bölgesinde güçlendire ihtiyacı duyan sistem; X ve Y doğrultularında mimari kullanımı bozmayacak şekilde C30 sınıfı beton ve S420 çeliği kullanılan perdeler, bu perdelerin baş kısımlarına denk gelen kolonların ise mantolama yöntemi ile güçlendirilmesi ile elde edilen sonuçlarda sistemin itme analizinde sonuç verip kapasite ve talep eğrilerinin sınır değerler dahilinde kesiştiği uygulamalar doğrultusuna sunulmuştur.

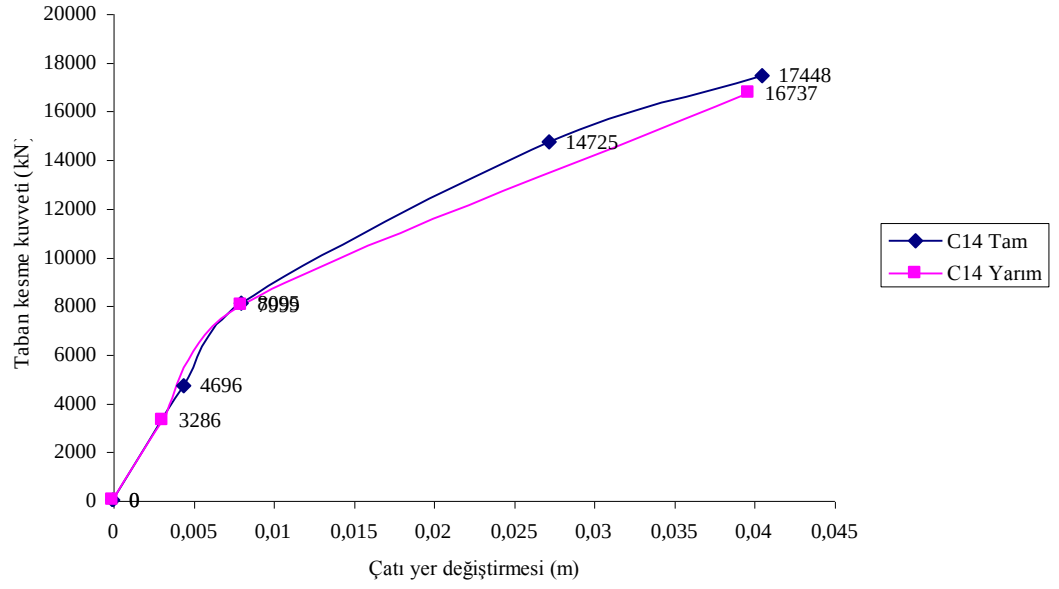
13. EKLER



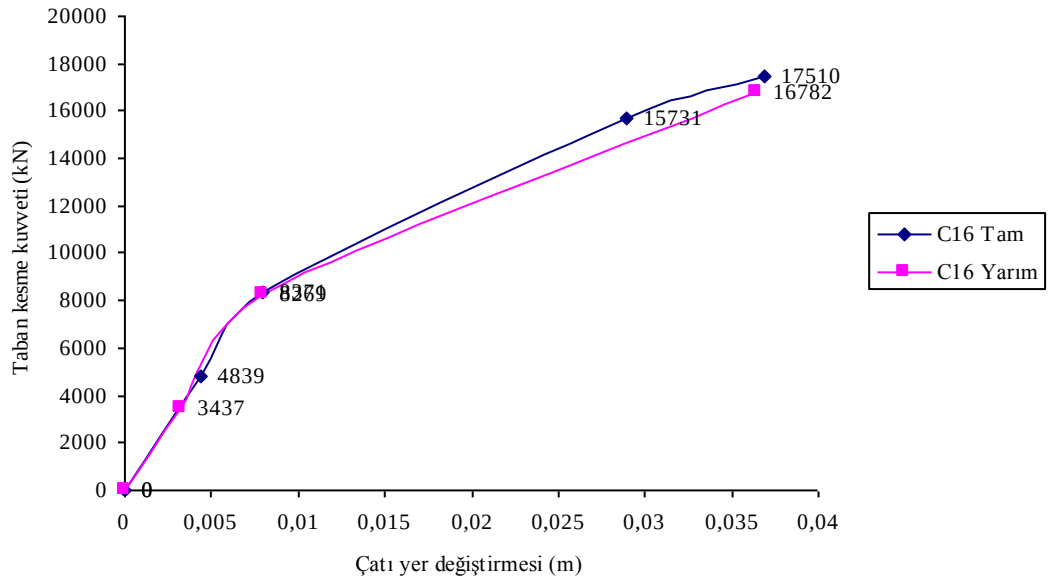
Şekil 13.1 Donatısı tam monte edilmiş sistemlerin kapasite eğrileri



