

**AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA
YÖNETMELİK İLE EUROCODE 8'İN ÇELİK YAPILAR İÇİN
PROJE UYGULAMALI KARŞILAŞTIRILMASI**

TC YÜKSEKÖĞRETİM ENSTİTÜSÜ
BÖLGESEL YÜKSEKÖĞRETİM ENSTİTÜSÜ
İSTANBUL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Sibel GÜREL
(501960023011)

100985

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Haziran 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Haziran 2000

Tez Danışmanı :

Doç.Dr. Güliz BAYRAMOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Tevfik Seno ARDA (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Nesrin YARDIMCI (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2000

ÖNSÖZ

Yapıların afetlere dayanıklı olması ve afetlerin yapılarda yarattığı zararların en aza indirilmesi için gerekli yapım kurallarını belirleyen “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” Bayındırlık ve İskan Bakanlığı emrinde önemli oranda yenilenerek 1998 yılında Resmi Gazete’de yayınlanmış ve yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin büyük bir bölümü, yapıların, ülkemizde sıklıkla ve etkin olarak görülen deprem afetine karşı can kaybını önleyecek ve mal kaybını en aza indirecek şekilde tasarlanması ve hesaplanmasına ilişkin kuralları içermektedir.

Bugün bütünleşme çabası içindeki Avrupa Birliği’ne üye ülkeler de, Avrupa’da deprem afeti yaşanması olasılığı İtalya ve Yunanistan dışında düşük olmasına karşın, yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımıyla ilgili şart ve kurallar getiren ortak bir standart oluşturma gereği duymuşlardır. Bu amaçla CEN (Avrupa Standartlar Komitesi) tarafından “Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance” hazırlanmıştır.

İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mühendisliği yüksek lisans programı çerçevesinde gerçekleştirilen bu yüksek lisans çalışmasında, “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” ile “Eurocode 8”ın genel karşılaştırılması yapılacak, bir örnek proje üzerinde deprem hesaplarındaki farklar irdelenecektir.

Çalışmalarım sırasında ve fakültemizde araştırma görevlisi olarak bulunduğum süre boyunca yol gösterici ve hoşgörülü yaklaşımı ile tezimin gelişmesindeki büyük katkıları için sayın hocam Prof. Dr. Tevfik Seno ARDA’ya, desteği için hocam Doç. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU’na, tezimin yazılmasındaki yardımlarından ötürü arkadaşım Yük. İnş. Müh. Semra ŞİRİN’e, varlıklarıyla bana güç veren aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.

Haziran 2000

Sibel GÜREL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	VII
TABLO LİSTESİ	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	IX
SEMBOL LİSTESİ	X
ÖZET	XIII
SUMMARY	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. GENEL İLKE VE KURALLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	3
2.1. Temel Gereksinimler	3
2.1.1. Eurocode 8	3
2.1.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	3
2.2. Uyulacak Kriterler	4
2.2.1. Eurocode 8	4
2.2.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	5
2.3. Zemin Koşullarına Bakış	5
2.3.1. Eurocode 8	5
2.3.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	7
2.4. Deprem Yükünün Tanımlanması	9
2.4.1. Eurocode 8	9
2.4.1.1. Genel Kabuller	9
2.4.1.2. Deprem Yükünün Temel Tanımı	9
2.4.1.3. Deprem Yükünün Alternatif Tanımları	11
2.4.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	11
2.4.2.1. Genel Kabuller	11
2.4.2.2. Deprem Yükünün Temel Tanımı	12
2.4.2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik veya Elastik Olmayan Tanım	13
2.5. Deprem Yükünün Diğer Yüklerle Kombinasyonu	13
2.5.1. Eurocode 8	13
2.5.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	16
2.6. Deprem Durumunda Bina Önem Katsayıları	17
2.6.1. Eurocode 8	17
2.6.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	17

2.7. Genel Karşılaştırma	18
2.7.1. Yapıların Deprem Performansı	18
2.7.2. Deprem Yükünün Tanımı	19
2.7.3. Zemin Parametreleri	20
2.7.4. Deprem Yükünün Diğer Yüklerle Kombinasyonu ve Önem Katsayılar	20
3. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI	21
3.1. Depreme Dayanıklı Yapıda Aranılan Temel Özellikler	21
3.1.1. Eurocode 8	21
3.1.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	22
3.2. Hesap Esasları	23
3.2.2. Hesap Metodunun Seçilmesi	23
3.2.1. Yapısal Düzensizliğin Tanımlanışı	23
3.2.1.1. Eurocode 8	23
3.2.1.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	25
3.2.1.3. Genel Karşılaştırma	27
3.2.2. Hesap Metodunun Seçilmesi	27
3.2.2.1. Eurocode 8	27
3.2.2.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	28
3.2.3. Modelleme	30
3.2.3.1. Eurocode 8	30
3.2.3.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	30
3.3. Analiz Metodları	31
3.3.1. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi	31
3.3.1.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	31
3.3.1.2 Eurocode 8	36
3.3.2. Mod Birleştirme Yöntemi	39
3.3.2.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	39
3.3.2.2 Eurocode 8 (Multi- Modal Karşılık Spektrum Analizi)	44
3.3.3. Alternatif Analiz Metodları	47
3.3.3.1 Eurocode 8	47
3.3.3.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	48
3.3.4. Deprem Yükü Bileşenlerinin Birleştirilmesi	48
3.3.4.1. Eurocode 8	48
3.3.4.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	50
3.4. Yapısal Olmayan Elemanların Hesabı	51
3.4.1. Eurocode 8	51
3.4.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	52
3.5. Deprem Derzleri	53
3.5.1. Eurocode 8	53

3.5.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	54
3.6. Genel Karşılaştırma	54
3.6.1. Modelleme ve Hesap Metodunun Seçilmesindeki Farklılıklar	54
3.6.2. Analiz	55
4. ÇELİK YAPILARIN DEPREME DAYANIKLI TASARIMI	57
4.1. Taşıyıcı Sistem Sınıflandırılması	57
4.1.1. Eurocode 8	57
4.1.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	57
4.2. Yapı Tipleri ve Davranış Faktörleri	58
4.2.1. Eurocode 8	58
4.2.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	62
4.3. Tasarım Kuralları	65
4.3.1. Eurocode 8	65
4.3.1.1. Tüm Yapılara İlişkin Detay Kurallar	65
4.3.1.2. Dizayn Kriterleri	67
4.3.1.3. Moment Aktaran Çerçeveye İlişkin Detay Kurallar	68
4.3.1.4. Merkezi Çaprazlara İlişkin Detay Kurallar	69
4.3.1.5. Dışmerkez Çaprazlara İlişkin Detay Kurallar	71
4.3.1.6. Konsol veya Ters Sarkaç Yapılara İlişkin Detay Kurallar	72
4.3.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	72
4.3.2.1. Dizayn Kriterleri	72
4.3.2.2. Moment Aktaran Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeveye İlişkin Detay Kurallar	73
4.3.2.3. Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çaprazlı Perdelere İlişkin Detay Kurallar	75
4.3.2.4. Süneklik Düzeyi Normal Çerçevelere İlişkin Kurallar	75
4.3.2.5. Süneklik Düzeyi Normal Çelik Çaprazlı Perdelere İlişkin Kurallar	75
4.3.2.6. Ek ve Birleşimlere İlişkin Kurallar	76
4.4. Genel Karşılaştırma	77
5. ÖRNEK YAPININ KARŞILAŞTIRMALI DEPREM ANALİZİ	79
5.1. Giriş	79
5.1.1. Yapının Tanıtılması	79
5.1.2. Düşey Yük Analizi	81
5.2. Düşey Yüklere Göre Çözüm ve Yapının Boyutlandırılması	82
5.3. Yapının Deprem Yüğü Altında Analizi ve Boyutlandırılması	86
5.3.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre Analiz	88
5.3.2. Eurocode 8'e Göre Ek Eksantriklik Hesabı	90
5.4. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'e Göre Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde İkinci Aşama	92

5.5. Eurocode 8 Uyarınca Çok Modlu Karşılık Spektrum Analizi İle Yapının Deprem Yüklerine Göre Dizaynı	95
6. SONUÇLAR	97
KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	99



KISALTMALAR

ABYYHY : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
CEN : Comité Européen de Normalisation
TS : Türk Standartı



TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Zemin grupları	6
Tablo 2.2. Elastik spektrum için zemin parametreleri.....	6
Tablo 2.3. Dizayn spektrumu için zemin parametreleri	7
Tablo 2.4. Yerel zemin sınıfları	7
Tablo 2.5. Zemin grupları	8
Tablo 2.6. Spektrum karakteristik periyotları	8
Tablo 2.7. Etkin yer ivme katsayısı tablosu	11
Tablo 2.8. Hareketli yükler için kombinasyon katsayısı	14
Tablo 2.9. Hareketli yük tiplerine göre ϕ katsayıları.....	14
Tablo 2.10. Hareketli yük katılım katsayısı tablosu	17
Tablo 2.11. Bina önem faktörü tablosu	17
Tablo 2.12. Bina önem katsayıları	18
Tablo 3.1. Yapısal düzensizliklere göre analiz metodunun seçilmesi	28
Tablo 3.2. v azaltma katsayıları tablosu	39
Tablo 3.3. Yapısal olmayan elemanların davranış faktörleri	51
Tablo 4.1. Çelik binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayıları	62
Tablo 4.2. Davranış katsayıları tablosu	63
Tablo 4.3. Enkesit sınıflarına göre davranış faktörü limitleri	64
Tablo 5.1. Ön boyutlamada seçilen kesitler	83
Tablo 5.2. Düşey yüklere göre kesin boyutlandırma	86
Tablo 5.3. Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırma	93
Tablo 5.4. Perde Kesitleri	94
Tablo 5.5. Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre kesin boyutlandırma	94
Tablo 5.6. Eurocode 8'e göre boyutlandırma	95
Tablo 5.7. Perde Diyagonalleri	96
Tablo 5.8. Eurocode 8'e göre kesin boyutlandırma	96

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Elastik spektrum diyagramı	12
Şekil 3.1	24
Şekil 3.2 :	24
Şekil 3.3 :	25
Şekil 3.4	25
Şekil 3.5(a): Analiz metodunun seçiminde adımlar	29
Şekil 3.5(b): Analiz metodunun seçiminde adımlar	29
Şekil 3.6 : Kat kütle merkezi	40
Şekil 3.7(a): Deprem yükünün dışmerkezliği	47
Şekil 3.7(b): Deprem yükünün dışmerkezliği	47
Şekil 4.1 : Moment aktaran çerçeve	59
Şekil 4.2 : Aktif çekme diyagonal çaprazları	59
Şekil 4.3 : V çaprazları	60
Şekil 4.4 : K çaprazları	60
Şekil 4.5 : Dışmerkez çaprazlar	60
Şekil 4.6 : Beton çekirdekli beton duvarlı yapılar	61
Şekil 4.7 : İkili yapılar	61
Şekil 4.8 : Karma yapılar	62
Şekil 4.9 : Kiriş-kolon birleşimlerindeki gövde panelleri	69
Şekil 4.10 : Merkezi çaprazlar	70
Şekil 4.11 : Kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu	73
Şekil 5.1 : Örnek yapının planı	79
Şekil 5.2 : Düğüm noktası detayı 1	80
Şekil 5.3 : Düğüm noktası detayı 2	80
Şekil 5.4 : Binanın enkesiti	80
Şekil 5.5 : Kolon yerleşim planı	83
Şekil 5.6 : En elverişsiz yüklemeler	84
Şekil 5.7 : C-C aksında dışmerkez çaprazlar	87
Şekil 5.8 : A-A aksında dışmerkez çaprazlar	87
Şekil 5.9 : 2-2 ve 2'-2' akslarında dışmerkez çaprazlar	88
Şekil 5.10 : Birim deplasmanlar	91

SEMBOL LİSTESİ

$A(T)$	: Spektral İvme Katsayısı
A_o	: Etkin Yer İvmesi Katsayısı
a_g	: Söz konusu dönüşüm periyodu için dizayn yer ivmelenmesi
B_a	: Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü
B_{ax}	: Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
B_{ay}	: Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda, x 'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
B_B	: Mod Birleştirme Yönteminde mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi bir büyüklük
B_D	: B_B büyüklüğüne ait büyütülmüş değer
C_t	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan katsayı
D_i	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde burulma düzensizliği olan binalar için i 'inci katta $\pm \%5$ ek dışmerkezliğe uygulanan büyütme katsayısı
d_{fi}	: Binanın i 'inci katında F_{fi} fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
d_i	: Binanın i 'inci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
E	: Deprem yüğü simgesi
F_{fi}	: Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında i 'inci kata etkiyen fiktif yük
F_i	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde i 'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yüğü
f_e	: Mekanik ve elektrik donanımının kütle merkezine etkiyen eşdeğer
G	: Sabit yük simgesi
g_i	: Binanın i 'inci katındaki toplam sabit yük
H_i	: Binanın i 'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
H_N	: Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
h_i	: Binanın i 'inci katının kat yüksekliği
I	: Bina Önem Katsayısı
k_1, k_2	: Sırasıyla T_C ve T_D 'den büyük titreşim periyotları için ivmelenme spektrumunun şekline etki eden üsler
k_{d1}, k_{d2}	: Sırasıyla T_C ve T_D 'den büyük titreşim periyotları için dizayn spektrumunun şeklini etkileyen üsler
M_{pa}	: Kolonun alt ucunda hesaplanan plastikleşme momenti
M_{pi}	: Kirişin sol ucu i 'de hesaplanan pozitif veya negatif plastikleşme momenti

M_{pj}	: Kirişin sağ ucu j'de hesaplanan negatif veya pozitif plastikleşme momenti
M_{pu}	: Kolonun üst ucunda hesaplanan plastikleşme momenti
M_r	: r'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle
M_{xr}	: Gözönüne alınan x deprem doğrultusunda binanın r'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
M_{yr}	: Gözönüne alınan y deprem doğrultusunda binanın r'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
m_i	: Binanın i'inci katının kütlesi ($m_i = w_i / g$)
$m_{\theta i}$	: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, binanın i'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütle eylemsizlik momenti
N	: Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı
n	: Hareketli Yük Katılım Katsayısı
q_i	: Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
$R_a(T)$	: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
q	: Davranış faktörü
Q	: Hareketli yük simgesi
s	: Zemin parametresi
$S_{pa}(T_r)$	: r'inci doğal titreşim modu için ivme spektrumu ordinatı [m/s^2]
T	: Bina doğal titreşim periyodu [s]
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]
T_{1A}	: Binanın amprik bağıntı ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Spektrum Karakteristik Periyotları [s]
T_B, T_C	: Sabit spektral ivmelenme bölümünün sınırları
T_D	: İvmelenme spektrumunun sabit yerdeğiştirme bölümünün başlangıcı
T_r, T_s	: Binanın r'inci ve s'inci doğal titreşim periyotları [s]
V_i	: Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti
V_t	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğü (taban kesme kuvveti)
V_{tb}	: Mod Birleştirme Yönteminde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda modlara ait katkıların birleştirilmesi ile bulunan bina toplam deprem yüğü (taban kesme kuvveti)
W	: Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
w_e	: Mekanik veya elektrik donanımının ağırlığı
w_i	: Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
Y	: Mod Birleştirme Yönteminde hesaba katılan yeterli doğal titreşim modu sayısı
α	: Dizayn yer ivmelenmesinin yerçekimi ivmesine oranı
α_M	: Süneklik düzeyi yüksek perdelerin tabanında elde edilen eğilme momentleri toplamının, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam devrilme momentine oranı
β	: Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan büyüklüklerin alt sınırlarının

	belirlenmesi için kullanılan katsayı
β_0	: %5 sönüm için spektral ivmelenme artım faktörü
γ_I	: Yapı önem katsayısı
Δ_i	: Binanın i'inci katındaki görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{\max}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	: Binanın i'inci katındaki ortalama görelî kat ötelemesi
ΔF_N	: Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
η	: %5 sönüm için $\eta=1$ alınan, sönüm düzeltme faktörü
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
η_{ci}	: i'inci katta tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı
η_{li}	: i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
Φ_{xir}	: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, r'inci mod şeklinin i'inci katta x eksenî doğrultusundaki yatay bileşeni
Φ_{yir}	: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, r'inci mod şeklinin i'inci katta y eksenî doğrultusundaki yatay bileşeni
$\Phi_{\theta ir}$	: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, r'inci mod şeklinin i'inci katta düşey eksen etrafındaki dönme bileşeni
θ_i	: i'inci katta tanımlanan İkinci Mertebe Gösterge Değeri



AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA YÖNETMELİK (1998) İLE EUROCODE 8'İN ÇELİK YAPILAR İÇİN PROJE UYGULAMALI KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Master tezi olarak sunulan bu çalışmada, 1998 Türk Deprem Yönetmeliği ile Eurocode 8 (: Yapıların Depreme Dayanıklı Olarak Tasarımı) birbirleriyle karşılaştırılmış ve iki yönetmelik çelik bir binanın karşılaştırmalı dizaynına uygulanmıştır.

Altı bölümden oluşan çalışmanın ilk bölümü konu, amaç ve sınırların tarifini kapsamaktadır.

İkinci bölüm, Eurocode 8 ve Türk Deprem Yönetmeliği'nde değinilen genel kavram, dizayn prensipleri ve yapısal düzenlilik kavramlarının karşılaştırılmasına ayrılmıştır. Yapının beklenen depremsel performansı ve güvenilirliğinden ve zemin koşullarından bahsedildikten sonra, deprem yükleri bu iki yönetmeliğe göre tanımlanmıştır.

Üçüncü bölüm, yapıların depreme dayanıklılık için analiz sürecini anlatır. Yapının modellenmesi ve analiz metodunun seçilmesi ortaya konduktan sonra, iki temel statik ve dinamik metod tanımlanmıştır. Her iki yöntem de ikinci mertebe etkilerin belirlenmesi ve önceden kestirilebilen göçme mekanizmasının önlenmesi için değişik hesap ve kontrol adımlarını gerektirmektedir.

Dördüncü bölümde, çelik yapılar için özel tasarım kuralları açıklanmıştır. Bileşik eğilme ve akmaya maruz çelik kesitler için iç kuvvet- şekil değiştirme bağıntısı ortaya konulmaktadır. Değişik yapısal sistemler için davranış faktörleri tablo ve formüller şeklinde verilmiştir. Daha sonra yapısal elemanların süneklik ve dayanımı için iki yönetmelikteki öngörüler birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde, iki yönetmelik, basit çelik bir yapının eşdeğer statik dizayn metodu kullanılarak, karşılaştırmalı dizaynı için uygulanmıştır. Binanın yapısal analizi SAP90 bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bölümün sonunda, hesap sonuçları arasındaki sayısal farklar yardımıyla, iki kod arasındaki sayısal ayırım açığa kavuşturulmuştur.

Son bölümde, çalışmanın ana özellikleri ve sayısal sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

PROJECT APPLIED COMPARISON OF THE TURKISH SPECIFICATIONS FOR BUILDINGS IN EARTHQUAKE REGIONS (1998) AND EUROCODE 8 WITH RESPECT TO STEEL BUILDINGS

SUMMARY

In this study, which is presented as a Master of Science Thesis, 1998 Turkish Earthquake Specifications and Eurocode 8 (: The Design Rules For Earthquake Resistant Buildings) are compared with each other and the two codes are applied to the comparative design of a steel building.

The first chapter of the study, which is composed of six chapters, covers the description of the subject, aim and the scope.

The second chapter is devoted to the comparison of general concept, design principles and structural regularity concepts mentioned in Eurocode 8 and in Turkish Specifications. After stating expected seismic performance and reliability of the structure and ground conditions, the earthquake loads are defined with regard to these two codes.

The third chapter presents analysis procedure of structures for earthquake resistance. After introducing modelling of structure and choosing analysis method, two major static and dynamic methods are described. Both of the methods involves different calculation and control steps in order to determine the second order effects and to prevent the foreseeable collapse mechanism.

In the fourth chapter, specific design rules for steel buildings are explained. The internal force- deformation relationship for steel sections subject to combined bending and yielding is introduced. Behaviour factors are given for different structural systems in forms of tables and formulae. Then provisions for ductility and rigidity of structural elements in two codes are compared with each others.

In the fifth chapter, the two codes are applied to the comparative design of a simple steel building by using equivalent static design method. The structural analysis of the building is performed by using SAP90 computer program. The numerical distinction between the two codes is made clear by presenting the differences between the computational results at the end of the chapter.

In the last chapter, the main characteristics of the study and evaluation of the numerical results are presented.

1 GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Deprem, yerkabuğunun derin tabakalarındaki çökmelere, volkanik veya tektonik etkilere bağlı olarak meydana gelen, yeryüzünde dinamik titreşimlerle kendisini belli eden kısa süreli bir yerkabuğu hareketidir.

Deprem hareketinin şiddetini, zamana bağlı olarak yüzdelerle ifade edilen meydana gelme olasılığını ve bu dinamik hareketin yerkabuğu yapısına, zemin tipine bağlı olan karakteristiklerini belirlemek sismoloji biliminin konusunu teşkil eder. Ancak yeryüzünde inşa edilen bina ve diğer mühendislik yapıları üzerindeki direkt etkisi nedeniyle, deprem olgusu, inşaat mühendisliğinin de uğraşı alanında yer almaktadır.

Deprem, düşey yükler altında analiz ve tasarımı yapıtığımız bina ve diğer mühendislik yapıları üzerine yatay, dinamik ve rastlantısal bir yük olarak etkimektedir. Tıpkı rüzgar yükü gibi gözardı edilemeyecek bu yatay etki, çeşitli basitleştirmeler ve kabuller yardımıyla modellenir ve yapının projelendirilmesi sırasında gözönüne alınır.

Dünyada şiddetli depremlerin meydana geldiği büyük “Alt Himalaya Deprem Kuşağı”nın uzantısı durumunda bulunan ülkemizde, yakın zamanda, 17 Ağustos 1999 tarihinde yaşanan 7.4 aletsel büyüklüğündeki İzmit depremi ve ardından 12 Kasım 1999’da Düzce’yi vuran 7.2 büyüklüğündeki deprem, bizleri Türkiye’nin eskiden beri varolan yüksek depremselliği gerçeği ile yüzyüze getirmiştir. Ülke nüfusunun önemli bir bölümünün yoğun olarak yerleştiği Doğu Marmara’da, yapıların depremde göçmesi sonucu büyük can ve mal kaybının yaşanmış olması, topraklarında “Kuzey Anadolu Fay Hattı” ve “Doğu Anadolu Fay Hattı” gibi iki büyük aktif fay hattı bulunan Türkiye’de mühendislik yapılarının depreme dayanıklı olarak tasarlanması ve inşa edilmesi zorunluluğunu bir kez daha ve yine acı bir şekilde açığa çıkarmıştır.

Ülkemizde, 1974 yılından bu yana deprem yer hareketine maruz kalacak bina ve bina türü yapıların, tamamının veya bölümlerinin, depreme dayanıklı olarak tasarımı ve yapımı için gerekli minimum koşulları belirleyen bir yönetmelik bulunmaktaydı. “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik” son birkaç yıldır süren çalışmalar sonunda , bilimsel ve teknolojik gelişmelere (özellikle bilgisayar teknolojisinde kaydedilen gelişmelere) paralel bir şekilde yenilenmiş olarak ve en son değişikliklerle birlikte 1998 yılında Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir.

Yine bugün biz, Avrupa’da şiddetli depremlerle İtalya dışında pek karşılaşılmasına rağmen, Avrupa Birliği’ne dahil ülkelerin ortak atılımıyla oluşturulan Avrupa Standartları (Eurocodes) arasında oldukça ayrıntılı bir depreme dayanıklı yapı dizaynı standardı bulunduğunu görmekteyiz. Genel sekreterliği Brüksel’de bulunan Comité Européen de Normalisation CEN (Avrupa Standartlar Birliği) 1998 yılında “Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance”ı (Eurocode 8: Yapıların Depreme Dayanıklı Olarak Tasarımı’nı) çıkarmıştır.

Bu çalışmada, yukarıda adı geçen iki deprem yönetmeliğinin benzeşen yönleri ve farklılıkları konu başlıkları altında karşılaştırmalarla irdelenecek ve en son bölümde basit bir yapı üzerinde sayısal değerlendirmelere gidilecektir.

2 GENEL İLKE VE KURALLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

2.1 Temel Gereksinimler

2.1.1 Eurocode 8

Göçmeye Karşı Dayanım Gereksinimi: Lokal veya genel göçmeye karşı yeterli dayanımın sağlandığının kabul edilebilmesi için, yapı, depremden sonra da bütünlüğünü ve yeterli artık yük taşıma kapasitesini sürdürmelidir.

Hasarın Sınırlandırılması Gereksinimi: Dizayn deprem yükünden daha hafif şiddette (daha büyük olasılıklı) bir depremin meydana gelmesi durumunda yapı, kullanımı sınırlandıracak şekilde ya da yapının kendi maliyetine oranla yüksek meblağlara mal olacak şekilde hasar görmemelidir. Yukarıdaki gereksinimleri karşılamak üzere γ_1 (önem katsayısı), değişik güvenlik dereceleri elde etmek için kullanılır.

2.1.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

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 elemanlardaki hasarın onarılabilir düzeyde kalması; şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacıyla binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir.

2.2 Uyulacak Kriterler

2.2.1 Eurocode 8

Nihai Sınır Yük Durumu (Göçme Sınır Yüğü): Yapının göçmesi ya da insan güvenliğini tehlikeye atacak diğer yapısal bozulmaların gerçekleşmesi durumudur.

Bu durumun önlenmesi için gerekli şartlar:

- Dayanım ve süneklik, malzemenin non-lineer şekil değiştirme özelliğinin kullanılmasına bağlı olarak belirlenir. Dayanım ve süneklik arasındaki ilişki q (davranış faktörü) ile ifade edilir.

$q = 1 \rightarrow$ Enerji yutucu olmayan yapı

(Malzemenin non-lineer dayanımı kullanılmıyor.)

$q > 1 \rightarrow$ Enerji yutucu yapı

(Malzemenin non-lineer dayanımı kullanılıyor. Enerji yutucu kuşaklar ve kritik bölgeler söz konusudur.)

- Devrilme ve kaymaya karşı tüm yapının stabilitesi, dayanımı sağlanmalıdır.
- Temel ve temel zemininin dayanımı yeterli olmalıdır.
- İkinci mertebe etkiler dikkate alınmalıdır.
- Yapısal olmayan elemanların insanlara ve yapıya olan zararlı etkileri önlenmelidir.

Kullanma Sınır Yük Durumu: Yapının kullanım amaçlarını daha fazla karşılayamaz (servis hizmetlerini yapamaz) hale gelmesi durumudur. Bu durumun önlenmesi için gerekli şartlar:

- Deformasyon limitleri sağlanarak, kabul edilemez zararlara karşı yeterli güvenlik derecesi elde edilmelidir.
- Önemli yapılar fonksiyonlarını ve hayati işlevlerini sürdürebilecek şekilde yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olmalıdırlar.

Alınması gereken diğer özel önlemler şunlardır:

- Yapı, planda ve boykesitte basit ve düzenli şekillendirilmelidir. Gerekirse yapıyı dinamik olarak bağımsız birimlere bölmek düşünülebilir.

- Tümüyle süneklikten, gevrek kırılmalarından ve stabil olmayan mekanizmaların vaktinden önce meydana gelmesinden kaçınılmalıdır. Gevrek kırılmadan kaçınmak ve enerji yutucu elemanların amaçlanan şekilde çalışmalarını sağlamak için, değişik yapısal elemanlarda dayanımın derece derece arttığı kapasite dizayn metoduna başvurulur.
- Kritik bölgelerin ve lineer olmayan davranış göstereceği önceden belirlenen yapı bölümlerinin birleşimleri, tekrarlı şartlar altında, deprem yüklerini iletmeye ve enerji yutmaya devam edecek şekilde detaylandırılırlar.
- Zeminin ve yapısal olmayan elemanların şekil değiştirme etkilerinin de gözönüne alındığı yeterli bir yapısal model seçilmelidir.

2.2.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Göçme sınır yük durumu şartları ve kullanma sınır yük durumu şartları burada da geçerlidir. Bir bütün olarak deprem yüklerini taşıyan bina taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlilikte rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunmalıdır. Bu bağlamda döşeme plakları, deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle dağıtılmasını sağlayacak düzeyde rijitlik ve dayanıma sahip olmalıdırlar.

Binaya aktarılan deprem enerjisinin önemli bir bölümünün taşıyıcı sistemin sünek davranışı ile tüketilmesi için, sünek tasarım ilkelerine titizlikle uyulmalıdır.

Düzensiz binaların tasarımından ve yapımından kaçınılmalıdır.

2.3 Zemin Koşullarına Bakış

2.3.1 Eurocode 8

Deprem sırasında temel zemini, zemin kopmaları, şev stabilitesinin bozulması, sıvılaşma ve sıkılaşmalar etkisinde kalıcı yerleşmelerin meydana gelmesi gibi risklerden uzak olmalıdır.

Tablo 2.1 Zemin Grupları [1]

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Kesme Dalgası Hızı v_s (m/s)
A	Yüzeyinde en fazla 5 m'lik zayıf zemin tabakası olan, kaya ve diğer jeolojik oluşumlar	> 800
	Onlarca metre kalınlıkta ve mekanik özellikleri derinlikle artan, çok sıkı kum ve çakıl tabakaları ile konsolide kil tabakaları	> 400 (10 m derinlikte)
B	Onlarca metreden yüzlerce metreye kadar değişen kalınlıklarda, orta sıkılıkta kum, çakıl veya orta katılıkta kilden oluşan derin birikintiler	> 200 (10 m derinlikte)
		> 350 (50 m derinlikte)
C	Yumuşak kohezyonlu katmanlar içeren veya içermeyen, gevşek kohezyonsuz zemin tabakaları (birikintileri)	< 200 (en üst 20 m içinde)
	Yumuşaktan ortaya değişen katılıkta kohezyonlu zeminin hakim olduğu tabakalar	< 200 (en üst 20 m içinde)

Zemine bağlı, elastik tepki spektrumunu belirleyen parametreler ise şunlardır:

Tablo 2.2 Elastik Spektrum İçin Zemin Parametreleri [1]

Zemin Grubu	s	β_0	k_1	k_2	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	2,5	1,0	2,0	0,10	0,40	3,0
B	1,0	2,5	1,0	2,0	0,15	0,60	3,0
C	0,9	2,5	1,0	2,0	0,20	0,80	3,0

- Bu değerler, elastik davranış spektrumu ordinatının tüm periyot değerlerini aşması hali, %50'ye eşit bir üniform olasılık dağılımı gösterecek şekilde seçilir.

Eğer A grubu katı bir tabakanın üzerinin 5 ile 20 metre arasındaki alüvyon katmanı ile kaplanmış olduğu bir zemin durumu söz konusu ise, zemin parametresinin $s = 1,4$ olacak şekilde arttırılması ve B zemin grubu için geçerli diğer parametrelerin kullanılması uygundur.

Yüksek plastisite indisine ($PI > 40$) ve yüksek su içeriğine sahip en az 10 m kalınlığında, yumuşak kil-silt katmanları içeren C grubu zeminlerde özel dikkat gösterilmelidir. Bu tür zemin çok düşük kesme dalga hızına, çok düşük iç nemliliğe ve anormal gelişen bir lineer davranış dağılımına sahiptir. Bu nedenle anomalili deprem bölgesi kuvvetlendirme ve toprak-yapı etkileşimi gibi etkileri vardır. Bu durumda parametreleri belirleyici detaylı inceleme ve deneysel araştırmalar yapılmalıdır.

Sönüm düzeltme faktörü η şu formülle belirlenir:

$$\eta = (7 / (2 + \xi))^{1/2} \geq 0,7 \quad (2.1)$$

Eğer bu denklemdeki yapıda titreşim sönümlenme oranı ξ , %5'ten farklı ise ilgili Eurocode'a başvurulmalıdır.

Deprem analizinde, zemindeki deformasyonları da gözönüne alabilecek şekilde, yeterli bir yapısal model seçilmelidir.

Zemine bağlı dizayn spektrumunu belirleyen parametreler şunlardır:

Tablo 2.3 Dizayn Spektrumu İçin Zemin Parametreleri [1]

Zemin Grubu	k_{d1}	k_{d2}
A	2/3	5/3
B	2/3	5/3
C	2/3	5/3

2.3.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Deprem elastik ivme spektrumunun belirlenmesinde kullanılan spektrum karakteristik periyotları, aşağıda tanımlanan yerel zemin sınıflarına bağlı olarak değer almaktadırlar:

Tablo 2.4 Yerel Zemin Sınıfları [2]

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

Zeminin sınıflaşma potansiyeli ayrıca irdelenmelidir.

Tablo 2.5 Zemin Grupları [2]

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar.....	—	—	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl.....	> 50	85-100	—	> 700
	3. Sert kil ve siltli kil.....	> 32	—	> 400	> 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar.....	—	—	500-1000	700-1000
	2. Sıkı kum, çakıl.....	30-50	65-85	—	400-700
	3. Çok katı kil ve siltli kil.....	16-32	—	200-400	300-700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar.....	—	—	< 500	400-700
	2. Orta sıkı kum, çakıl.....	10-30	35-65	—	200-400
	3. Katı kil ve siltli kil.....	8-16	—	100-200	200-300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları.....	—	—	—	< 200
	2. Gevşek kum.....	< 10	< 35	—	< 200
	3. Yumuşak kil, siltli kil.....	< 8	—	< 100	< 200

Tablo 2.6 Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A, T_B) [2]

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

(C) ve (D) gruplarına giren zeminlere oturan kolon ve özellikle perde temellerindeki dönmelerin taşıyıcı sistem hesabına etkileri, uygun idealleştirme yöntemleri ile gözönüne alınmalıdır.

2.4 Deprem Yükünün Tanımlanması

2.4.1 Eurocode 8

2.4.1.1 Genel Kabuller

Ulusal otoriteler tarafından, deprem kuşakları bölgesel risklere bağlı olarak belirlenir. Bu riski ifade eden parametre “efektif maksimum yer ivmelenmesi (dizayn yer ivmelenmesi)”dir ve “ a_g ” ile gösterilir.

Dizayn yer ivmelenmesi, her deprem kuşağı için 475 yılda bir kez görülen şiddetli deprem referans alınarak belirlenir. Bu 475 yıllık meydana gelme periyodu, önem katsayısı $\gamma_1 = 1,0$ değerine karşı gelir.

$a_g \leq 0,10g$ ise bu kuşaklar hafif şiddette depremlerin olduğu bölgelerdir. Buralarda azaltılmış ya da basitleştirilmiş deprem dizayn işlemleri, belirli yapı tipleri ve kategorileri için takip edilebilir.

$a_g \leq 0,04g$ olması halinde Eurocode 8 uygulanmak zorunda değildir.

2.4.1.2 Deprem Yükünün Temel Tanımı

Deprem hareketi genellikle elastik yer ivmelenme-tepki spektrumu ile temsil edilir. Bu yüzden “elastik karşılık spektrumu” olarak adlandırılır.

Yatay deprem yükü, birbirine dik ve birbirinden bağımsız, ancak aynı karşılık spektrumu ile temsil edilen iki yatay bileşene sahiptir.

Deprem hareketinin düşey bileşeni, aşağıdaki azaltmalar uygulanarak, karşılık spektrumu ile temsil edilir:

$$T < 0,15 \text{ sn} \rightarrow (\text{ordinat} \cdot 0,70)$$

$$T > 0,50 \text{ sn} \rightarrow (\text{ordinat} \cdot 0,50)$$

$$0,15 < T < 0,50 \rightarrow \text{interpolasyon}$$

Elastik karşılık spektrumu aşağıdaki denklemler yardımıyla belirlenir:

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot s [1 + (T/T_B)(\eta \cdot \beta_0 - 1)] \quad (2.2a)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot s \cdot \eta \cdot \beta_0 \quad (2.2b)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot s \cdot \eta \cdot \beta_0 [T_C/T]^{k_1} \quad (2.2c)$$

$$T_D \leq T : S_e(T) = a_g \cdot s \cdot \eta \cdot \beta_0 [T_C/T_D]^{k_1} [T_D/T]^{k_2} \quad (2.2d)$$

Maksimum Zemin Yerdeğiştirmesi:

$$g = [0,05] a_g \cdot s \cdot T_C \cdot T_D \quad (2.3)$$

Lineer Analiz İçin Dizayn Spektrumu : Lineer analiz uygulanırken, yapının, elemanlarının sünek davranışlarından kaynaklanan non-lineer dayanımı da hesaba katılmak istenir. Bu nedenle lineer analizde elastik karşılık spektrumu bir q faktörü (davranış faktörü) ile azaltılarak dizayn spektrumuna dönüştürülür. Bundan başka k_{d1} ve k_{d2} tanımlayıcı üsler de genellikle kullanılır.

Davranış faktörü q , %5 yapısal sönümleme ile yapının tümüyle elastik karşılık göstermesine neden olan deprem kuvvetlerinin, geleneksel lineer modele göre dizaynda kullanılan minimum (yapının yeterli karşılık verdiği kesin olan) deprem kuvvetlerine oranıdır.

Dizayn spektrumu aşağıdaki denklemler yardımıyla belirlenir:

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = \alpha \cdot s [1 + (T/T_B)(\beta_0/q - 1)] \quad (2.4a)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = \alpha \cdot s \cdot (\beta_0/q) \quad (2.4b)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) = \alpha \cdot s \cdot (\beta_0/q) [T_C/T]^{k_{d1}} \geq [0,20] \alpha \quad (2.4c)$$

$$T_D \leq T : S_d(T) = \alpha \cdot s \cdot (\beta_0/q) [T_C/T_D]^{k_{d1}} [T_D/T]^{k_{d2}} \geq [0,20] \alpha \quad (2.4d)$$

2.4.1.3 Deprem Yüünün Alternatif Tanımları

Güç Spektrumu Gösterimi : Bu gösterimde deprem yükü, belirli bir noktada ve belli bir zaman aralığında, ivmelenme sürecine ait güç spektral yoğunluk fonksiyonu gibi rastgele seçilen bir fonksiyon ile tanımlanır. Bu fonksiyon elastik karşılık spektrumuna uyumlu olmalıdır. Bu gösterimde deprem yükü, iki ortogonal (x,y) yatay eksen ve bunlara dik (z) düşey eksen üzerine eşzamanlı olarak etkiyen, ancak birbirinden bağımsız bulunan üç rastgele süreç olarak düşünülür.

Zaman - Tarih Gösterimi : Bu gösterimde, elastik karşılık spektrumundaki frekans, şiddet gibi kavramlarla uyumlu olacak şekilde türetilmiş yapay ivmelenme grafikleri veya zemin koşullarını iyi temsil eden kaydedilmiş ivmelenme grafikleri kullanılır. Eğer üç boyutlu (uzaysal) bir model isteniyorsa, üç tane birbirinden farklı ancak eşzamanlı etkiyen ivmelenme grafiğine ihtiyaç vardır.

Deprem Yüünün Uzaysal Tanımı : Özel karakteristiklerinden dolayı tüm mesnetlerinde aynı hareketlenmeyi göstermeyen yapılarda deprem yükü üç boyutlu olarak modellenir. Bu model temel deprem tanımını içeren elastik karşılık spektrumu ile uyumlu olmalıdır.

2.4.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

2.4.2.1 Genel Kabuller

Binalara etkiyen deprem yüklerinin belirlenmesinde “spektral ivme katsayısı” ve “deprem yükü azaltma katsayısı” esas alınacaktır.

Spektral ivme katsayısının belirlenmesinde, deprem kuşaklarını hesaba katmak için kullanılan parametre “etkin yer ivme katsayısı (A_0)”dır.

Tablo 2.7 Etkin Yer İvme Katsayısı Tablosu [2]

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

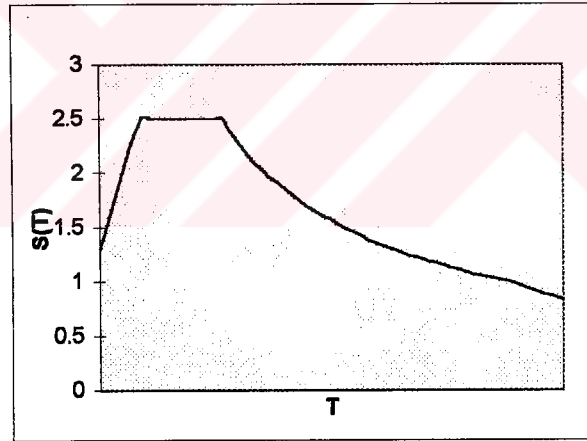
Yönetmelikte aksi belirtilmedikçe, deprem yüklerinin sadece yatay düzlemde ve binanın birbirine dik iki eksenine doğrultusunda ayrı ayrı etkidikleri varsayılacaktır.