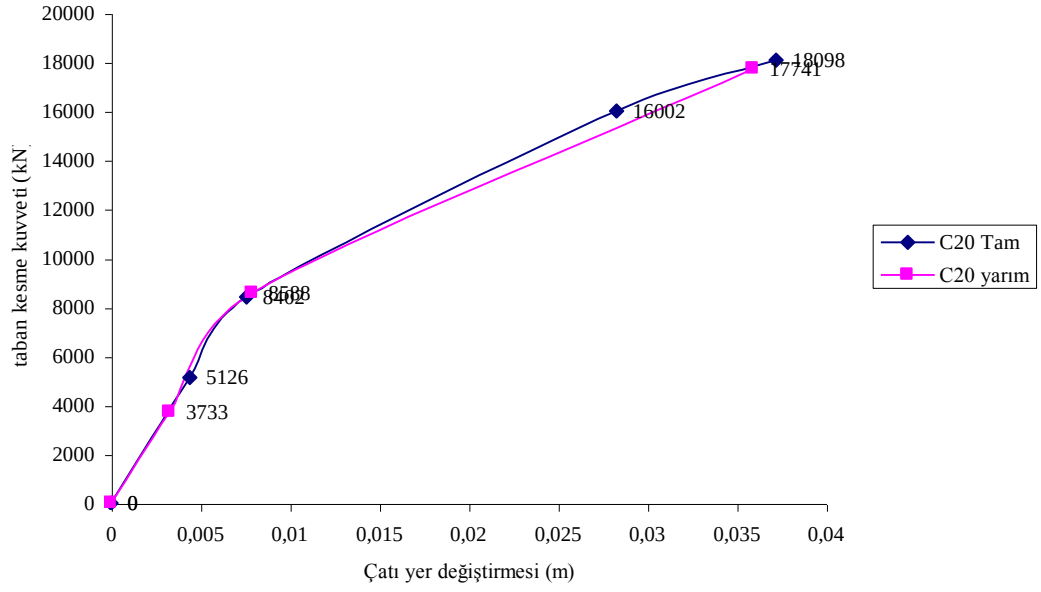
Şekil 13.2 Donatısı yarım monte edilmiş sistemlerin kapasite eğrileri



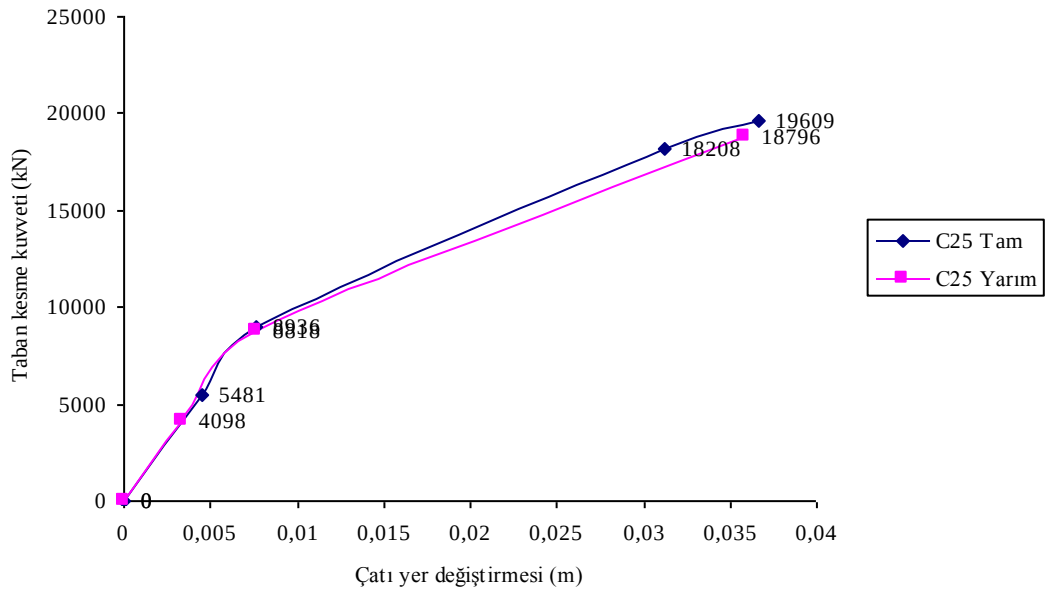
Şekil 13.3 C14 beton sınıfında donatı parametrelerine göre kapasite eğrileri