Yönetmelikte esas alınan tasarım depremi, şiddetli depreme karşı gelir. Bina önem katsayısı $I=1$ olan binalar için, tasarım depreminin 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10'dur.

2.4.2.2 Deprem Yükünün Temel Tanımı

Spektral ivme katsayısının belirlenmesinde etkili olan diğer bir parametre yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak hesaplanan "spektrum katsayısı $S(T)$ "dir.

Deprem Yükünün Elastik Tanımı: Spektral ivme katsayısı $A(T)$, tanım olarak %5 sönüm oranı için "elastik tasarım ivme spektrumu"nın (Şekil 2.1) yerçekimi ivmesine bölünmesiyle elde edilen bir değerdir. Elastik tasarım ivme spektrumunu belirleyen denklemler şunlardır:



Şekil 2.1 Elastik Tasarım İvme Spektrumu [2]

$$0 \leq T \leq T_A : \quad S(T) = 1 + 1,5 T/T_A \quad (2.5a)$$

$$T_A < T \leq T_B : \quad S(T) = 2,5 \quad (2.5b)$$

$$T > T_B : \quad S(T) = 2,5 (T_B/T)^{0,8} \quad (2.5c)$$

Gereken durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları gözönüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilir. Ancak bu şekilde $S(T)$ 'lere karşı gelen $A(T)$ 'ler, tüm periyotlar için yukarıda hesaplanan $A(T)$ değerlerinden küçük olmayacaktır.

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı: Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusa elastik olmayan davranışını (plastik dayanım) gözönüne almak üzere elastik deprem yükleri “deprem yüğü azaltma katsayısı”na bölünecektir.

Deprem yüğü azaltma katsayısı $R_a(T)$, “taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R ” ve doğal titreşim periyodu T 'ye bağılı olarak belirlenir.

$$0 \leq T \leq T_A : \quad R_a(T) = 1,5 + (R-1,5)T/T_A \quad (2.6a)$$

$$T > T_A : \quad R_a(T) = R \quad (2.6b)$$

2.4.2.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik veya Elastik Olmayan Tanım

Bu gösterimde, daha önce kaydedilen veya yapay yollarla üretilen benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılır. En az üç kaydedilmiş veya benzeştirilmiş ivme kaydı kullanılarak hesaplanan büyüklüklerin en elverişsiz olanları tasarımda esas alınacaktır.

2.5 Deprem Yüğü'nün Diğer Yüğülerle Kombinasyonu

2.5.1 Eurocode 8

Deprem yükleme, bir rastlantısal yükleme durumu gibi ele alınmakta ve deprem yüğü'nün diğer yüğülerle kombinasyonu aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$\Sigma G_{kj} + \gamma_I \cdot A_{Ed} + P_k + \Sigma \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad \dots\dots\dots(1)$$

G_{kj} : Kalıcı yüğü j 'nin karakteristik değeri

γ_I : Önem faktörü

A_{Ed} : Deprem yüğü'nün söz konusu dönüşüm periyodu için dizayn değeri

P_k : Tüm kayıplar çıktıktan sonra kalan karakteristik öngerilme yüğü değeri

Q_{ki} : Hareketli yük i'nin karakteristik değeri

ψ_{2i} : Hareketli yük i'nin quasi-permanent değeri için kombinasyon katsayısı

Tablo 2.8 Hareketli Yükler İçin Kombinasyon Katsayıları [3]

Yükler	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hareketli Yükler			
* A kategorisi	0.7	0.5	0.3
* B kategorisi	0.7	0.5	0.3
* C kategorisi	0.7	0.7	0.6
* D kategorisi	0.7	0.7	0.6
* E kategorisi	1.0	0.9	0.8
Rüzgar	0.6	0.5	0
Kar	0.6	0.2	0

Deprem analizinde kat ağırlıklarının hesabında gözönüne alınan yük durumu ise şöyledir :

$$\sum G_{kj} + \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{ki} \quad (\text{hareketli yüklerin bulunmadığı durum}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

ψ_{Ei} : Hareketli yük i için deprem yüklemesi kombinasyon katsayısı

$$\psi_{Ei} = \phi \cdot \psi_{2i} \quad (1.7)$$

Tablo 2.9 Hareketli Yük Tiplerine Göre ϕ Katsayıları [1]

Hareketli Yükün Tipi	Katların Doluluk (İşgal) Durumu		ϕ
A-C Kategorileri	Birbirinden bağımsız olarak doldurulmuş katlar	en üst kat	1,0
		diğer katlar	0,5
A-C Kategorileri	Birbiriyle bağlantılı doluluğa sahip olan katlar	en üst kat	1,0
		ilişkili doluluk taşıyan katlar	0,8
		diğer katlar	0,5
D-F Kategorileri Arşivler			1,0

Tablo 2.9'da yer alan hareketli yük kategorileri "Eurocode 1"de şöyle tanımlanmaktadır [3] :

(A) Kategorisi : Barınma ve temel ev içi faaliyetler için ayrılmış alanlar

- konut binalarındaki odalar ve evler
- hastanelerdeki oda ve koğuşlar
- hotel ve motellerdeki yatak odaları
- mutfaklar ve banyolar

(B) Kategorisi : Ofis alanları

(C) Kategorisi : İnsanların toplandığı alanlar (A,B,D ve E kategorilerinde tanımlananların dışında kalmak koşuluyla)

C1 : masalı alanlar

C2 : sabit koltuklu alanlar

C3 : insanların hareketi için engel bulunmayan alanlar

C4 : olası fiziksel aktiviteler için ayrılmış alanlar

C5 : aşırı kalabalıklara hassas alanlar

(D) Kategorisi : Alışveriş alanları

D1 : genel parakendeci dükkanlardaki alanlar

D2 : mağaza bölümlerindeki alanlar

(E) Kategorisi : Malzeme birikmesine hassas alanlar

- depo alanları
- kütüphaneler

(F) Kategorisi : Hafif araçlar için trafik ve park alanları (en fazla 8 yolcu koltuğu ve toplam ağırlık ≤ 30 kN)

- garajlar
- park alanları ve kapalı otoparklar

ψ_{2i} ve ψ_{2i} yük kombinasyon katsayılarının sayısal değerlerini yukarıdaki tablolar yardımıyla belirledikten sonra (1) ve (2) ifadelerinde yerlerine yerleştirirsek yük kombinasyonlarını şu şekilde elde ederiz:

Konutlar için: $1 G + 1 E + 1 P + 0,3 Q$ (1)

$1,35 G + 1,50 Q$

kat ağırlıkları $w = g + (0.15 \gg 0.30) q$ (2)

Mağazalar için : $1 G + 1 E + 1 P + 0,60 Q$ (1)

$1,35 G + 1,50 Q$

kat ağırlıkları $w = g + 0,60 q$ (2)

2.5.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Deprem yükleri ile diğer yüklerin ortak etkisi altında binanın taşıyıcı sistem elemanlarında oluşacak tasarım iç kuvvetlerinin hesabında kullanılacak yük katsayıları şunlardır:

$1,0 G + 1,0 Q + 1,0 E$

$1,4 G + 1,6 Q$

(En elverişsiz olan seçilir.)

$0,9 G + 1,0 E$

Emniyet gerilmelerine göre yapılan kesit hesaplarında ise EİY yükleme durumunda $\sigma_{em}^{(EY)} = 1,15 \sigma_{em}^{(EY)}$ olarak hesaplanan emniyet gerilmesi, deprem durumunda en fazla, $\sigma_{em}^{(EY)} = 1,33 \sigma_{em}^{(EY)}$ olacak şekilde arttırılabilir.

Deprem yükleri ile rüzgar yüklerinin binaya aynı zamanda etkimeyeceği varsayılacak ve her bir yapı elemanının boyutlandırılmasında, deprem ya da rüzgar etkisi için hesaplanan büyüklüklerin elverişsiz olanı gözönüne alınacaktır. Ancak rüzgardan oluşan büyüklüklerin daha elverişsiz olması durumunda bile, elemanların boyutlandırılması, detaylandırılması ve birleşim noktalarının düzenlenmesinde deprem yönetmeliğindeki koşullara uyulmalıdır.

Deprem analizinde kat ağırlıklarının hesabında gözönüne alınan yük durumu ise şöyledir :

$w = g + n.q$

Tablo 2.10 Hareketli Yük Katılım Katsayısı Tablosu [2]

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0,80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0,60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0,30

Yapının deprem yükü altında analizinde kar yüklerinin %30'u sabit yük olarak alınacaktır. Endüstri binalarında; sabit ekipman ağırlıkları için $n=1$ alınacak, ancak vinç kaldırma yükleri kat ağırlıklarının hesabında gözönüne alınmayacaktır.

2.6 Deprem Durumunda Bina Önem Katsayıları

2.6.1 Eurocode 8

475 yılda bir görülen (dönüşüm periyodu 475 yıl olan) şiddetteki deprem için önem faktörü $\gamma_1 = 1,0$ olarak kabul edilir.

Tablo 2.11 Bina Önem Faktörü [1]

Önem Sınıfı	Binalar	Önem Faktörü γ_1
I	Hastaneler, itfaiye binaları, enerji santralleri gibi, deprem sırasındaki bütünlükleri sivil savunma açısından hayati önem taşıyan binalar	1,4
II	Okullar, toplantı salonları, kültürel kurumlar gibi, depreme dayanımları, çökmeleri halinde ortaya çıkacak manzara nedeniyle önem taşıyan binalar	1,2
III	Diğer sınıflara girmeyen sıradan binalar	1,0
IV	Tarımsal faaliyetlerde kullanılan binalar gibi, halk güvenliği açısından çok önem taşımayan binalar	0,8

2.6.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Bina önem katsayısı $I = 1$ olan binalar için, tasarım depreminin 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10'dur.

Tablo 2.12 Bina Önem Katsayıları [2]

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar 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 ve depolandığı binalar	1,5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1,4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1,2
4. Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1,0

2.7 Genel Karşılaştırma

2.7.1 Yapıların Deprem Performansı

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik de Eurocode 8 de yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımında iki temel gereksinimin sağlanmasını esas almaktadırlar; göçmeye karşı dayanım ve hasarın sınırlandırılması.

Eurocode 8 yapıların deprem performansını iki seviyede ele alır. Birinci seviye hafif şiddette bir depremin meydana gelmesi durumunda yapının kullanım sınır şartlarını sağlamasıdır. Yapı deprem sırasında dizayn aşamasında tasarlanan enerji dağılımını gerçekleştirebilmeli, hasar yapının kullanımını engellemeyecek miktarda ve hemen onarılabilir nitelikte olmalıdır. İkinci seviye şiddetli depremlerde göçmenin engellenmesidir. Yapı, şiddetli bir depremden sonra, çeşitli bölümlerinde önemli hasarlar meydana gelse de yapısal bütünlüğünü korumalı ve bir miktar artık dayanıma sahip olmalıdır.

Türk Deprem Yönetmeliği ise yapıların deprem performansını üç seviyede ele alır. Birinci seviye hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesidir. İkinci seviye orta şiddetteki depremlerde hasarın onarılabilir düzeyde kalması, üçüncü seviye ise şiddetli depremlerde yapının kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir.

Yukarıdaki şartları sağlamak üzere her iki yönetmelik de stabilitenin sağlanması, ikinci mertebe etkilerin sınırlandırılması, kayma ve devrilmelerin engellenmesi, yapısal düzenliliğin sağlanması, gevrek kırılmaların önlenmesi ve yeterli sünekliğin elde edilmesi için çeşitli tasarım kuralları getirmektedirler.

2.7.2 Deprem Yükünün Tanımı

Her iki yönetmelikte de deprem yükü, yapının titreşimini temsil eden bir elastik tasarım ivme spektrumuna göre belirlenir. Yapının malzemeden kaynaklanan lineer olmayan şekil değiştirme yeteneği, taşıyıcı sistemde belirli enerji yutucu sünek bölgeler oluşturularak kullanılır. Sünekliğin enerji emilimine ve dolayısıyla deprem dayanımına olan bu katkısı, yapıya gelen deprem yükünün 1'den büyük davranış katsayılarına bölünmesi suretiyle gözönüne alınır.

Eurocode 8 elastik spektrumu bir “q” davranış faktörü ile azaltarak ve g yerçekimi ivmesi ile normalleştirerek dizayn spektrumuna dönüştürür. Türk Deprem Yönetmeliği’nde ise sünekliğin hesaba katılması, elastik ivme spektrumuna göre hesapla bulunan toplam yükün, “R” taşıyıcı sistem davranış katsayısına bağlı “ $R_a(T)$ ” azaltma katsayısına bölünmesiyle olur.

Sözkonusu iki yönetmelikte de elastik tasarım ivme spektrumu, yapının %5 sönümle titreştiği kabulüne göre belirlenir ve bölgedeki deprem riskine ve zemin tipine bağlı parametreler içerir.

Yukarıdaki tanımlamalarda deprem yükleri, binanın ortogonal asal eksenlerine göre iki ayrı yatay doğrultuda ve birbirinden bağımsız olarak etkiyen yükler şeklinde kabul edilmektedirler. Eurocode 8’de ABYYHY’den farklı olarak deprem yükünün düşey bileşeni için de bazı tanımlamalar yapılmaktadır. Ancak, köprü tipi uzun açıklıklı yapılarda ve konsol tipi uç noktalarında büyük deplasmanlar yapmaya elverişli taşıyıcı

sistem elemanları için büyük önem taşıyan düşey deprem yükünün etkisi altında yapının analizine değinilmemiştir.

Bölgedeki deprem riski Türk Deprem Yönetmeliği'nde "A₀" etkin yer ivmesi katsayısı ile ifade edilir ve 1.derece deprem bölgeleri için 0.40'dan, 4.derece deprem bölgeleri için 0.10'a kadar değer alır. Eurocode 8'de bu katsayıya $\alpha=a_g/g$ oranı karşı gelir. Burada "a_g" etkin maksimum yer ivmelenmesidir. Hafif şiddette deprem bölgelerinde $a_g \leq 0.10g$ olduğu söylenir, ancak Eurocode 8'de uygulama alanındaki deprem kuşağı etkin maksimum yer ivmelenmesinin sayısal değerinin belirlenmesi yerel otoritelere bırakılır.

2.7.3 Zemin Parametreleri

Zemin tipleri Türk Deprem Yönetmeliği'nde A,B,C,D olmak üzere 4 gruba ayrılmakta, sonra yerel zemin sınıflarına dönüştürülerek elastik tasarım ivme spektrumunun belirlenmesinde etkili olan spektrum karakteristik periyotlarını vermektedirler. Eurocode 8'de ise, Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki A ve B gruplarını kapsayan bir A grubu ve bunu takip eden B ve C tipi zeminler tanımlanır. Elastik ve dizayn spektrumlarındaki parametreler bu gruplara göre belirlenir.

2.7.4 Deprem Yükünün Diğer Yüklerle Kombinasyonu ve Önem Katsayıları

Eurocode 8 deprem yüklemesini bir rastlantısal yükleme durumu olarak ele almakta ve hareketli yüklerin deprem sırasında her zamanki değerlerinden az ve ikincil etkili oldukları kabulüyle, hareketli yük kombinasyon katsayısını Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre düşük tutmaktadır. Hareketli yükler için, hemen hemen her zaman aldıkları kalıcı,sürekli değerlerini belirlemede kullanılan quasi-permanent kombinasyon katsayısının kullanılması öngörülmüştür.

Önem katsayıları bakımından bu iki yönetmeliği karşılaştırdığımızda Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'in çok az bir miktar daha yüksek güvenlik şart koştuğu görülür. Bu yönetmelikte önem katsayıları 1'den küçük değer almaz ve deprem yükünü azaltıcı yönde etki etmez.

3 DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

3.1 Depreme Dayanıklı Yapıda Aranılan Temel Özellikler

3.1.1 Eurocode 8

* **Yapısal Basitlik** : Deprem yükünün aktarılmasında açık ve direkt yolların varolmasıdır. Böylelikle depremde yapının davranışına ilişkin tahminler çok daha kesin ve anlaşılır hale gelir.

* **Üniformluk ve Simetri** : Yapının değişik kütlelerinden kaynaklanan eylemsizlik kuvvetlerinin, kısa ve direkt bir şekilde aktarılmasını sağlayan, yapısal elemanların planda düzenli ve eşit dağılımını gerektiren özelliktir. Üniformluk kimi zaman, yapıyı dinamik olarak bağımsız birimlere bölen deprem düğüm noktaları ile sağlanır.

Bina yüksekliği boyunca üniformluğun sağlanması da, gerilmelerin ve erken çökmeye neden olabilecek büyük sünekliğin toplandığı hassas bölgeler oluşmasını engellediği için önemlidir.

Kütlelerin dağılımı ile rijitlik ve dayanımın dağılımı arasındaki yakın ilişki, kütle ile rijitlik arasındaki büyük eksantriklikleri doğal olarak elimine eder.

Üniformluğun sağlanmasında, simetrik ve simetriğe yakın bina tasarımı, simetrik yapısal düzenleme, planda iyi bir dağılımın sağlanması olası çözümlerdir.

* **Fazlalıklar** : Hiperstatiklik derecesinin yüksek oluşu, yükün yapıya çok sayıdaki alternatif yollardan dağılımı ile daha geniş bir enerji yutma kapasitesinin elde edilmesini sağlar.

* **İki Doğrultuda Dayanım ve Rijitlik** : Yapısal elemanların planda ortogonal bir ağ şeklinde düzenlenmesi ve her iki doğrultuda benzer dayanım ve rijitlik özelliği

göstermeleridir. Yapının rijitlik özelliğinin seçiminde büyük yer değiştirmelerin sınırlandırılmasına ve ikinci mertebe etkilerine dikkat edilmelidir.

* Burulma Dayanım ve Rijitliği : Ana dayanım elemanlarının binanın plandaki dış çevresine yakın yerleştirilmesi, burulma ve dayanım rijitliğinin sağlanması açısından avantajlıdır.

* Kat Seviyesinde Diyafram Davranışı

* Yeterli Temeller : Bütün yapı üniform titreşecek şekilde düzenlenmelidir. Değişik kalınlıkta ve rijitlikte yapısal duvarlara sahip yapılarda, rijit, kutu tipli veya hücreli, temel ve örtü slabı da içeren temeller uygundur. Ayaklı ve kazıklı temellerde her iki doğrultuda gerekli bağ kirişler düzenlenmelidir.

3.1.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Bir bütün olarak deprem yüklerini taşıyan bina taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlilikte rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunmalıdır. Bu bağlamda döşeme sistemleri, deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarılmasını sağlayacak düzeyde rijitlik ve dayanıma sahip olmalıdır.

Binaya aktarılan deprem enerjisinin önemli bir bölümünün taşıyıcı sistemin sünek davranışı ile tüketilmesi için, sünek tasarım ilkelerine uyulmalıdır.

Düzensiz binaların yapımından ve tasarımından kaçınılmalıdır. Taşıyıcı sistem planda simetrik ve simetriğe yakın düzenlenmeli ve burulma düzensizliğine olabildiğince yer verilmemelidir. Bu bağlamda, perde gibi rijit taşıyıcı sistem elemanlarının binanın burulma rijitliğini arttıracak biçimde yerleştirilmesine özen gösterilmelidir.

Düşey doğrultuda ise özellikle zayıf kat veya yumuşak kat durumu oluşturan düzensizliklerden kaçınılmalıdır. Bu amaçla, taşıyıcı sistem hesabında gözönüne alınmayan, ancak kendi düzlemlerinde önemli derecede rijitliğe sahip olabilen dolgu duvarlarının bazı katlarda ve özellikle binanın giriş katlarında kaldırılması ile oluşan ani

rijitlik ve dayanım azalmalarının olumsuz etkilerini gidermek için bina taşıyıcı sisteminde gerekli önlemler alınmalıdır.

Zayıf zeminlere oturan kolon ve özellikle perde temellerindeki dönmelerin taşıyıcı sistem hesabına etkileri, uygun idealleştirme yöntemleri ile gözönüne alınmalıdır.