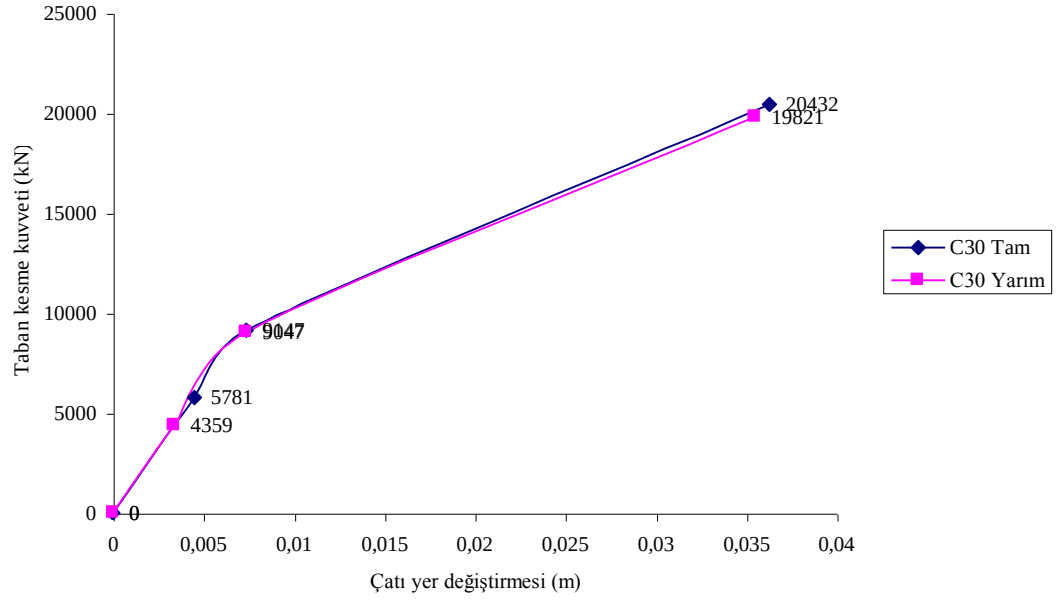
Şekil 13.4 C16 beton sınıfında donatı parametrelerine göre kapasite eğrileri



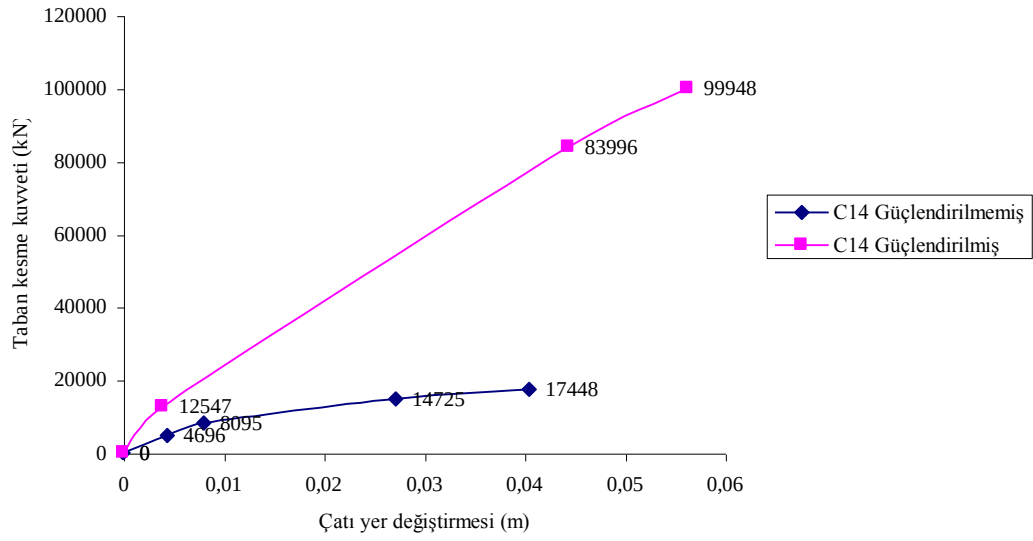
Şekil 13.5 C20 beton sınıfında donatı parametrelerine göre kapasite eğrileri