3.2 Hesap Esasları

3.2.1 Yapısal Düzensizliğin Tanımlanışı

3.2.1.1 Eurocode 8

Yapısal düzensizlikler, yapısal modeli (uzaysal veya basit düzlemsel), analiz metodunu (basitleştirilmiş modal veya multi-modal) ve davranış faktörü q 'yu belirler. Davranış faktörü boykesitteki düzensizliklere bağlı olarak azalır.

Yapısal düzenliliğin sağlanması için planda ve boykesitte uyulması gereken bazı kriterler vardır:

Planda Düzenlilik İçin Kriterler:

- Binanın yapısı, eğilme rijitliği ve kütlelerin dağılımı açısından, planda ortogonal eksenlere göre, gözönüne alınan iki deprem doğrultusunda da simetrik bir düzenleniş göstermelidir.
- Plandaki düzenleniş derli toplu olmalıdır. H, I, X gibi bölünmüş şekillerden kaçınılmalıdır. Planda, gözönüne alınan doğrultudaki girinti ve oyukların toplam boyutu, planın dıştan dışa boyutunun %25'ini aşmamalıdır.
- Döşemenin düzlemsel rijitliği, rijit diyafram kabulüne uyacak şekilde büyük olmalıdır. Deformasyonlar küçük ve kuvvet dağılımı üzerinde etkisiz olmalıdır.
- Rastlantısal eksantriklikle etkiyen deprem yükleri altında, bir katta deprem kuvveti doğrultusundaki maksimum yer değiştirme, katın ortalama yer değiştirmesini %20'den fazla aşamaz.

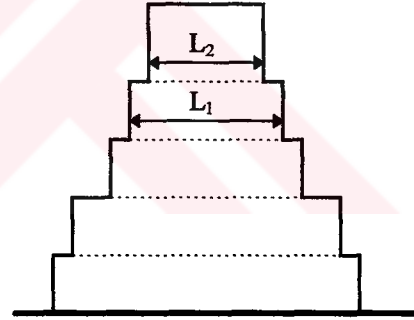
Boykesitte Düzenlilik İçin Kriterler:

- Çekirdek, perde ve kolonlar gibi yanal yük taşıyan elemanlar, binanın tepesine kadar (değişik yüksekliklerde basamaklı düzenleniş söz konusu ise ilgili kuşağa kadar) sürekli, kesilmeden devam etmelidir.
- Eğilme rijitliği ve kütle, temelden tepeye kadar her yeni katta ya sabit kalmalı ya da ani değişim olmaksızın kademeli olarak azalmalıdır.
- Çubuk sistemli binalarda, katın gerçek dayanımının, analiz sonucunda gerekli görülen dayanıma oranı, bitişik katlar arasında orantısız olarak değişmemelidir. Bu yüzden betonarme, yığma dolgu yapılarında iyileştirici önlemlere başvurulur.
- Bina yükseldikçe kat alanı planda küçülüyorsa (dış noktadan geride inşaat durumu varsa), bu tarz basamaklı yapılar için özel düzenlilik şartlarına uyulmalıdır (Şekil 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4) :

a) Simetrik gerilemede

$$(L_1 - L_2) / L_1 \leq 0.20$$

olmalıdır.

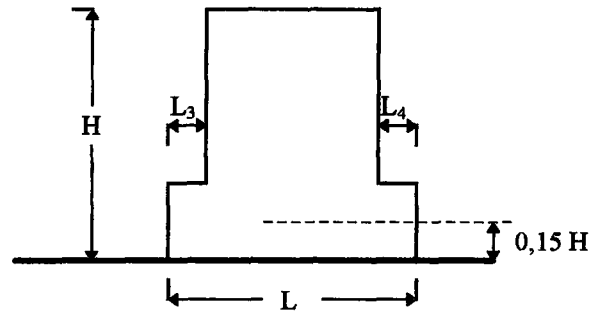


Şekil 3.1 [1]

b) Simetrik ve (0.15 H) yüksekliğinin üzerinde gerçekleşen gerilemede

$$(L_3 + L_4) / L \leq 0.20$$

olmalıdır.

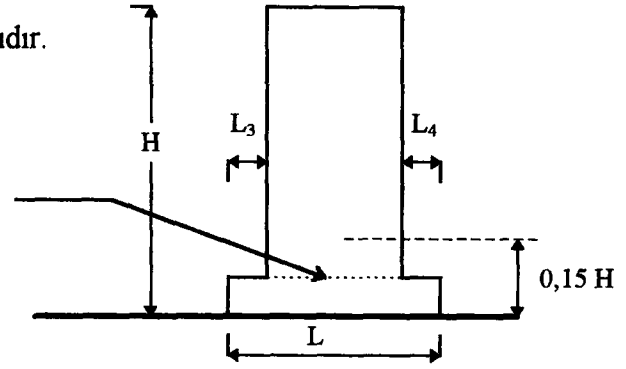


Şekil 3.2 [1]

c) Simetrik ancak (0.15 H) yüksekliğinin altındaki gerilemede

$$(L_3 + L_4) / L \leq 0.50 \text{ olmalıdır.}$$

Bu kısım, aşağıda genişleme olmayan benzer bir binada aynı zonda meydana gelecek kesme kuvvetinin en az %75'ini taşıyacak şekilde projelendirilmelidir.



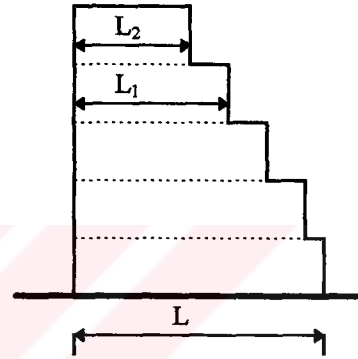
Şekil 3.3 [1]

d) Simetrik olmayan gerilemede

$$(L - L_2) / L \leq 0.30 \text{ ve}$$

$$(L_1 - L_2) / L_1 \leq 0.10$$

olmalıdır.



Şekil 3.4 [1]

3.2.1.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Planda Düzensizlik Durumları:

A1 - Burulma Düzensizliği : 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, η_{bi} ”nin 1,2 değerinden büyük olması durumudur.

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

Görelî kat ötelemeleri, $\pm$ %5 ek dışmerkezlilik etkileri gözönüne alınarak hesaplanır.

A2 - Döşeme Süreksizlikleri : Herhangi bir kattaki döşemede;

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 durumudur.

A3 - Planda Çıkıntılar Bulunması : 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 durumudur.

A4 - Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması : Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, gözönüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumudur.

Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları:

B1 - Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) : 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, η_{ci} ”nin 0,80 değerinden küçük olması durumudur.

$$\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0,80$$

$$\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0,15 \Sigma A_k$$

B2 - Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) : Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i katındaki ortalama görelî kat ötelemesinin, bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan “Rijitlik Düzensizliği Katsayısı, η_{ki} ”nin 1,5 değerinden fazla olması durumudur.

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

B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği : 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 durumudur.

Tüm bu düzensizliklerden (A1) ve (B2) binanın deprem analizinde kullanılacak hesap yönteminin seçiminde etkili olur. Ayrıca yapı düzensizlikleri bina taşıyıcı sisteminin modellenmesinde de etkilidir.

(B3) türü düzensizliğin görüldüğü binalarda uyulacak ek koşullar vardır:

- Bütün deprem bölgelerinde, kolonların konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına izin verilmez.
- Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında artırılır.
- Üst kattaki perdenin her iki ucundan altta kolonlara oturtulması durumunda, bu kolonlarda düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında artırılır.
- Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

3.2.1.3 Genel Karşılaştırma

Her iki yönetmelik de yapısal düzenliliği analiz metodunun seçiminde esas almakta ve deprem yükünü azaltıcı yönde etki eden davranış faktörlerinin belirlenmesinde gözönünde bulundurmaktadır. ABYYHY düzensizlik durumlarının irdelenmesi için daha kesin sayısal ifadeler ve limitler kullanmakta, buna karşılık Eurocode 8 planda ve düşey doğrultuda hemen hemen aynı düzensizlik durumlarına genel ifadelerle değinmektedir.

3.2.2 Hesap Metodunun Seçilmesi

3.2.2.1 Eurocode 8

Yapısal düzensizlikler, yapısal modeli, analiz metodunu belirler ve davranış faktörü q 'yu etkiler. Q boykesitteki düzensizliklere bağlı olarak azalır.

Tablo 3.1 Yapısal Düzensizliklere Göre Analiz Metodunun Seçilmesi [1]

DÜZENLİLİK		Kabul Edilen Basitleştirmeler		DAVRANIŞ
Planda	Boykesitte	Model	Analiz	FAKTÖRÜ
+	+	düzlemsel	basitleştirilmiş*	verilen
+	-	düzlemsel	multi-modal	azaltılmış
-	+	uzaysal**	multi-modal**	verilen
-	-	uzaysal	multi-modal	azaltılmış

(*) Eğer yapının her iki doğrultuda da titreşim periyodu T_1

$$T_1 \leq 4.T_c \quad \text{ve}$$

$T_1 \leq 2,0$ sn ise basitleştirilmiş analiz kullanılır.

(**) Aşağıdaki kriterlerden biri set olarak yerine getiriliyorsa basitleştirilmiş model ve analiz kullanılarak burulma etkileri için yaklaşık hesap yapılabilir :

Kriter 1 :

- iyi dağılmış ve rijit örtü ve bölmelere sahip olma
- 10 metreden yüksek olmama
- (yükseklik/uzunluk) oranı her iki doğrultuda 0.4'ten küçük olma

Kriter 2 :

- kat döşemesinin rijitliği, rijit diyafram kabulü yapılabilecek kadar büyük
- rijitlik merkezi ile kütle merkezi düşey bir hat üzerinde
- düşey taşıyıcılar temelden binanın tepesine kadar kesilmeden devam ediyor ve yatay yükler altında taşıyıcı sistem elemanlarının şekil değiştirmiş biçimleri birbirinden çok farklı değil

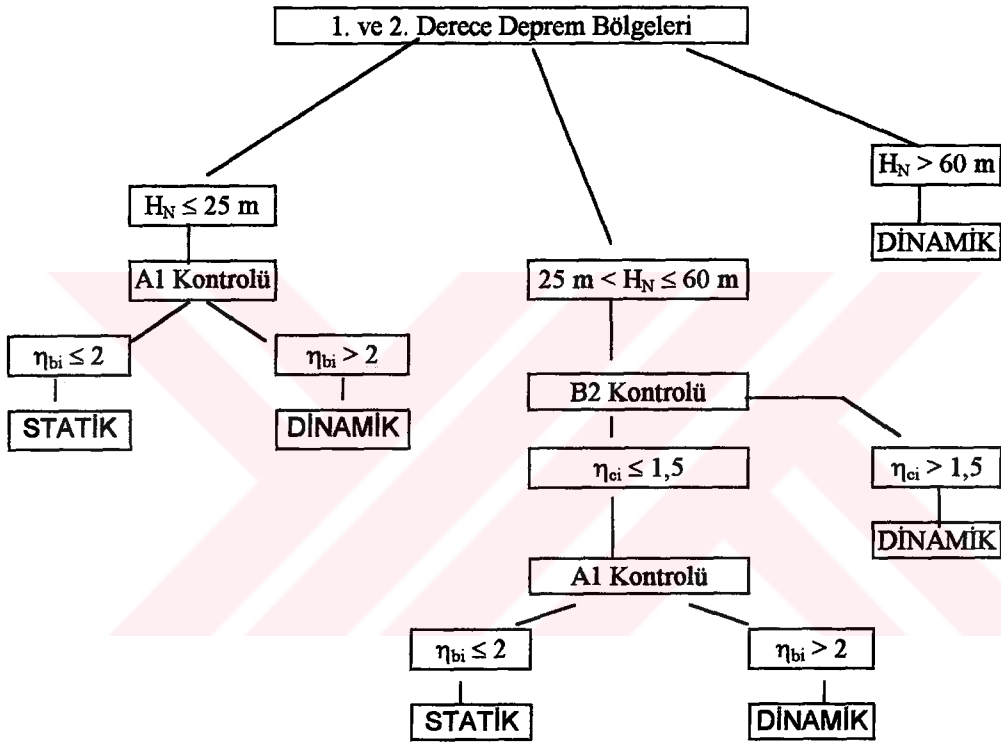
3.2.2.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Yapı yüksekliğine, yapısal düzensizliklere ve deprem bölgesine bağlı olarak deprem yükü altında analiz için statik veya dinamik metodlardan biri seçilir. (Şekil 3.5)

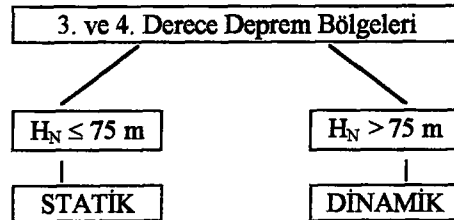
Model, binadaki kütle ve dayanım dağılımını yeterli şekilde temsil etmeli, önemli deformasyon şekillerinin ve eylemsizlik kuvvetlerinin hesaba katılmasını sağlamalıdır.

Yapı, yanal ve düşey yükleri taşıyan sistemler ile bunları birleştiren yatay diyaframdan ibaret kabul edilir.

Döşeme, kütlelerin, eylemsizlik kuvvetlerinin her katta ağırlık merkezinde toplandığı kabulünün yapılabilmesi için yeterince rijit olmalıdır.



Şekil 3.5(a) Analiz Metodunun Seçiminde Adımlar



Şekil 3.5(b) Analiz Metodunun Seçiminde Adımlar

3.2.3 Modelleme

3.2.3.1 Eurocode 8

Düzenlilik şartlarına uyan binalarda düzlemsel modellemenin her iki doğrultuda ayrı ayrı uygulanmak üzere seçilmesi uygundur.

Betonarme binalar ile kagir yapılarda, yük taşıyan elemanların rijitliği çatlamamış kesitler kabulüyle hesaplanır. Bu yer değiştirmelerin yaklaşık olarak hesaplanması sonucunu doğurur. (Yer değiştirmeler önemsiz ise bu kabul yapılabilir. Aksi durumda, süneklik büyük ise dikkatli olunmalıdır.)

Eğilme rijitliğini aniden arttıran dolgu duvarlar hesaba katılmalıdır.

Yapının davranışı üzerinde olumsuz etki yapabilecek temel zemini deformasyonları da gözönüne alınmalıdır.

Rastlantısal Burulma Etkileri : Modellemede, kütlelerin konumundaki belirsizlikleri ve deprem yükünün uzaysal değişimini de hesaba katabilmek için, deprem yükleri, her katta ve her iki deprem doğrultusunda hesaplanan kütle merkezine bir ek rastlantısal eksantriklikle uygulanır.

$$e_{li} = \pm 0,05 L_i \quad (3.1)$$

3.2.3.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Yapı, yatay ve düşey taşıyıcı sistemler ile bunları birleştiren yatay diyaframdan ibarettir. Rijit diyafram kabulünde döşemenin kendi düzlemi içinde sonsuz rijit olduğu yani şekil değiştirmedeği kabul edilir. Ayrıca, kirişler rijit diyafram içinde kaldığından bu elemanlarda eksenel deformasyon meydana gelmemektedir. Bu kabulün getirdiği kolaylıklar:

I) Döşeme diyaframları dış yükler altında bir “rijit cisim” hareketi yapacağından, kat kütleleri bu diyaframın kütle merkezinde tanımlanabilmektedir.

II) Bilinmeyen sayısı büyük ölçüde azalacağından çözüm kolaylaşır.

III) Döşemelerin varlığının hesaba katılması sağlanmaktadır. Aksi halde

döşemelerin üç boyutlu kabuk eleman kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile sisteme dahil edilmesi gerekmektedir.

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yer değiştirme bileşeni ile düşey eksen etrafındaki dönme, bağımsız statik yer değiştirme bileşenleri olarak gözönüne alınacaktır. Her katta eşdeğer deprem yükleri kat kütle merkezine ve ayrıca ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile kaydırılmış kütle merkezlerine tekil yatay yükler olarak uygulanacaktır. Kaydırılmış kütle merkezleri, gerçek kütle merkezinin gözönüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun + %5'i ve - %5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalardır.

(A2) türü düzensizliğin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin yatay düzlemdeki şekil değiştirmelerinin hesaba katılmasını sağlayacak yeterlilikte bağımsız statik yer değiştirme bileşeni gözönüne alınmalıdır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için ise, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelerin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun + %5'i ve - %5'i kadar kaydırılır.

Binanın herhangi bir i'nci katında (A1) türü düzensizliğin bulunması durumunda $1,2 < \eta_{bi} \leq 2,0$ olmak koşulu ile, bu kata uygulanan $\pm \%5$ ek dışmerkezlik, her iki deprem doğrultusu için D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.

$$D_i = (\eta_{bi}/1,2)^2 \quad (3.2)$$

3.3 Analiz Metodları

3.3.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

3.3.1.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

$H_N \leq 25$ m Olan Yapıların Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle Deprem Hesabı

(1) Fiktif yüklerin hesabı

Kabul 1 : Yer değiştirmeler yapı yüksekliği boyunca lineer olarak artmaktadır.

Kabul 2 : Fiktif yüklerin hesabına $V_f=1$ kN kabul edilerek başlanacaktır.

$$F_{fi} = w_i H_i / \sum_{j=1}^N (w_j H_j) \quad (3.3)$$

Yukarıdaki denklemde yeralan w_i kat ağırlıkları şöyle hesaplanır :

$$w_i = g_i + n \cdot q_i \quad (3.4)$$

Burada görülen n katsayısı, “Hareketli Yük Katılım Katsayısı”dır ve bina kullanım amacına göre Tablo 1.10’den alınacaktır.

Fiktif yükler altında yatay yük analizi yapılarak d_i ’ler hesaplanır.

(2) Birinci doğal titreşim periyodunun (T_1) hesabı

Rayleigh oranı ile

$$T_1 = 2\pi \left[\sum_{i=1}^N (m_i \cdot d_{fi}^2) / \sum_{i=1}^N (F_{fi} \cdot d_{fi}) \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

(Burada $m_i = w_i / g$ olarak hesaplanacaktır.)

Yaklaşık olarak ($H_N \leq 25$ m ise)

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t \cdot H_N^{3/4} \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)’da görülen C_t katsayısının değeri, taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden veya dışmerkez çaprazlı çelik perdelerden oluşan binalarda 0.07 , taşıyıcı sistemi sadece çelik çerçevelerden oluşan binalarda 0.08 , diğer tüm binalarda ise 0.05 olarak alınacaktır.

(3) Toplam eşdeğer deprem yükü hesabı

$$T_1 \rightarrow S(T_1) \quad T_1 \text{ ve } R \rightarrow R_a(T_1)$$

$$(0 \leq T_1 \leq T_A) \quad R_a(T_1) = 1,5 + (R-1,5) T_1 / T_A \quad (3.7.a)$$

$$(T_1 > T_A) \quad R_a(T_1) = R \quad (3.7.b)$$

$$A(T_1) = A_0 I S(T_1) \quad (3.8)$$

$$V_t = W \cdot A(T_1) / R_a(T_1) \geq 0,1 A_0 I \cdot W \quad (3.9)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün hesaplandığı (3.9) denkleminde yer alan toplam yapı ağırlığı değeri $W = \sum_{i=1}^N (w_i)$ olarak hesaplanacaktır.

(4) Eşdeğer kat yüklerinin hesabı

$$F_{fi} = V_t [w_i H_i / \sum_{j=1}^N (w_j H_j)] = V_t F_{fi} \quad (3.10)$$

(5) Eşdeğer deprem yüklerinin $\pm \%5$ eksantrik olarak yapıya yüklenmesi ve kat deplasmanları ile iç kuvvetlerin hesabı

Perdeli yapılarda, analizin başında kabul edilen süneklik ve deprem yükü azaltma katsayısının uygun olup olmadığı, bulunan iç kuvvetlere göre bir α_M hesabı yapılarak kontrol edilir.

$$\alpha_M = (\text{perde taban momentleri toplamı}) / (\text{toplam devrilme momenti})$$

$$\alpha_M \rightarrow (R_a)_{\text{eski}} / (R_a)_{\text{yeni}}$$

Hesaplanmış olan yer değiştirme ve iç kuvvet büyüklükleri gerçek süneklik düzeyinin gözönüne alınabilmesi yukarıdaki oranı ile çarpılarak düzeltilmelidir.