Şekil 13.6 C25 beton sınıfında donatı parametrelerine göre kapasite eğrileri



Şekil 13.7 C30 beton sınıfında donatı parametrelerine göre kapasite eğrileri



Şekil 13.8 Güçlendirilmiş ve Güçlendirilmemiş Sistemlerin Kapasite Eğrileri

KAYNAKLAR

A)Standartlar

- [6] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrate Buildings, Vol I, Applied Technology Council, Washington, DC, USA.
- [11] **FEMA 273/356**, 1996a. Guidlines For The Seismic Rehabilitation of Buildings, Vol. I, Federal Emergency Management Agency, California, USA.
- [13] **ABYYHY**, 1975. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T.C. İmar Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.
- [14] **ABYYHY**, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T.C. İmar Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.

B) Kitap ve Kitap Bölümleri

- [1] **McClusky S.C, Balassanian S., Barka A., Demir C., Ergintav S.**, 2000. Global Positioning System constraints on the plate kinematics and dynamics in the eastern mediterranean, American Geophysical Union.
- [2] **Parson T.**, 2000. Parsons hightened odds of large earthquakes near istanbul: an interaction- based probability calculation 2000
- [4] **Parson T., Toda S., Stein R.S., Barka A., Dieterich J.H..** (2000). Heightened Odds of Large Earthquakes Near Istanbul: An Interaction-Based Probability Calculation. Science, 288, 661, 2000.
- [5] **Ersoy U., Özcebe G.**, 2001. Betonarme Temel İlkeler, TS500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine(1998) Göre Hesap; Evrim Yayınevi, İstanbul.
- [7] **Celep Z., Kumbasar N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [8] **Celep Z., Kumbasar N.**, 2001. Yapı Dinamiği, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [9] **Celep Z., Kumbasar N.**, 2005. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [12] **Celep Z.**, 2002. Deprem Etkisindeki Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesinde Performans Kavramı, Mustafa İnan Tatbiki Mekanik Seminerleri, İTÜ, İstanbul.

C) Akademik Konferanslarda Yayınlanmış Bildiriler

- [3] Deprem Bölgelerinde Apı Üretimi Sempozyumu 115-16 şubat 2002 TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi.

D) Ders Notları

- [10] **Özer E.**, 2002–2003 Bahar yılı yapı sistemlerinde lineer olmayan analiz ders notları.

E) Kişisel Görüşme

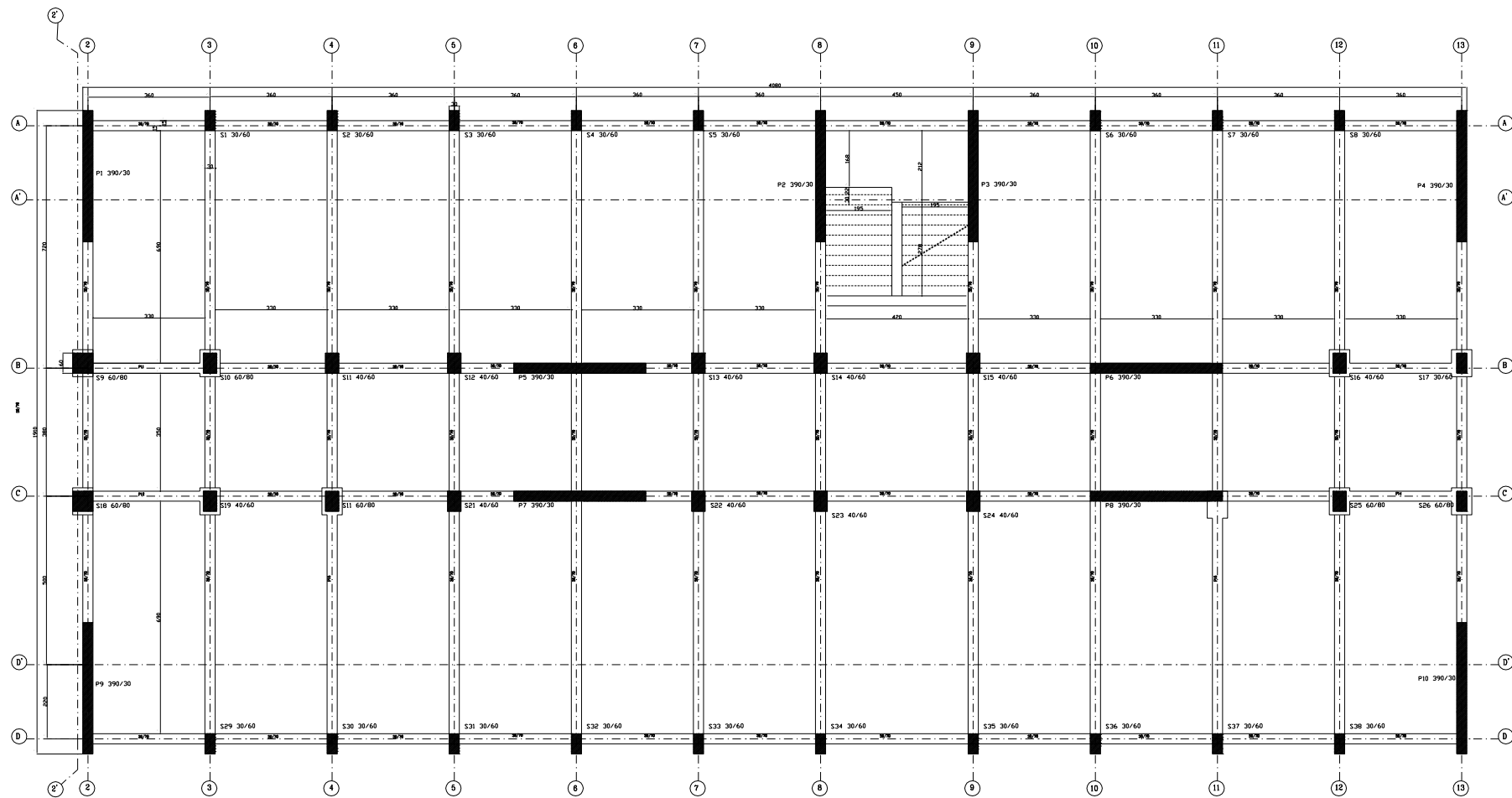
- [20] **Darılmaz K.**, 2004-2005. Kişisel görüşme.
- [21] **Bedirhanoğlu İ.**, 2004-2005. Kişisel görüşme.
- [22] **Özer, C.**, 2004-2005. Kişisel görüşme.