(6) A1 türü burulma düzensizliği kontrolü

$$(\Delta_i)_{\max} = (d_i)_{\max} - (d_{i-1})_{\max}$$

$$(\Delta_i)_{\min} = (d_i)_{\min} - (d_{i-1})_{\min}$$

$$(\Delta_i)_{\text{ort}} = 1/2 * [(\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}]$$

$$\text{Burulma düzensizliği katsayısı : } \eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}}$$

$\eta_{bi} > 2 \rightarrow$ Deprem yükleri altında yapının hesabı dinamik yöntemle yapılmalıdır.

$\eta_{bi} > 1,2 \rightarrow$ Burulma düzensizliği söz konusudur.

$1,2 < \eta_{bi} \leq 2 \rightarrow$ Kat deplasmanları ve iç kuvvetlerin hesabında gözönüne alınan eksantriklik değerleri her iki doğrultuda Denklem (3.2)'ye göre hesaplanan D_i değerleri ile çarpılarak, analizin bu adımı yeniden yapılır.

(7) Göreli kat ötelemelerinin kontrolü

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1}$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0,0035 \quad (3.11.a)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0,02/R \quad (3.11.b)$$

Denklem (3.11.a) ve (3.11.b)'deki koşullar sağlanmazsa sistemin rijitliği artırılarak, analiz baştan itibaren tekrarlanmalıdır.

(8) İkinci mertebe etkilerin kontrolü

$$\theta_i = [(\Delta_i)_{\text{ort}} \cdot \sum_{j=1}^N w_j] / V_i \cdot h_i \leq 0,12 \quad (3.12)$$

Yukarıdaki şart sağlanmıyorsa, sistemin rijitliği artırılarak deprem yükleri altında analiz tekrarlanır.

25 m < H_N ≤ 60 m Olan Yapıların Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle Deprem Hesabı

(1) Fiktif yüklerin hesabı

(2) Birinci doğal titreşim periyodunun (T₁) hesabı

Denklem (3.6)'dan hesaplanan T_{1A} değerinin 1 saniyeden büyük olması durumunda T₁ ≤ 1,30.T_{1A} olarak alınacaktır.

(3) Toplam eşdeğer deprem yükü hesabı

(4) Eşdeğer kat yüklerinin hesabı

Toplam yüksekliği 25 metreyi aşan yapılarda, en üst katta bir ek eşdeğer deprem yükü hesaba katılır. Bu ek yük şöyle hesaplanır :

$$\Delta F_N = 0,07 T_1 \cdot V_t \leq 0,2 V_t \quad (3.13)$$

Buna göre eşdeğer kat yükleri $F_i = (V_t - \Delta F_N) F_{fi}$

En üst katta eşdeğer kat yükü $F_N = (V_t - \Delta F_N) F_{fN} + \Delta F_N$

(5) Eşdeğer deprem yüklerinin $\pm \%5$ eksantrik olarak yapıya yüklenmesi ve kat deplasmanları ile iç kuvvetlerin hesabı

Perdeli yapılarda α_M hesabının ve yapının süneklik düzeyine göre gerekli kontrollerin yapılması

(6) B2 yumuşak kat ve A1 burulma düzensizliği kontrolleri

$$\eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort}$$

$\eta_{ki} > 1,5 \rightarrow$ Bu durumda 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde dinamik analiz yapılması zorunludur.

$\eta_{ki} > 2 \rightarrow$ Dinamik analiz zorunludur.

(7) Göreli kat ötelemelerinin kontrolü

(8) İkinci merteye etkilerin kontrolü

Bodrum Katlarında Betonarme Çevre Perdeleri Bulunan Yapılar

Bu durumda binaların eşdeğer deprem yükü analizi üç aşamada gerçekleşir.

1. AŞAMA: Sadece normal katlara eşdeğer deprem yüklerinin uygulanmasıdır. Bu aşamada eşdeğer deprem kat yükleri, bodrum katlarının mevcudiyeti dikkate alınmadan öncekiler gibi hesaplanacaktır. Hesaplanan bu yükler, bodrum katlarını da içeren tüm sistem üzerine uygulanarak analiz gerçekleştirilir ve iç kuvvetler hesaplanır.

2. AŞAMA: Sadece bodrum katlara eşdeğer kat deprem yüklerinin uygulanmasıdır. Doğal titreşim periyodu hesaplanmaksızın $S(T) = 1$ ve $R_a(T) = 1,5$ olarak alınır. Bodrum katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

$$F_{bk} = A_0 I \cdot w_{bk} / 1,5 \quad \text{şeklinde hesaplanırlar.}$$

Hesaplanan bu yükler $\pm \%5$ eksantriklik de gözönüne alınarak bodrum katlarına uygulanacak ve tüm sistemin analizi yapılacaktır.

3. AŞAMA: İç kuvvetlerin elde edilmesidir. Normal katlara ait iç kuvvetler 1. aşamada elde edilen değerlerdir. Bodrum katlara ait iç kuvvetler ise, 1. ve 2. aşamada elde edilen iç kuvvetlerin karelerinin toplamının karekökü alınarak hesaplanır.

3.1.1.2 Eurocode 8

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te anlatılan eşdeğer deprem yükü yöntemi, ufak farklılıklarla Eurocode 8'de "basitleştirilmiş modal karşılık spektrum analizi" adıyla yer almaktadır. Burada basitleştirilmiş modal karşılık spektrum analizi, temel hesap adımları ile verilecektir.

(1) Fiktif yüklerin hesabı

Kabul 1 : Taban kesme kuvveti $F_b = 1 \text{ kN}$ olarak kabul edilir.

$$F_{fi} = w_i \cdot s_i / \sum_{j=1}^N (w_j \cdot s_j) \quad (3.14)$$

Kabul 2 : Yer değiştirmeler yapı yüksekliği boyunca lineer olarak artmaktadır.

$$F_{fi} = w_i \cdot z_i / \sum_{j=1}^N (w_j \cdot z_j) \quad (3.3)'$$

Yukarıdaki denklemlerde görülen kat ağırlıkları $w_i = g_i + \psi_{Ei} \cdot q_i$ şeklinde hesaplanırlar. ψ_{Ei} hareketli yük kombinasyon katsayısına ilişkin detaylı bilgi Bölüm 1.5.1'de verilmiştir.

Fiktif yükler altında yük analizi yapılarak yatay yer değiştirmeler hesaplanır.

(2) Birinci doğal titreşim periyodunun (T_1) hesabı

Rayleigh oranı ile

$$T_1 = 2\pi \left[\sum_{i=1}^N (m_i \cdot d_{fi}^2) / \sum_{i=1}^N (F_{fi} \cdot d_{fi}) \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

(Burada $m_i = w_i / g$ olarak hesaplanacaktır.)

Yaklaşık formülle ($H_N \leq 80$ m ise)

$$T_1 = C_t \cdot H_N^{3/4} \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)'da görülen C_t katsayısının değeri, taşıyıcı sistemi moment aktaran betonarme çerçevelerden veya dışmerkez çaprazlı çelik perdelerden oluşan binalarda 0.075 , taşıyıcı sistemi sadece moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan binalarda 0.085 , diğer tüm binalarda ise 0.05 olarak alınacaktır. Diğer bir yaklaşık formülle

$$T_1 = 2 \sqrt{d} \quad (3.15)$$

(Burada d , binanın en üst katının yatay olarak uygulanan ağırlık yüklerine bağlı olan yanal yer değiştirmesinin metre cinsinden ifadesidir.)

(3) Taban kesme kuvvetinin hesaplanması

$$T_1 \rightarrow S_d(T_1)$$

Taban kesme kuvvetinin hesaplandığı aşağıdaki (3.16) denkleminde yer alan toplam yapı ağırlığı değeri $W = \sum_{i=1}^N (w_i)$ olarak hesaplanacaktır.

$$F_b = S_d(T_1) \cdot W \quad (3.16)$$

(4) Yatay deprem kuvvetlerinin dağılımı

$$F_i = F_b [w_i \cdot z_i / \sum_{j=1}^N (w_j \cdot z_j)] \quad (3.17)$$

(5) Eşdeğer deprem yüklerinin rastlantısal burulma eksantrikliği de gözönüne alınarak yapıya yüklenmesi ve kat deplasmanları ile iç kuvvetlerin hesabı

Planda eleman rijitlik ve kütlelerinin simetrik olması durumunda, rastlantısal burulma etkilerini gözönüne almak için her bir yük taşıyan eleman üzerindeki etki δ katsayısı ile arttırılacaktır.

$$\delta = 1 + 0,6(x / L_e) \quad (3.18)$$

Yerdeğiştirme analizi:

$$d_s = q_d \cdot d_e \cdot \gamma_I \quad (3.19)$$

(6) Çökmeye karşı yeterli güvenliğin sağlandığının kontrol edilmesi

“Dayanım Şartları” :

Tüm yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda, tüm birleşimlerde

a) $E_d \leq R_d$ olmalıdır.

E_d : Deprem dizayn durumuna dayanılarak (gerekirse ikinci mertebe etkileri de gözönüne alınarak) hesaplanan, deprem yükü etkisinin dizayn değeri

$$E_d = E \{ \Sigma G_{kj}, \gamma_I \cdot A_{Ed}, P_k, \Sigma \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \}$$

R_d : Malzeme ile ilgili özel kurallara (özellik karakteristik değeri $\rightarrow f_k$; kısmi güvenlik faktörü $\rightarrow \gamma_M$) ve yapısal sistem tipine göre belirlenen mekanik modellemeye bağlı olarak hesaplanan, elemanın tekabül eden dizayn dayanımı

$$R_d = R \{ f_k / \gamma_M \}$$

b) Aşağıdaki şart tüm katlarda sağlanıyorsa ikinci mertebe etkiler artık düşünülmez:

$$\theta = P_{tot} \cdot d_r / V_{tot} \cdot h \leq 0,10 \quad (3.20)$$

c) $0,1 < \theta \leq 0,2$ olması durumunda, ikinci mertebe etkiler, ilgili deprem yükü etkilerinin $\{ 1/(1-\theta) \}$ faktörüyle çarpılarak artırılması sonucu yaklaşık olarak hesaba katılmış olur.

d) $\theta < 0,3$ olmak zorundadır.

“Süneklik Şartları”

“Eşitlik Şartları” (Kayma ve devrilmeye karşı stabilite)

“Yatay Diyaframların Dayanımı” :

Yapılan analiz sonucu yatay diyaframa ve yatay düzlemdeki çaprazlara gelen kuvvetler (1,3)e eşit bir çoğaltma faktörü ile arttırılır. Bu yatay elemanların tahkiki arttırılmış yüklere göre yapılır.

“Temellerin Dayanımı”

“Deprem Düğüm Noktası Şartı”

(7) İşletme sınır yük durumu kontrolü

a) Yapıya tutturulmuş kırılğan malzemeden yapısal olmayan elemanlar içeren binalar için aşağıdaki şart sağlanmalıdır:

$$d_r/v \leq [0,004].h \quad (3.21.a)$$

b) Yapısal deformasyonlarla hareket etmesi engellenecek şekilde yapıya sabitlenmiş yapısal olmayan elemanlar içeren binalar için aşağıdaki şart sağlanmalıdır:

$$d_r/v \leq [0,006].h \quad (3.21.b)$$

Yukarıdaki denklemlerde yeralan v azaltma katsayısı binanın önem kategorisine bağlı olarak tabloda verilmektedir.

Tablo 3.2 v Azaltma Katsayıları Tablosu [1]

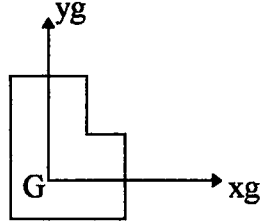
Önem Kategorisi	I	II	III	IV
v Azaltma Katsayısı	2,5	2,5	2,0	2,0

3.3.2 Mod Birleştirme Yöntemi

3.3.2.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

(1) Kat kütlelerinin ve kütle eylemsizlik momentlerinin hesabı

Kat No	m_i	$m\theta_i$
...	...	...
...	...	...
...	...	...



G : Kütle merkezi

A_i : i'nci katın alanı

I_{xg} , I_{yg} : Kat döşemesinin sırayla x_g ve y_g eksenleri etrafındaki atalet momentleri

Şekil 3.6

Kabul : Kütlenin döşemeye üniform yayıldığı kabul edilmektedir. (Şekil 3.6)

$$m\theta_i = (I_{xg} + I_{yg})m_i / A_i \quad (3.22)$$

(2) Yapının serbest titreşim analizi

Kat kütleleri, $\pm$ %5 kaydırılmış kütle merkezinde tanımlandıktan sonra yapının üç boyutlu serbest titreşim analizi yapılarak titreşim periyot ve modları bulunur. Bu aşamada (kat sayısı)*3 adet titreşim modunun hesaplanması önerilir.

[M] : Sistem kütle matrisi

[C] : Sistem sönüm matrisi

[K] : Sistem rijitlik matrisi

$\{r\}$: Deprem doğrultusuna iştirak eden kat deplasmanlarını tanımlayan vektör.

Elemanları kesme tipi yapılarda $\{r^T\}=\{1,1,1,...,1\}$ olarak alınır.

$[K]\{\Phi\} = w^2[M]\{\Phi\}$ cebrik özel değer problemi çözülerek

$w_1 \rightarrow \{\Phi_1\}$

$w_2 \rightarrow \{\Phi_2\}$

...

...

$w_y \rightarrow \{\Phi_y\}$

frekans ($T= 2\pi/w$) ve karşılık gelen modlar bulunur.

Kat No	Φ_{xir}	Φ_{yir}	$\Phi_{\theta ir}$
Titreşim Modu No:	$r = 1$		$T_1 = \dots s$
N'inci kat	...	...	...
(N-1)inci kat	...	...	...
.....	...	...	...
.....	...	...	...
.....	...	...	...
2. kat	...	...	...
1. kat	...	...	...
Zemin kat	...	...	...
Titreşim Modu No:	$r = r$		$T_r = \dots s$
N'inci kat	...	...	...
(N-1)inci kat	...	...	...
.....	...	...	...
.....	...	...	...
.....	...	...	...
2. kat	...	...	...
1. kat	...	...	...
Zemin kat	...	...	...
Titreşim Modu No:	$r = y$		$T_y = \dots s$
N'inci kat	...	...	...
(N-1)inci kat	...	...	...
.....	...	...	...
.....	...	...	...
.....	...	...	...
2. kat	...	...	...
1. kat	...	...	...
Zemin kat	...	...	...

(3) Etkin kütle oranlarının hesabı

$M_r = \{\Phi_r\}^T [M] \{\Phi_y\}$ olup, mod vektörleri $M_r = 1$ olacak şekilde normalize edilirse her doğrultu ve her mod için etkin kütle oranları şöyle hesaplanır:

$$M_{xr} / M_T = (\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xir}))^2 / \sum_{i=1}^N m_i$$

$$M_{yr} / M_T = (\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{yir}))^2 / \sum_{i=1}^N m_i$$

$$M_{\theta r} / M_T = (\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{\theta ir}))^2 / \sum_{i=1}^N m_i$$

Mod No	Etkin Kütle Oranı		
	M_{xr}/M_T	M_{yr}/M_T	$M_{\theta r}/M_T$
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...

(4) Hesaba katılacak mod sayısının belirlenmesi

Gözönüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde her bir mod için hesaplanan etkin kütle oranlarının toplamı 0.90'dan büyük olacak ve ayrıca gözönüne alınan doğrultuda etkin kütle oranı 0.05'ten büyük olan bütün titreşim modları gözönüne alınacak şekilde, hesaba katılacak mod sayısı belirlenecektir.

(5) Spektral ivme değerlerinin belirlenmesi

$$S_{pa}(T_r) = A(T_r) \cdot g / R_a(T_r) \quad (3.23)$$

Elastik tasarım ivme spektrumunun özel olarak belirlenmesi durumunda, denklemdeki $A(T_r) \cdot g$ yerine, ilgili özel spektrum ordinatı gözönüne alınır.

(6) Yapının spektrum analizi

- Modal kütle çarpanı hesabı (Modal katılım faktörü):

$$[\Phi]^T [M] \{r\} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_y \end{bmatrix} \quad \alpha_i = \{\Phi_i\}^T [M] \{r\}$$

α_i : i'nci modal kütle çarpanı

- Her moddan gelen maksimum katkıların hesabı

Yapıya ait deplasmanlar $\{x\} = \{\Phi_1\} Y_1 + \{\Phi_2\} Y_2 + \dots + \{\Phi_y\} Y_y$

$$\{Y\} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_y \end{bmatrix} \rightarrow \text{modal deplasman}$$

Normal koordinatlarda i'nci moda ait maksimum yer değiştirme:

$$(Y_i)_{\max} = \alpha_i \cdot S_{pa}(T_r, \xi) / w_i^2$$

$\{x\}$ deplasmanına gelen maksimum katkı:

$$\{x\}_{i,\max} = \{\Phi_i\} (Y_i)_{\max}$$

(7) Mod katkılarının birleştirilmesi

$T_s < T_r$ olmak üzere, gözönüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_s/T_r < 0.80$ koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için “Karelerinin Toplamının Kare Kökü Kuralı” uygulanabilir. Koşul sağlanmıyorsa, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için “Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı” uygulanacaktır. Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak çapraz korelasyon katsayılarının hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır.

(8) α_M hesabı ve yapının süneklik düzeyine göre gerekli kontrollerin yapılması

$$\alpha_M = \text{Perde taban momentleri toplamı} / \text{Toplam taban momenti}$$

α_M 'e bağlı olarak $\{R\}$ katsayısı yeniden belirlenerek hesaplar beşinci adımdan itibaren tekrarlanır.

(9) Hesaplanan iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri için alt sınır değerlerin belirlenmesi

- Mod birleştirme yöntemi ile bulunan bina toplam deprem yükü V_{tB}
- Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre hesaplanan bina toplam deprem yükü V_t
- $V_{tB} < \beta V_t$ olması durumunda mod birleştirme yöntemine göre bulunan tüm iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri

$$B_D = (\beta V_t / V_{tB}) B_B \quad (3.24)$$

denklemleri ile büyütülecektir. A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda $\beta=1$, aksi halde ise $\beta=0.9$ alınacaktır.

(10) Göreli kat ötelemelerinin kontrolü

(11) İkinci mertebe etkilerin kontrolü

Bodrum Katlarında Betonarme Çevre Perdeleri Bulunan Yapılar

1.AŞAMA : Sadece normal katlara ait kat kütleleri gözönüne alınacak ve tüm sistemin spektrum analizi, ivme spektrum değerleri denklemi yardımıyla hesaplanarak gerçekleştirilecektir.

2.AŞAMA : Bu aşamada normal katlara ait kütleler gözönüne alınmamakta, sadece bodrum katlara ait kat kütleleri hesaba katılmakta ve bütün periyot değerleri için :

$$S_{pa} = A_0 I_g / 1.5 \quad \text{alınarak analiz yapılmaktadır.}$$

3.AŞAMA : Bu aşamada iç kuvvetler elde edilmektedir. Normal katlara ait iç kuvvetler birinci aşamada elde edilen değerlerdir. Bodrum katlara ait iç kuvvetler ise birinci ve ikinci aşamada bodrum katlar için elde edilen iç kuvvetlerin karelerinin toplamının karekökü alınarak hesaplanacaktır.

3.3.2.2 Eurocode 8 (Multi-Modal Karşılık Spektrum Analizi)

Planda düzenlilik kriterlerini veya özel kriterleri (**) sağlayan yapılarda basitleştirilmiş (düzlemsel) modelleme yapılarak, multi-modal karşılık spektrum analizi uygulanır. Aksi halde yapı üç boyutlu olarak modellenir.

(1) Kat kütlelerinin ve kütle eylemsizlik momentlerinin hesabı

(2) Yapının serbest titreşim analizi

(3) Etkin kütle oranlarının hesabı

$$F_{bk} = S_d(T_k) \cdot m_k \cdot g \quad (3.25)$$

Verilen bir doğrultu için tüm modların etkili modal kütlelerinin toplamı, yapının kütlesine eşittir.

(4) Hesaba katılacak mod sayısının belirlenmesi

- Hesaba katılacak modların efektif modal kütlelerinin toplamı, yapının toplam kütlesinin en az %90'ına eşittir.

- Efektif modal kütlesi, toplam kütlenin %5'inden büyük olan tüm modlar gözönüne alınmalıdır.