Tablo 7.1 Taşıyıcı Elemanlar İçin 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 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 ayrılmalar gözlenir. Kalıcı yatay ötelenme yoktur. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.	Kolon-Kiriş birleşim noktaları etrafında sınırlı ayrılma gözlenir. Mafsal bölgelerinde sınırlı eğilme çatlaqları vardır. Kalıcı yatay ötelenme gözlenmez, düşey yük kapasitesi korunur.	Mafsallaşma bölgesi etrafında ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde ayrılmalar gözlenir. Mafsal bölgelerinden düğüm noktalarına doğru kesme ve eğilme çatlaqları gözlenmektedir. Etriyelerde esneme meydana gelebilir. Kalıcı düşey yer değiştirmeler 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 yer değiştirmeler oluşur. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.
Döşemeler	Kolon-Kiriş birleşimlerine yakın bölgelerde çok kılcal çatlaqlar gözlenir. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.	Kolon-Kiriş birleşimlerine yakın kılcal çatlaqlar gözlenir. Mafsal bölgelerinde eğilme çatlağı gözlenir. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.	Kolon-Kiriş birleşimlerine noktalarına yakın çatlaqlar gözlenir. Düşey yük taşıma kapasitesi korunur.	Kolon-Kiriş birleşimlerine yakın bölgelerde uzun çatlaqlar 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 çatlaqları görülür. Kalıcı yatay ötelenme yoktur.	Perde düzleminde küçük kayma çatlaqları görülür. Kalıcı yatay ötelenme yoktur.	Uçlarda kısmi ayrılmalar, kayma ve eğilme çatlaqları görülür. Kesmeden dolayı oluşan kayma kusurları görülebilir. Kalıcı yatay ötelemeler %2 mertebesindedir.	Fazla yer değiştirme yapan yerlerde duvar boyunca ayrılmalar ve çatlaqları görülür. Boyuna donatıda burkulma oluşur. Tüm perde bağlantı noktalarında kayma çatlaqları 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 arasında ki rölatif oturma miktarı L/150 seviyesindedir.	Ardışık iki kolon arasında ki rölatif oturma miktarı L/6 seviyesindedir