En önemli modal katkının burulma modlarından geldiği yapılar gibi bazı özel yapılarda yukarıdaki şartlar sağlanmayabilir. Bu durumda uzaysal (3 boyutlu) analiz yapılacak ve kullanılacak mod sayısı için şu şartlara uyulacaktır:

- $k \geq 3\sqrt{n}$
- $T_k \leq 0.20 \text{ s}$

(5) Spektral ivme değerlerinin belirlenmesi

(6) Yapının spektrum analizi ile yerdeğiştirmelerin ve iç kuvvetlerin hesabı

(7) Mod katkılarının birleştirilmesi

- i ve j titreşim modlarına verilen karşılıkların birbirinden bağımsız olarak kabul edilebilmesi için, bu modların periyotları T_i ve T_j aşağıdaki şartı sağılamalıdır :

$$T_j \leq 0.9 T_i$$

- Sözkonusu tüm titreşim modları birbirinden bağımsız ise, deprem yükü etkisinin maksimum değeri şöyle hesaplanır :

$$E_E = \sqrt{\sum E_{Ei}^2}$$

- Sözkonusu titreşim modları birbirinden bağımsız değıl ise, modal maksimum kombinasyonu için daha kesin bir yöntem (Örn; CQC[Tam Karesel Birleştirme]) uygulanmalıdır.

(8) Çökmeye karşı yeterli güvenliğın sağılandığının kontrol edilmesi

(9) İşletme sınır yük durumu kontrolü

Burulma Etkilerinin Gözönüne Alınışı

- Eğer analiz için uzaysal bir model seçilmişse

$$M_{li} = e_{li} \cdot F_i \quad (3.26)$$

- Eğer analiz için düzlemsel bir model seçilmişse (özel kriterler sağlanıyorsa) ;

a) burulma etkileri basitleştirilmiş modal analizdeki gibi hesaba katılabilir.

$$\delta = 1 + 0,6(x / L_e) \quad (3.18)$$

b) burulma etkileri yaklaşık analizle hesaplanabilir.

$$e_2 = 0,1(L+B) \sqrt{10e_0/L} \leq 0,1(L+B) \quad (3.27.a)$$

$$e_2 = [1 / 2e_0] [l_s^2 - e_0^2 - r^2 + \sqrt{(l_s^2 + e_0^2 - r^2)^2 + 4e_0^2 r^2}] \quad (3.27.b)$$

e_2 : Eşgüdümlü çevrimsel ve burulma titreşimlerinin dinamik etkisini de hesaba katmak için gözönüne alınan ek dışmerkezliktir. Yukarıdaki (3.27.a ve b) denklemleri ile hesaplanan değerlerden küçük olanı e_2 olarak alınır.

e_0 : Rijitlik merkezi S ile varsayılan kütle merkezi M arasındaki gerçek dışmerkezlik

$l_s^2 = (L^2 + B^2) / 12$: Dönme yarıçapının karesi

r^2 : Burulma yarıçapının karesi (Kat burulma ve eğilme rijitliklerinin oranı)

$$r^2 > 5(l_s^2 + e_0^2) \quad \text{ise } e_2 \text{ ihmal edilebilir.}$$

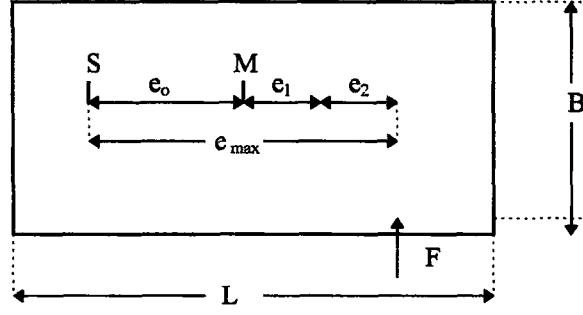
F_i : Basitleştirilmiş modal veya multi-modal analize göre hesaplanan, i katına e_2 ek eksantriklikle etkiyen yatay deprem kuvveti

$$M_i = F_i \cdot e_{\max} = F_i \cdot (e_0 + e_1 + e_2) \quad (3.28.a)$$

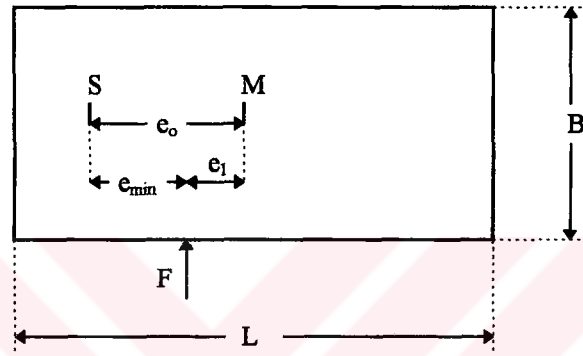
$$M_i = F_i \cdot e_{\min} = F_i \cdot (e_0 - e_1) \quad (3.28.b)$$

$e_1 = \pm 0,05L_i$: Kat kütlelerinin kabul edilen kütle merkezinden rastlantısal eksantrikliği

Yukarıdaki (3.28.a ve b) denklemlerinden elde edilen M_i momentlerini de içeren iki statik yükleme yapılarak da burulma etkileri gözönüne alınabilir. (Şekil 3.7)



Şekil 3.7 (a) Deprem yükünün dışmerkezliği



Şekil 3.7 (b) Deprem yükünün dışmerkezliği

3.3.3 Alternatif Analiz Metodları

3.3.3.1 Eurocode 8

Yapının, depreme dayanıklı tasarımın temel ilkelerini sağladığını varsayabilmemiz için, tüm alternatif analiz metodlarının karşılamak zorunda olduğu iki temel kural vardır:

a) Her iki ortogonal deprem doğrultusu gözönüne alındığında, tüm mesnetlerde yatay kesme kuvvetlerinin toplamı, multi-modal analize göre hesaplanan değerin %80'inden az olmayacaktır.

b) Eğer %80'inden az olma durumu iki doğrultudan birinde varsa, hesaplanan tüm davranış değişkenleri, taban kesme kuvvetini (a) şartını sağlayacak şekilde büyüten bir skala faktörü ile çarpılarak, orantılı biçimde arttırılacaktır.

Alternatif Analiz Metodları

- **Güç-Spektrum Analizi** : Güç-ivmelenme spektrumu veri alınarak, lineer stokastik analiz (modal analiz veya davranış frekans matrisi kullanılarak) yapılır.

- **Zaman-Tarih Analizi** : Yapının zamana bağlı davranışı, zeminin hareketini temsil eden ivmelenme grafikleri kullanılarak, hareketin diferansiyel denkleminin direkt sayısal integrasyonu alınarak belirlenir.

- **Frekans Alanı Analizi** : Deprem yükü verileri zaman-tarih analizindeki gibidir. Ancak her ivmelenme grafiği Fourier serilerine dökümü yapılarak verilir. Yapının davranışı, frekans alanı verilerinin harmonik bileşenlerinin, kendilerine karşılık gelen frekans davranış matrisi veya fonksiyonlarıyla birleştirilmesi sonucunda elde edilir.

3.3.3.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Zaman- Tanım Alanında Hesap Yöntemleri :

Özel durumlarda, bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, daha önce kaydedilen veya yapay yollarla üretilen “benzeştirilmiş deprem yer hareketleri” kullanılabilir.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik hesap yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değeri

$$S_{pa}(T_r) = A(T_r) \cdot g / R_a(T_r) \quad (3.23)$$

denklemleri ile hesaplanacaktır.

Doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki davranışını tanımlayan iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları, geçerliliği teorik ya da deneysel olarak kanıtlanmış yöntemlerle elde edilir.

3.3.4 Deprem Yükü Bileşenlerinin Birleştirilmesi

3.3.4.1 Eurocode 8

Deprem Yükünün Yatay Bileşenleri:

Planda düzenlilik kriterlerine uyan ve yatay yüklerin yalnızca düşey elemanlar tarafından karşılandığı yapılarda, deprem yükünün iki asal ortogonal doğrultu boyunca bağımsız ve eş zamanlı olarak etkidiği varsayılır. Ancak, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, gözönüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumu söz konusu ise, yani planda düzensizlik varsa, deprem yükünün yatay bileşenlerinin birleştirilerek, ortak etkilerinin hesaplanması gerekir. Bu durumda her iki yatay bileşen tek tek hesaplanır ve aşağıdaki iki yöntemden birine göre birleştirilir:

- Her iki yatay doğrultudan gelen etkilerin karelerinin toplamının karekökü alınarak, maksimum yük etkisi hesaplanır.
- Alternatif yol

a) $E_{Edx} + 0,30 E_{Edy}$

b) $0,30 E_{Edx} + E_{Edy}$

Denklemlerde işaretler en elverişsiz yükleme kuralına göre alınır.

E_{Edx} : Deprem yükü x eksenini doğrultusunda uygulandığında hesaplanan yük etkileri

E_{Edy} : Deprem yükü y eksenini doğrultusunda uygulandığında hesaplanan yük etkileri

Deprem Yükünün Düşey Bileşenleri:

İki boyutlu modellemeye göre yapılan analizde, deprem yükünün düşey bileşeni şu durumlarda gözönüne alınmalıdır:

- 20 m veya daha uzun açıklığa sahip yatay veya yaklaşık yatay yapısal elemanlar olduğunda
- Yatay veya yaklaşık yatay konsollar olduğunda
- Yatay veya yaklaşık yatay öngerilmeli elemanlar olduğunda

- Kolonları destekleyen kirişler olduğunda

Deprem yükünün düşey bileşeninin etkisi, söz konusu eleman ve bu elemanın doğrudan bağlandığı taşıyıcı eleman ve yapı sistemleri için gözönüne alınır. Eğer depremin yatay bileşenleri de bu elemanlar üzerine etkiliyorsa şöyle bir birleştirme yolu izlenir:

$$a) 0,30 E_{Edx} + 0,30 E_{Edy} + E_{Edz}$$

$$b) E_{Edx} + 0,30 E_{Edy} + 0,30 E_{Edz}$$

$$c) 0,30 E_{Edx} + E_{Edy} + 0,30 E_{Edz}$$

E_{Edz} : Deprem dizayn yükünün düşey bileşeninin uygulanmasına bağlı olan yük etkileri

Genelde, depremin düşey bileşeninden gelen etkileri belirlemeye yönelik analiz, gözönüne alınan ve bunlara bitişik olan elemanların rijitliklerini de hesaba katan uzaysal bir modele göre yapılır.

3.3.4.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, gözönüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumu varsa, yani planda (A4) türü düzensizlik söz konusu ise, elemanların asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler şu denklemlere göre elde edilecektir:

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0,30 B_{ay}$$

$$B_a = \pm 0,30 B_{ax} \pm B_{ay}$$

Denklemlerdeki işaretler en elverişsiz sonucu verecek şekilde alınacaktır.

B_{ax} : Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksen doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü

B_{ay} : Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksen doğrultusunda, x'e dik y eksen doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü

B_a : Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda tasarıma esas teşkil eden iç kuvvet büyüklüğü

3.4 Yapısal Olmayan Elemanların Deprem Hesabı

3.4.1 Eurocode 8

Binaların parapetler, çatı antenleri, mekanik ekler ve tesisat, ince bölme duvarları, parmaklıklar gibi yapısal olmayan elemanları da, depremde insan hayatını riske sokacak şekilde göçebilir ve kritik hizmetlerin yerine getirilmesini engelleyecek şekilde zarar görebilirler. Bu nedenle, yapısal olmayan elemanların da, mesnetleri ve birleşimleriyle birlikte depreme karşı yeterli dayanım göstermeleri için, deprem yükü etkisine göre gerekli hesap ve tahkikleri yapılmalıdır.

- Analiz :

$$F_a = (S_a \cdot W_a \cdot \gamma_a) / q_a \quad (3.24)$$

- Deprem Katsayısı S_a 'nın Hesabı :

$$S_a = [\alpha \cdot 3(1+Z/H)] / [1+(1-T_a/T_1)^2] \quad (3.25)$$

$\alpha = a/g$: dizayn yer ivmesi / yer çekimi ivmesi

Tablo 3.3 Yapısal Olmayan Elemanların Davranış Faktörleri

Yapısal Olmayan Eleman Tipi	q_a
* Konsol parapetler veya süslemeler * İşaretler ve ilan tahtaları * Toplam yüksekliklerinin yarısından fazlası yatay stabilite çaprazları olmaksızın konsol olarak çalışan ayaklar üzerindeki bacalar, direkler, tanklar	1,0
* İç ve dış duvarlar * Toplam yüksekliklerinin yarısından az kısmı yatay stabilite çaprazları olmaksızın konsol olarak çalışan ayaklar üzerinde bulunan veya ağırlık merkezlerinden ya da ağırlık merkezlerinin üstünden yapıya tutturulmuş bacalar, direkler, tanklar * Sabit döşeme destekli dolap ve kitaplıkların ankrajları * Asma tavan ve ışıklandırma tesisatının ankrajları	2,0

- Yapısal Olmayan Elemanların Önem Faktörleri:

Genellikle yapının önem faktörüne eşittir. Ancak aşağıdaki elemanlarda γ_a , (1,5)dan az seçilemez :

(1) Yaşam güvenliği sistemlerinin gerektirdiği makine ve ekipmanların ankrajları

(2) Genel halk güvenliği için riskli görülen zehirli veya patlayıcı maddeleri içeren tanklar, tekneler

3.4.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Yapısal Çıkıntılara ve Mimari Elemanlara Etkiyen Deprem Yükleri:

Binalarda balkon, parapet, baca vb. konsol olarak binanın taşıyıcı sistemine bağlı, ancak bağımsız çalışan yapısal çıkıntılara ve cephe ara bölme panoları vb. yapısal olmayan tüm mimari elemanlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri, $S(T)=1.0$ alınarak $A(T)=A_0IS(T)$ denkleminde bulunan spektral ivme katsayısının ilgili elemanın toplam ağırlığı ile çarpılmasından elde edilecektir. Hesaplanan deprem yükü, yatay veya düşey doğrultuda, en elverişsiz iç kuvvetleri verecek yönde ilgili elemanın ucuna etki ettirilecektir.

Mekanik ve Elektrik Donanımına Etkiyen Deprem Yükleri:

Binalardaki mekanik ve elektrik donanımların ve bunların bina taşıyıcı sistem elemanlarına bağlantılarının hesabında kullanılacak yatay deprem yüklerinin hesabı :

$$f_e = w_e A_0 I (1 + H_i / H_N) \quad (3.26)$$

f_e : Mekanik ve elektrik donanımının kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü

w_e : Mekanik ve elektrik donanımının ağırlığı

H_i : Binanın i 'nci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği (m)

H_N : Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (m)

Ancak denklemde w_e ile gösterilen mekanik veya elektrik donanım ağırlıklarının binanın herhangi bir i 'nci katındaki toplamının ($0,2 w_i$)den büyük olması durumunda, donanımların ağırlıklarının ve binaya bağlantılarının rijitlik özellikleri, bina taşıyıcı sisteminin deprem hesabında gözönüne alınacaktır.

Kalorifer brülör ve kazanları, acil yedek elektrik sistemleri ve yangın söndürme sistemleri ile dolgu duvarlarına bağlanan donanımlar ve bunların bağlantılarında yukarıdaki denklemden hesaplanan deprem yükünün iki katı alınır.

Endüstri binalarında, mekanik veya elektrik donanımın bulunduğu kattaki en büyük ivmeyi tanımlayan kat ivme spektrumunun uygun yöntemlerle belirlenmesi durumunda yukarıdaki denklem uygulanmayabilir.

3.5 Deprem Derzleri

3.5.1 Eurocode 8 (Deprem Düşüm Noktaları Şartı)

- Bina deprem sırasında bitişik yapılarla (veya bloklarla) çarpışmalardan korunmalıdır.
- Yukarıdaki şart, yapının plandaki dış sınır çizgilerinden muhtemel temas noktasına kadar olan uzaklık, maksimum yatay yerdeğiştirmeden küçük değilse sağlanmış kabul edilir.
- Eğer söz konusu yapının kat yükseklikleri, bitişik yapının kat yükseklikleri ile aynı ise (döşemeler aynı kotta ise), yukarıda belirtilen mesafe $[0,7]$ faktörü ile çarpılarak azaltılabilir.
- Eğer yapının çevresi boyunca çarpma (darbe) duvarı olarak çalışan uygun kesme duvarları varsa, yukarıda sözü edilen mesafe bırakılmayabilir.

3.5.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

- Derz boşlukları, her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen yerdeğiştirmelerin mutlak değęrlerinin toplamı ile, aşağıda tanımlanan α katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değęrden az olmayacaktır :

(a) Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin bütün katlarda aynı seviyede olmaları durumunda $\alpha=R/4$ alınacaktır.

(b) Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin, bazı katlarda olsa bile, farklı seviyelerde olmaları durumunda, tüm bina için $\alpha=R/2$ alınacaktır.

- Gözönüne alınacak kat yerdeğiştirmeleri, kolon veya perdelerin bağılandığı düğüm noktalarında hesaplanan yerdeğiştirmelerin kat içindeki ortalamaları olacaktır.

- Bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olacak ve bu değere 6 metreden sonraki her 3 metrelik yükseklik için en az 10 mm eklenecektir.

- Bina blokları arasındaki derzler, depremde blokların bütün doğırtularda birbirlerinden bağımsız olarak çalışmasına olanak verecek şekilde düzenlenecektir.

3.6 Genel Karşılaştırma

3.6.1 Modelleme ve Hesap Metodunun Seçilmesindeki Farklılıklar

Eurocode 8 de Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik de planda düzenli olan veya döşemeleri kendi düzleminde rijit diyafram kabul edilebilen ve rijitlik merkezi ile kütle merkezi birbirine yakın olan binalarda, deprem yükünün etkidiğı ortogonal iki doğırtuda düzlemsel yer değıştirmeler meydana geleceğı kabulüyle, iki boyutlu modellemeye imkan sağlamaktadır. Planda düzenlilik kriterlerinin sağlanmadığı binalarda her iki yönetmelik de yapının üç boyutlu (uzaysal) olarak modellenmesini öngörmektedirler.

ABYYHY, burulma etkisini hesaba katabilmek için, eşdeğer deprem yüklerinin kat kütle merkezlerine $\pm 5\%$ eksantriklikle etkiltilmesini şart koşar. Bu yükler altında

analiz gerçekleştirilir ve yer deşistirmeler hesaplanır. Sonuç deplasmanlara bakılarak burulma düzensizliği olduğu tespit edilirse eksantriklik değeri arttırılarak analiz tekrarlanır.

Eurocode 8 ise, iki boyutlu modellemede deprem yüklerini etkitirken $e_1 = \pm 0.05 L_1$ rastlantısal eksantrikliğe ek olarak, öteleme ve dönme titreşimlerini de hesaba katabilmek için bir e_2 ek eksantrikliğin de gözönüne alınmasını şart koşar. Üç boyutlu modellemede ise kat kütle merkezine e_1 eksantrikliğiyle etkiyen deprem kuvvetlerinden doğan momentlerin hesaba katılması yeterlidir. Eurocode 8'e göre, eğer taşıyıcı sistem elemanlarının yanal rijitlikleri simetrik dağılım gösteriyorsa ve istenmeyen dış merkezlikten dolayı oluşan etkiler için daha kesin hesap yapılamıyorsa, oluşacak burulma etkilerini gözönüne almak için elde edilen kesit tesirleri (3.18) nolu denklemdaki δ katsayısı ile arttırılarak yaklaşık hesap yapılabilir.

ABYYHY ve Eurocode 8'de analiz metodunun seçiminde de yapısal düzensizlikler baz alınır. Eurocode 8 düzensiz yapıların dinamik yöntemlerle ve azaltılmış davranış faktörü değerleri kullanılarak hesaplanmasını öngörür. Türk Deprem Yönetmeliği'nde ise analiz sonrasında A1 türü burulma düzensizliği olduğu sayısal olarak belirlenirse deprem yükü eksantriklik değerleri arttırılarak hesap yinelenir. B2 türü yumuşak kat düzensizliği varsa dinamik analize gidilir.

Yapının kabul edilen süneklik düzeyini sağlayıp sağlamadığı α_M hesabıyla kontrol edilip, gerekiyorsa iç kuvvet ve yer değistirmeler $(R_a)_{\text{eski}}/(R_a)_{\text{yeni}}$ oranı ile çarpılarak düzeltilir. Yani Eurocode 8'deki gibi daha analizin başında azaltılmış davranış faktörleri kullanılmaz.

3.6.2 Analiz

Yapıların deprem yükleri altında analizi için, her iki yönetmelik de benzer statik ve dinamik yöntemleri önermiştir. Ancak bu yöntemlerin kullanım limitleri ve hesap adımı detaylarında farklar bulunmaktadır. Örneğin, eşdeğer deprem yükü yönteminde birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak hesaplanmasına Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre 25 m. yüksekliğe kadar olan yapılarda izin verilir. Daha yüksek yapılarda Rayleigh oranı kullanılır ve ayrıca yapının üst katı için bir ek eşdeğer deprem

yükü tanımlanır. Eurocode 8’de ise birinci titreşim periyodunun yaklaşık olarak hesabı 80 m. yüksekliğe kadar olan binalarda mümkün olabilmektedir ve üst katlar için ek bir yükten bahsedilmez. Yine ufak detay farkları olmakla beraber çok modlu dinamik analiz ve alternatif dinamik analiz metodları her iki yönetmelikte de tariflenmektedir.

Tüm bu analizler sonucunda hesaplanan yatay deplasmanlara göre, yapının dayanım şartlarını sağlamak için gerekli rijitliğe sahip olup olmadığı irdelenir. Eurocode 8’e göre ikinci mertebe etkilerinin taşıma gücü sınır durumuna etkisini kısıtlamak için ikinci mertebe gösterge değeri θ , 0.10’dan küçük olmalıdır. ABYYHY’de bu limit değeri 0.12’dir. Relatif kat ötelemelerinin kullanma sınır durumuna etkisini kısıtlamak için Eurocode 8’de binanın önem sınıfına bağlı limit değerler verilir. Türk Deprem Yönetmeliği’nde Eurocode 8’dekine yakın değerlerde, ancak yapı davranış katsayısına bağlı relatif öteleme sınırları mevcuttur.

Ayrıca Eurocode 8’de analizi, gerçek deprem yükünü q davranış faktörü ile azaltarak yapmış olmamız nedeniyle, analiz sonucunda bulunan deplasmanları (3.19) denklemi yardımıyla deprem yükü altında gözlenen gerçek deplasmanlara dönüştürürüz. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’te böyle bir detaya değinilmez.

4 ÇELİK YAPILARIN DEPREME DAYANIKLI TASARIMI

4.1 Taşıyıcı Sistem Sınıflandırılması

4.1.1 Eurocode 8

Çelik yapıların depreme dayanıklı tasarımında iki temel kavram gözönüne alınır (Bu kavramlar taşıyıcı sistemin davranışını belirlemektedirler):

a) Enerji Yutucu Yapısal Davranış:

Deprem yükü altında non-lineer davranış gösteren, dolayısıyla plastik dayanımları da gözönüne alınan bazı yapı bölümleri vardır ve bunlar enerji yutucu (emici) kuşak (ya da bölge) olarak adlandırılırlar. Deprem yükü dizayn spektrumunun belirlenmesinde kullanılan q davranış faktörü, yapısal tipe de bağlı olarak 1,0'den büyük alır.

b) Enerji Yutucu Olmayan Yapısal Davranış:

Deprem yükü etkileri, malzemenin non-lineer davranışı (plastik dayanımı) gözönüne alınmaksızın, tümsel elastik analiz esaslarına göre belirlenir. Deprem yükü dizayn spektrumunun belirlenmesinde kullanılan q davranış faktörü, yapısal tipten bağımsız olarak 1,0'e eşit alınır.

Bu tip yapıların tasarımında eleman ve birleşimleri Eurocode 3'teki esaslara göre yapılır, sünek tasarım ilkelerine uyulması şartı yoktur.

4.1.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Lineer analiz uygulanırken, malzemenin non-lineer dayanımından da faydalanmak için yapı elemanlarının sünek davranış göstermesi istenir. Sünekliğin yüksek olması, şiddetli depremlerde değişik mekanizmaların (plastik mafsallaşma ile) oluşmasını sağlar ve şiddetli depreme dayanımını artırır. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde süneklik düzeyi yüksek sistemler kullanılmalıdır.

4.2 Yapı Tipleri ve Davranış Faktörleri

4.2.1 Eurocode 8

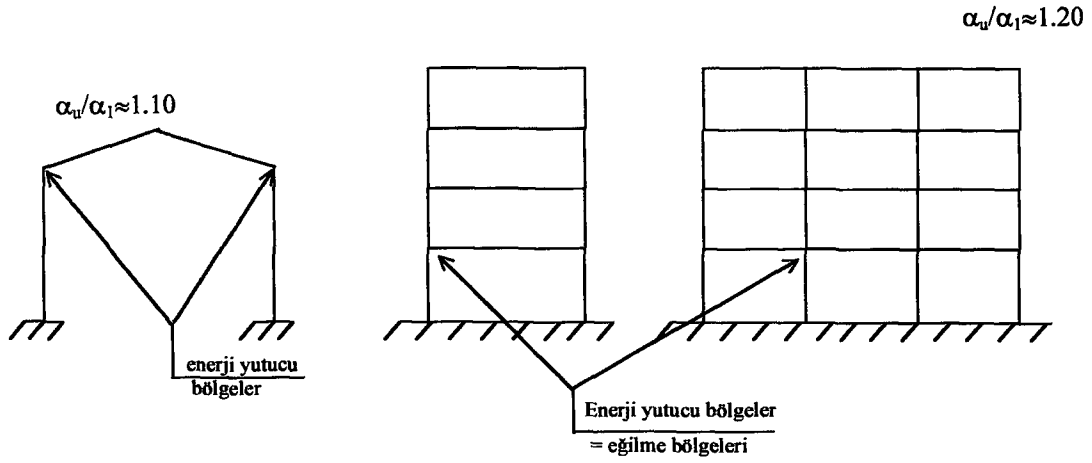
Davranış Faktörüne ilişkin Ön Bilgiler

- Yapının düzenlilik ve dayanım şartlarını sağladığı kabul edilerek, davranış faktörü (q), enerji yutma kapasitesini hesaba katmak için kullanılır.
- Söz konusu yapı boykesitte düzensiz ise, aşağıda sıralanacak q değerleri %20 oranında azaltılır. Ancak q değerlerinin 1,0'den az olması gereksizdir.
- Düşük deprem şiddetine sahip bölgelerde, hadde profillerden veya hadde profil boyutlarına yakın kaynaklı kesitlerden yapılan yapılarda (K çarpazlı yapılar hariç), davranış faktörü $q=1,5$ alınabilir. Çökmeye karşı yeterli dayanımın, Eurocode 3'te yeralan tahkiklerin uygulanması ile sağlandığı kabul edilir.
- Davranış faktörünü belirlemede kullanılan parametreler:
 - α_1 : Diğer tüm dizayn yükleri sabit kalırken, deprem yükü adım adım arttırılır. En çok gerilme alan kesitte plastik moment dayanımına ulaşıldığı (plastik mafsall oluşması) andaki deprem yükü değerine bağlı olarak, α_1 yatay dizayn deprem yükü çarpanı belirlenir.
 - α_u : Diğer tüm dizayn yükleri sabit kalırken, deprem yükü adım adım arttırılır. Yeterli sayıda kesitte plastik moment dayanımına ulaşıp (plastik mafsallar), göçme mekanizmasının oluştuğu andaki deprem yükü değerine bağlı olarak, α_u yatay dizayn deprem yükü çarpanı belirlenir.

Yapı Tiplerine Göre Davranış Faktörleri

a) Moment Aktaran Çerçeve:

Yatay deprem yükleri altında, bükülme etkilerine karşı koyup, oluşan moment etkilerini alarak çalışırlar. Bu tip yapılarda enerji yutma özelliğinin toplandığı zonlar, kiriş-kolon birleşimlerinin hemen yanında oluşan plastik mafsallardır ve çevrimsel eğilmelerle enerji buralarda yutulur. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1

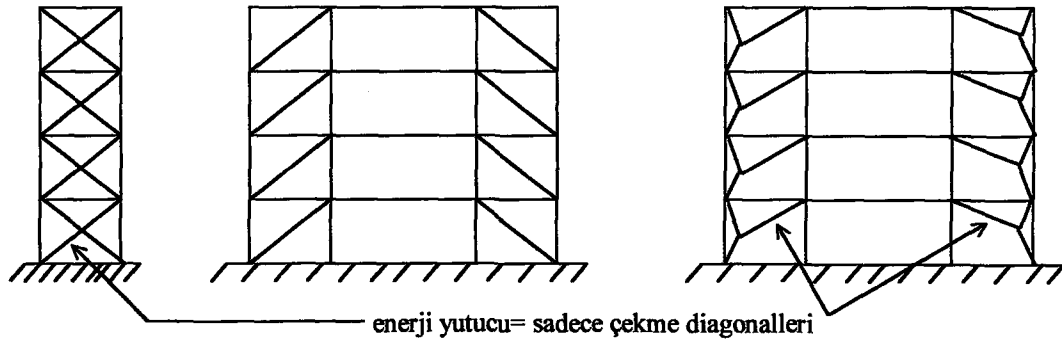
$q=5(\alpha_u / \alpha_1)$ olmalıdır.

(*) Mutlaka $\alpha_u / \alpha_1 < 1.6$ alınacaktır.

b) Merkezi Olarak Bağlanan Çarpraz Çubuklar:

Yatay deprem kuvvetler, aksenal kuvvetlere maruz kalan elemanlar tarafından karşılanılır. Bu tip yapılarda enerji yutuculuk özelliği, çekme alan diagonalinde toplanır. Merkezi olarak bağlanan çubuklar üçe ayrılır:

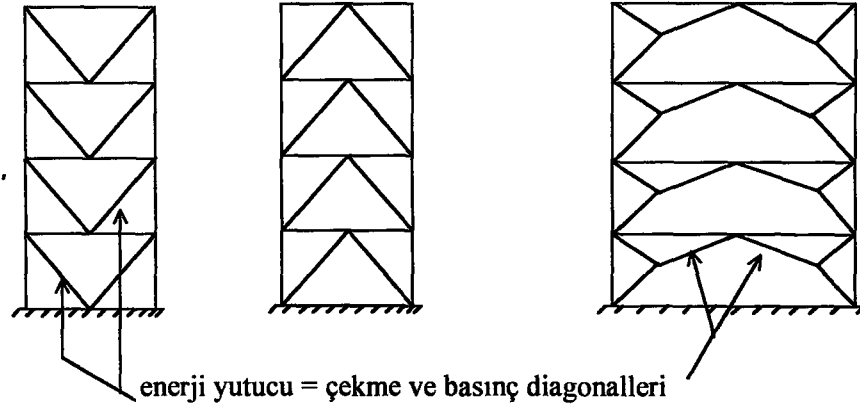
(b.1) Aktif Çekme Diyagonal Çarprazları: Yatay yükler yalnızca çekmeye çalışan diagonal tarafından karşılanmakta ve basınç diagonalini ihmal edilmektedir. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2

$q=4$

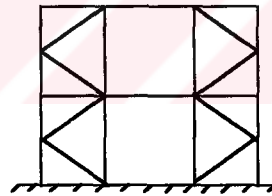
(b.2) V Çarpazları: Yatay yükler hem çekme hem de basınca çalışan diagonaller tarafından karşılanmaktadır. Bu diagonallerin kesişim noktası, yatay ve sürekli bir elemanın üzerinde olmak zorundadır. (Şekil 4.3)



q=2

Şekil 4.3

(b.3) K Çarpazları: Diagonallerin kesişim noktası kolonun üzerindedir. Bu çarpazlarda akma mekanizması kolonun da akmasını içerdiğinden, K çarpazları enerji yutucu olarak değerlendirilemez. (Şekil 4.4)

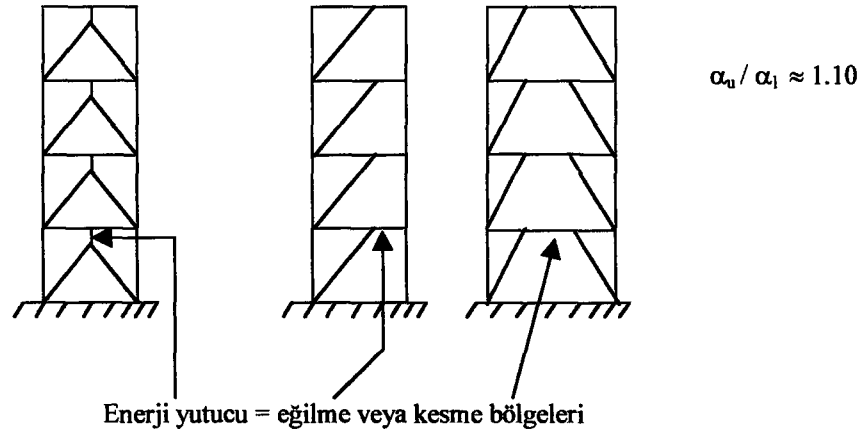


(Enerji yutucu değil)

Şekil 4.4

c) Dışmerkez Olarak bağlanan Çarpaz Çubuklar:

Yatay deprem yükleri, aksenal yüklü elemanlar ve düzenin dışmerkezliği ile karşılanır. Enerji, kirişlerde çevrimsel eğilme ve çevrimsel kesmeler ile yutulur. Eğilmeye çalışan elemanlarda (kirişlerde), kesme ve eğilme etkilerine dayanan akma olayı, basınç ve çekme elemanlarda sınır dayanıma ulaşılması olayından önce gerçekleşir. (Şekil 4.5)



Şekil 4.5

$$q=5 (\alpha_u / \alpha_1)$$

$$(*) \alpha_u / \alpha_1 < 1.6 \text{ olmalıdır.}$$

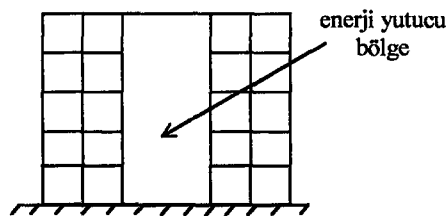
d) Konsol Yapılar ve Ters Sarkaç Yapılar:

Serbest uçlu bir kolon gibi modellenebilen yapılara konsol yapılar, kütlelerinin çoğunluğu yüksek üst bölgesinde toplanan konsol kiriş yapılara da ters sarkaç denir. Enerji yutucu bölgeler, bu tip yapılarda, tabanda toplanır.

$$q=2 \quad \text{Sınırlamalar: } \lambda \leq 1.5, \theta \leq 0.2$$

e) Beton Çekirdekli veya Beton Duvarlı Yapılar:

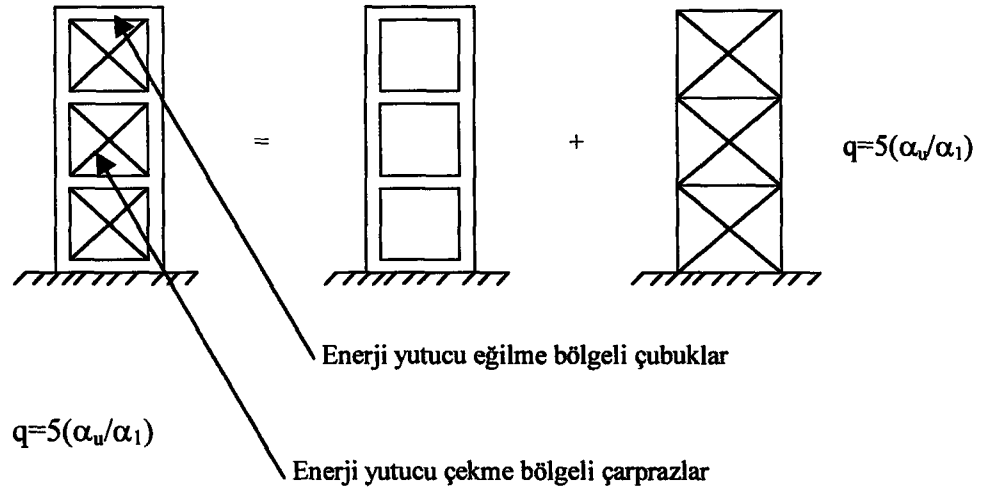
Yatay kuvvetler, bu beton çekirdek veya perdeler tarafından karşılanır. (Şekil 4.6)



Şekil 4.6

f) İkili Yapılar:

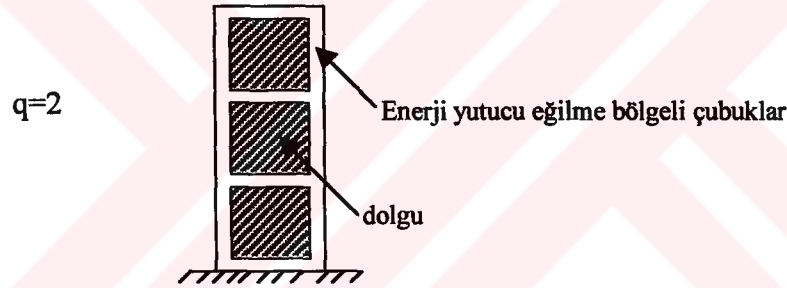
Yatay yüklerin, hem moment aktaran çerçeve, hem de aynı düzlemde bulunan çarpaz bağlantı elemanları tarafından karşılandığı yapılara ikili yapılar denir. (Şekil 4.7)



Şekil 4.7

g) Karma Yapılar:

Çelik, moment aktaran çerçeveler ile, yatay yük taşıyan betonarme veya kagir dolgudan oluşan yapılardır. (Şekil 4.8)



Şekil 4.8

4.2.2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

- Süneklik düzeyi yüksek olarak gözönüne alınacak taşıyıcı sistemlerde, süneklik düzeyinin her iki deprem doğrultusunda da yüksek olması zorunludur. Süneklik düzeyi bir doğrultusunda yüksek, buna dik deprem doğrultusunda ise normal olan sistemler, her iki doğrultuda da süneklik düzeyi normal sistemler olarak sayılacaktır.
- Deprem yüklerinin süneklik düzeyi yüksek boşluksuz (bağ kirişsiz) betonarme perdeler ile süneklik düzeyi yüksek betonarme veya çelik çerçeveler tarafından birlikte taşındığı binalarda $R=7$ katsayısının kullanılabilmesi için, boşluksuz

perdelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen eğilme momentlerinin toplamı, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam devrilme momentinin %75'inden daha fazla olmamalıdır. ($\alpha_M=0.75$)

Eğer bu koşul sağlanmıyorsa, $0.75 < \alpha_M \leq 1.0$ aralığında kullanılacak R katsayısı;

$$R = 10 - 4\alpha_M \quad (4.3)$$

bağıntısı ile belirlenecektir.