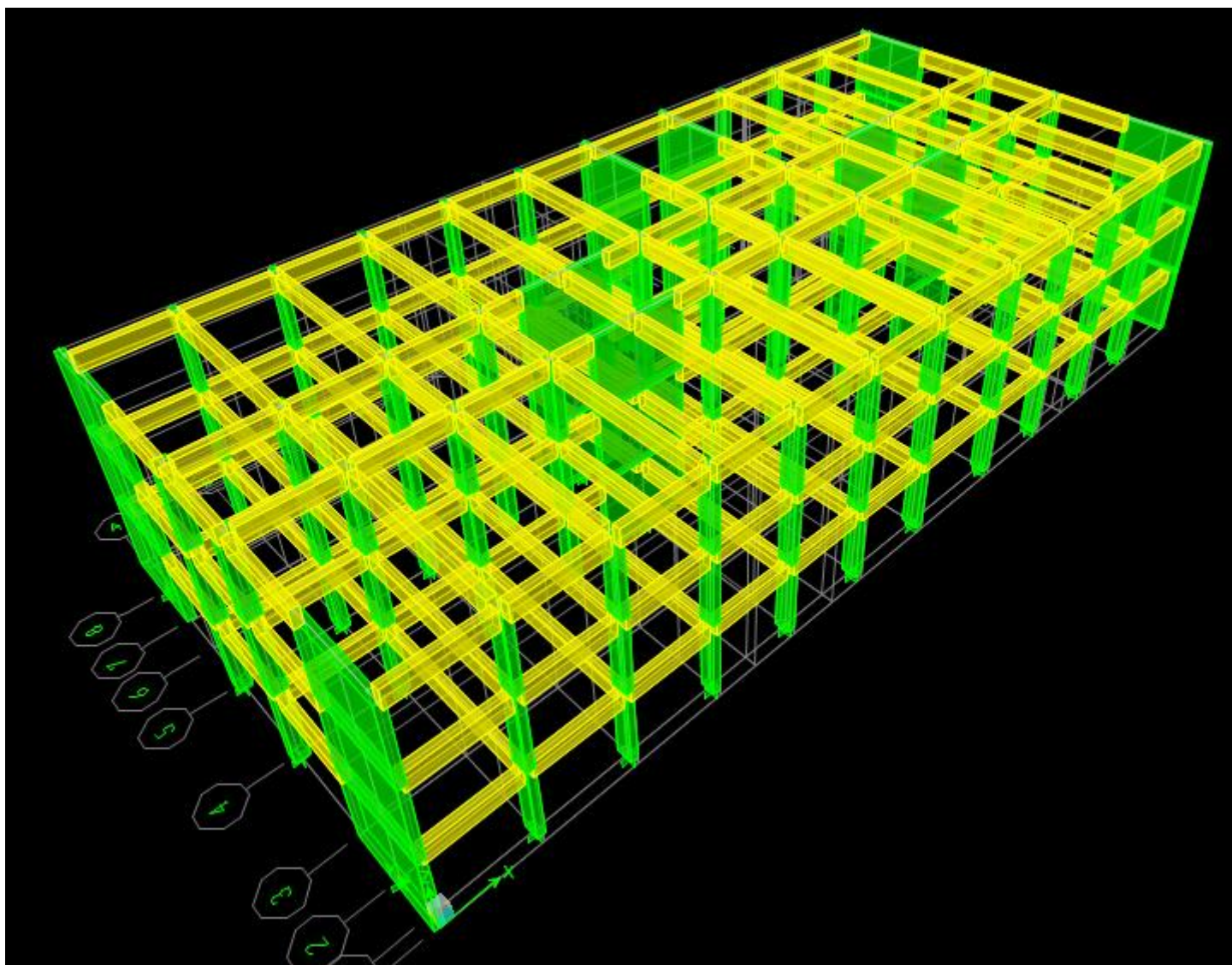
Tablo 7.1 Taşıyıcı Elemanlar İçin Performans-Hasar Tablosu

	güçlenmez.	güçlenmez.		seviyelenmez.
--	------------	------------	--	---------------



Tablo 8.6 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ABYYHY 1998

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin, çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar...	4	7
(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar	3	6
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar.....	-	5
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	-	4
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	3	5
(3) ÇELİK BİNALAR		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar.....	4	6
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	3	-
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	-	7
(c) Betonarme perde durumu.....	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	-
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	-	8
(c) Betonarme perde durumu.....	4	7



ÖZGEÇMİŞ

Hakan US, 1979 yılında SAMSUN’da doğdu. Orta öğrenimini Bostancı Ortaokulunda ve lise öğrenimini Suadiye lisesinde tamamladı. 2001 yılında Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olarak 2002 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Yapı Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.