Tablo 4.1 Çelik Binalar İçin Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları [2]

ÇELİK BİNALAR	Süneklik Düzeyi	
	Normal	Yüksek
(1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	5	8
(2) Deprem yüklerinin tamamının kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar	4	6
(3) Deprem yüklerinin tamamının çarpazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
a) Çarpazların merkezi olması durumu	3	-
b) Çarpazların dışmerkez olması durumu	-	7
c) Betonarme perde durumu	4	6
(4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çarpazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
a) Çarpazların merkezi olması durumu	4	-
b) Çarpazların dışmerkez olması durumu	-	8
c) Betonarme perde durumu	4	7

Tablo 4.2 Davranış Katsayıları Tablosu [2]

BİNA TÜRÜ OLMAYAN ÇELİK YAPILAR İÇİN TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞ KATSAYILARI	R
Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler veya dışmerkez çarpazlı çelik perdeler tarafından taşınan yükseltilmiş sıvı tankları, basınçlı tanklar, bunkerler, hazneler	4
Süneklik düzeyi normal çerçeveler veya merkezi çarpazlı çelik perdeler tarafından taşınan yükseltilmiş sıvı tankları, basınçlı tanklar, bunkerler, hazneler	2
Kütlesi yüksekliği boyunca yayılı uzay kafes kirişli çelik kuleler, çelik silo ve endüstri bacaları	4
Gergili yüksek çelik direk ve gergili çelik bacalar	2
Kütlesi tepede yığılı, bağımsız tek bir düşey taşıyıcı tarafından taşınan ters sarkaç türü yapılar	2
Endüstri tipi çelik depolama ve istif rafları	4

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı: $R_d(T)$

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı: R

$$R_a(T)=1.5 + (R-1.5)T/ T_A.....(0 \leq T \leq T_A) \quad (4.1)$$

$$R_a(T)=R.....(T > T_A) \quad (4.2)$$

- Kirişsiz döşemeli betonarme sistemler ile, kolon ve kirişleri süneklik koşullarından herhangi birini sağlamayan dolgulu veya dolgusuz, dişli ve kaset döşemeli sistemler, süneklik düzeyi normal sistemler olarak gözönüne alınacaktır. Bu sistemler, binada perde kullanılmaması durumunda, sadece üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ve $H_N \leq 13m$ olmak koşulu ile yapılabilir.
 - Yatay yük taşıyıcı sistemlerinin iki yatay deprem doğrultusunda birbirinden farklı olması veya herhangi bir doğrultuda karma olarak kullanılması durumlarında, değeri en küçük olan R katsayısı her iki doğrultuda da tüm binaya uygulanacaktır.
 - Süneklik düzeyi normal betonarme sistemler ile süneklik düzeyi normal kiriş ve kolonlardan oluşan çelik çerçeveli sistemlerin, süneklik düzeyi yüksek perdelerle birarada kullanılması mümkündür. Bu şekilde oluşturulan süneklik düzeyi bakımından karma sistemlerde, aşağıda belirtilen koşullara uymak kaydıyla, süneklik düzeyi boşluksuz, bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler veya çelik binalar için dışmerkez çarpazlı çelik perdeler kullanılabilir.
- (a) Bu tür karma sistemlerin deprem hesabında çerçeveler ve perdeler birarada gözönüne alınacak, ancak her bir deprem doğrultusunda mutlaka $\alpha_M \geq 0.40$ olacaktır.
- (b) Her iki deprem doğrultusunda da $\alpha_M \geq 2/3$ olması durumunda, deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perde tarafından taşındığı durum için verilen R katsayısı ($R=R_{YP}$), taşıyıcı sistemin tümü için kullanılabilir.
- (c) $0.40 > \alpha_M > 2/3$ aralığında ise, her iki deprem doğrultusunda da taşıyıcı sistemin tümü için aşağıdaki bağıntı uygulanacaktır:

$$R=R_{NÇ}+1.5\alpha_M (R_{YP}-R_{NÇ}) \quad (4.4)$$

- Kolonları temelden ankastre ve üstten mafsallı tek katlı çerçevelerden oluşan betonarme prefabrike ve çelik binaların içinde tek asma kat yapılabilir. Ancak bu tür binaların deprem hesabında asma kat taşıyıcı sistemi, ana taşıyıcı sistemi, ana taşıyıcı çerçevelerle birlikte gözönüne alınacak ve bu sistem, betonarme prefabrike binalarda süneklik düzeyi yüksek sistem olarak düzenlenecektir.
- Bunun dışındaki, düğüm noktaları mafsallı çerçevelerden oluşan betonarme prefabrike ve çelik çok katlı binalarda, her iki yatay doğrultuda deprem yüklerinin tamamını almak üzere, yerinde dökme betonarme veya çarpazlı çelik perdeler kullanılacaktır.

4.3 Tasarım Kuralları

4.3.1 Eurocode 8

4.3.1.1 Tüm Yapılara İlişkin Detay Kurallar

(1) Basınca Çalışan Bölümler:

Basınca çalışan bölüm ve elemanlarda yeterli yerel sünekliğin sağlandığından emin olabilmek için, Eurocode 3'te belirlenen kesit sınıflarına göre, b/t (genişlik/kalınlık) oranlarına sınırlamalar getirilmiştir. Bu sınıflandırma, davranış faktörüne de sınırlamalar getirir.

Tablo 4.3 Enkesit Sınıflarına Göre Davranış Faktörü Limitleri [1]

Davranış faktörü q	Enkesit sınıfı
$4 < q$	Sınıf 1
$2 < q \leq 4$	Sınıf 2
$q \leq 2$	Sınıf 3

- Eurocode 3'e göre enkesit sınıfları:

Sınıf 1 Enkesitler: Plastik analizin gerektirdiği dönme kapasitesine sahip plastik mafsallı oluşturabilen enkesitler

Sınıf 2 Enkesitler: Plastik moment dayanımına ulaşabilen, ancak sınırlı dönme kapasitesine sahip enkesitler

Sınıf 3 Enkesitler: Çelik elemanın basınca en çok zorlanan lifinin akma sınır gerilmesine ulaştığı, ancak yerel burkulmanın plastik moment dayanımının gözlenmesini engelleme eğiliminde olduğu enkesitler

(2) Enerji Yutucu Bölümlerin Birleşimleri:

Enerji yutucu bölümlerin birleşimleri küt kaynaklar veya tam penetrasyonlu kaynaklar yardımıyla yapılmış ise, bu birleşimlerin dayanım kriterlerini sağladıkları kabul edilir.

Köşe kaynaklı veya bulonlu birleşimlerde ise, aşağıdaki şart sağlanmalıdır:

$$R_d \geq 1.20 R_{fy}$$

R_d : Birleşimin dayanımı

R_{fy} : Birleşen bölümlerin plastik dayanımı

(3) Çekmeye Çalışan Bölümler: Eurocode 3 geçerlidir.

(4) Temeller: Temeller üzerindeki yük etkilerinin dizayn değerleri (E_{Fd}) şöyle belirlenir:

$$E_{Fd} = 1.20 (E_{F,G} + \alpha E_{F,E}) \quad (4.5)$$

$E_{F,G}$: deprem yüklemesi durumunda, deprem yükünün dışındaki yüklere bağlı olan yük etkisi

$E_{F,E}$: önem faktörüyle çarpılmış deprem yüküne bağlı olan yük etkisi

α : sözkonusu E_F etkisi altında yapının en büyük etki alan enerji yutucu bölge ya da elemanı olan i 'nin (R_{di} / S_{di}) oranı

$$\alpha = R_{di} / S_{di}$$

R_{di} : enerji yutucu bölge ya da eleman i 'nin dizayn dayanımı (Eurocode 3)

S_{di} : deprem yüküne göre hesapta, bölge ya da eleman i 'ye gelen yük etkisinin dizayn değeri

4.3.1.2 Dizayn Kriterleri

- Enerji yutucu bölgelerde oluşan akma, yerel burkulma gibi olgular yapının tüm stabilitesini etkilemektedir.
- Enerji yutucu bölgelerin yapısal bölümleri yeterli süneklik ve dayanıma sahip olmalıdır. Dayanımın belirlenmesinde Eurocode 3'te verilen kurallar geçerlidir.
- Enerji yutucu yapıların enerji yutucu olmayan bölümleri ve enerji yutucu bölümlerinin diğer bölümlere birleşimleri, çevrimsel akmaların gelişmesine (enerji yutucu bölümlerde) karşı yeterli dayanıma sahip olmalıdır.

4.3.1.3 Moment Aktaran Çerçeveye İlişkin Detay Kurallar

(1) Özel Kriterler:

- Moment aktaran çerçeveler, plastik mafsallar kolonlarda değil, kirişlerde oluşacak şekilde dizayn edilmelidirler. Bu kuraldan, çerçeve çubuklarının temellerinde, çok katlı yapıların en üst katında ve tek katlı yapılarda vazgeçilebilir.
- Kiriş-kolon düğüm noktaları, kirişlerde oluşan plastik mafsalları kaldırabilecek dayanımda olmalıdır.

(2) Kirişler:

- Kirişler, bir uçlarında plastik moment oluştuğu kabulüne göre, yanal burkulma ve burulma etkilerine karşı yeterli güvenlikle, Eurocode 3'teki kurallara uygun olarak dizayn edilirler.
- Kirişlerdeki plastik mafsallar için, basınç ve kesme kuvvetleri etkisiyle tümüyle plastikleşme moment dayanımı ve dönme kapasitesinin azalmadığı tahkik edilmelidir. Bunun için plastik mafsallarda oluşacak kesitlerde aşağıdaki eşitsizlikler sağlanmalıdır:

$$M_{Sd} / M_{pl,Rd} \leq 1.0 \quad N_{Sd} / N_{pl,Rd} \leq 0.15 \quad (V_{G,Sd} + V_{M,Sd}) / V_{pl,Rd} \leq 0.5$$

N_{Sd} M_{Sd} : yapısal analizde elde edilen dizayn yük etkileri

$N_{pl,Rd}$, $M_{pl,Rd}$, $V_{pl,Rd}$: dizayn dayanımları (Eurocode 3)

$V_{G,Sd}$: depreme bağı olmayan kesme kuvveti

$V_{M,Sd}$: kirişin A ve B uçlarındaki $M_{Rd,A}$ ve $M_{Rd,B}$ dayanım momentlerinin zıt işaretli olarak uygulanmasından doğan kesme kuvveti

(3) Kolonlar:

- Kolonların hesabında aksel kuvvet N ve eğilme momentleri M_x , M_y dikkate alınarak, en elverişsiz yükleme gözönünde bulundurulur.
- Kolonlarda bitişik enkesitlerdeki eğilme momenti dizayn değerleri toplamı, kolona o noktada bağlanan kirişlerdeki dayanım momentlerinin (M_{Rd}) toplamından büyük olmalıdır.
- Kolonların dayanımının tahkiki ve kuvvetlerin kirişlerden kolonlara geçişi Eurocode 3'teki esaslara göre belirlenir.
- Kolonların temellere bileşiminin hesabında, çerçeve çubuklarının taban ucundaki dizayn eğilme momentleri şöyle alınır:

$$M_{Sd} = M_{Sd,G} + 1.2M_{Sd,E} \quad (4.6)$$

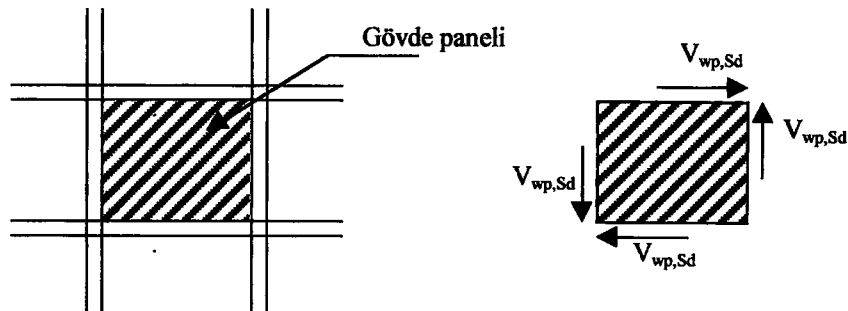
$M_{Sd,G}$: deprem yüklemesinde yeralan deprem dışı yüklere bağlı olan eğilme momenti

$M_{Sd,E}$: önem faktörü ile çarpılmış deprem yükünden kaynaklanan eğilme momenti

- Yapısal analiz sonucunda elde edilen kolon kesme kuvveti V_{Sd} şu şekilde sınırlandırılır:

$$V_{Sd} / V_{pl,Rd} \leq 0.5$$

- Kiriş-kolon birleşimindeki gövde panelleri (Şekil 4.9):



Şekil 4.9

$$V_{wp,Sd} / V_{wp,Rd} \leq 1.0$$

$V_{wp,Sd}$: Gövde panelinde yük etkilerine dayanan dizayn kesme kuvveti

$V_{wp,Rd}$: Gövde panelinin kesme dayanımı (Eurocode 3)

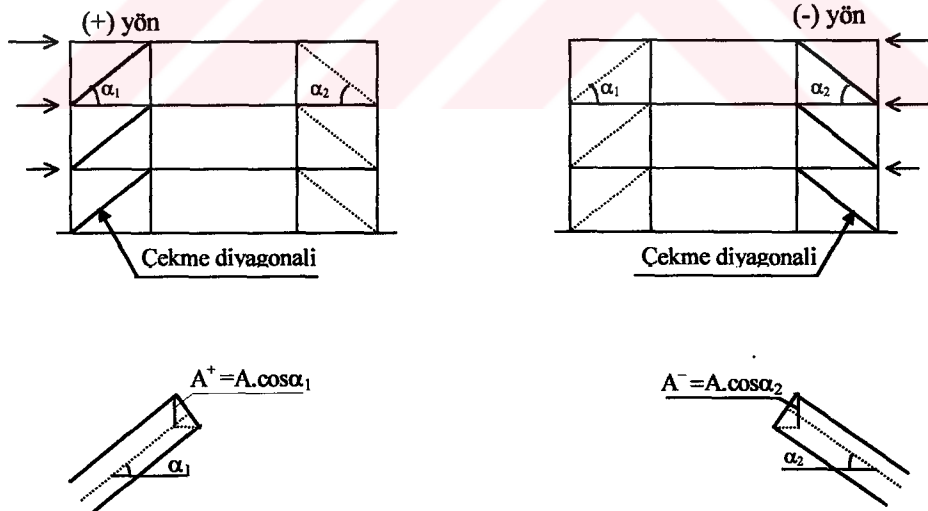
(4) Kirişlerin Kolonlara Birleşimi:

Gözönüne alınan $M_{pl,Rd}$ moment dayanımı ve $(V_{G,Sd} + V_{M,Sd})$ kesme kuvvetlerine uygun bir dayanıma sahip olmalıdır.

4.3.1.4 Merkezi Çarpazlara İlişkin Detay Kurallar

(1) Özel Kriterler:

- Merkezi çarpazlarda, çekmeye çalışan diagonallerdeki akma, kiriş ve kolonlardaki akma veya burkulma ya da birleşimlerin bozulmasından önce oluşmalıdır.
- Çarpaz bağların her diagonal elemanı, çevrimsel yön değiştiren yükler altında, her katta ve her çarpaz doğrultusunda benzer şekil değiştirme özellikleri göstermelidir. Bunun için aşağıdaki şart sağlanmalıdır (Şekil 4.10) :



Şekil 4.10

$$|A^+ - A^-| / (A^+ + A^-) \leq 0.05 \quad (4.7)$$

A^+ , A^- : depremyükü sırasıyla + ve – yönden gelirken, yatay projeksiyon altında çekme diagonallerinin enkesitlerinin alanları

(2) Çarpraz Elemanlar:

- Elastik burkulmayı önlemek için, boyutsuz narinlik (Eurocode 3) sınırlandırılır:

$$\overline{\lambda} \leq 1.5$$

- Çekme kuvveti N_{sd} , bütün enkesitin akma dayanımından küçük olmalıdır.

$$N_{sd} \leq N_{pL,Rd}$$

- V çarprazlarında basınç alan diagonallerin dizaynı Eurocode 3'e göre yapılır.
- Diagonallerin herhangi bir elemana birleşimi tümüyle dayanım şartlarını sağlamalıdır.

$$R_d \geq 1.20 N_{pL,Rd}$$

$N_{pL,Rd}$: Basınç ve çekmede diagonalin aksenal dayanımı

(3) Kirişler ve Kolonlar:

- Kirişler ve kolonlar, aksenal yükler altında, aşağıdaki minimum dayanım şartını sağlamalıdır:

$$N_{Rd}(M) \geq 1.20 (N_{sd,G} + N_{sd,E})$$

$N_{Rd}(M)$: kiriş ya da kolonun burkulma dayanımı (Eurocode 3)

$N_{sd,G}$: deprem yükleme kombinasyonunda yer alan deprem dışı yüklere bağlı olarak kiriş veya kolonda oluşan aksenal kuvvet

$N_{sd,E}$: önem faktörüyle çarpılmış dizayn deprem yüküne bağlı olarak kiriş veya kolondaki aksenal kuvvet

$$\alpha = (\alpha_i = N_{pL,Rdi} / N_{sdi})_{\min}$$

Çarpraz stabilite bağlantısındaki bütün diagonaller arsından minimum değer seçilir.

$N_{pL,Rdi}$: diagonal i'nin dizayn dayanımı

N_{sdi} : diagonal i'ye deprem yüklemesinden gelen aksenal kuvvetin dizayn değeri

- V çarprazlarında, kirişler, diagonaller tarafından ortalarından verilen destek hesaba katılmaksızın, tüm deprem dışı yüklere dayanacak şekilde dizayn edilebilirler.

4.3.1.5 Dışmerkez Çarprazlarına İlişkin Detay Kurallar

(1) Özel Kriterler:

- Dışmerkez çarprazlar, kirişlerin, plastik eğilme ve plastik kesme mekanizmalarının oluşumuyla enerjiyi yutacakları gözönünde bulundurularak dizayn edilir.
- Kirişlerin plastik mafsallarda veya kesme panellerinde akma oluşması olayı, diğer yerlerdeki akma veya göçmelerden önce gerçekleşmelidir.

(2) Kirişler:

Kirişlerin çerçevelenmiş gövde panellerinde, plastik kesme mekanizmasının oluşmasıyla enerjinin yutulabilmesi için aşağıda şartlar sağlanmalıdır:

$$V_{sd} / V_{wp,Rd} \leq 1.0 \quad M_{sd} / M_{pl,Rd} \leq 0.70 \quad N_{sd} / N_{pl,Rd} \leq 0.15$$

(3) Kolonlar ve Diyagonaller:

En elverişsiz eksenel kuvvet ve eğilme momentleri kombinasyonu gözönüne alındığında, basınçta çalışan kolon ve diyagonaller aşağıdaki şartı sağlamalıdır:

$$N_{Rd}(M_{sd}, V_{sd}) \geq 1.20 (N_{sd,G} + \alpha N_{sd,E})$$

$N_{Rd}(M_{sd}, V_{sd})$: kolonun ya da diyagonalin eksenel kuvvet dizayn dayanımı (EN3)

$N_{sd,G}$: deprem yüklemesi kombinasyonunda yeralan deprem dışı yüklere bağlı olarak, kolon veya diyagonalde oluşan basınç kuvveti

$N_{sd,E}$: önem faktörü ile çarpılmış deprem yüküne bağlı olarak, kolon veya diyagonalde oluşan basınç kuvveti

$$\alpha = (\alpha_i = V_{pl,Rdi} / V_{sdi}, \alpha_i = M_{pl,Rdi} / M_{sdi})_{\min}$$

Çarpraz stabilite bağındaki bütün enerji yutucu bölgeler arasından minimum değer seçilir.

$V_{pl,Rdi}$: kirişin plastik bölümü i 'de kesme dizayn dayanımı

V_{sdi} : deprem yüklemesi altında kirişin plastik bölgesi i 'deki kesme kuvvetinin dizayn değeri

$M_{pl,Rdi}$: kirişin plastik bölümü i 'de eğilme momenti dizayn dayanımı

M_{Sdi} : deprem yüklemesi altında kirişin plastik bölgesi i'deki eğilme momentinin dizayn değeri

4.3.1.6 Konsol veya Ters Sarkaç Yapılara İlişkin Detay Kurallar

- Eurocode 3'teki kurallar gereği boyutsuz narinlik sınırlandırılır.

$$\bar{\lambda} \leq 1.5$$

- Kolonun katlararası göresel yerdeğiştirme hassaslık katsayısı sınırlandırılır.

$$\theta \leq 0.20$$

- Kolonun temele bağlandığı taban birleşiminin M_{Rd} dayanımı için:

$$M_{Rd} \geq 1.20 M_{pl,Rd} (1 - N_{Sd} / N_{pl,Rd})$$

4.3.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

4.3.2.1 Dizayn Kriterleri

Türk Deprem Yönetmeliği'nde taşıyıcı sistem elemanlarının kesit hesabının emniyet gerilmeleri yöntemi veya taşıma gücü yöntemine göre yapılabileceği belirtilmektedir. Ancak sadece çerçevelerden oluşan yatay yük taşıyıcı sistemlerde, taşıma gücü yöntemi en fazla iki katlı binalara kadar geçerlidir.

Emniyet gerilmeleri yönteminde deprem durumu için $\sigma_{em}^{(HZ)} = 1.33 \sigma_{em}^{(H)}$ olacaktır. Yani yükleme durumu 2 için izin verilen %15'lik emniyet gerilmeleri artımı %33'e çıkarılmaktadır. Taşıma gücü yönteminde ise yük katsayıları ilk bölümde anlatıldığı gibi

$$1G + 1Q \pm 1E \quad \text{ve} \quad 0.9 G \pm 1E$$

şeklinde alınacak, ayrıca çelik akma sınırına uygulanacak güvenlik katsayısı 1.15 ve beton karakteristik basınç dayanımına uygulanacak malzeme güvenlik katsayısı da 1.5 olacaktır. Tüm deprem bölgelerinde kaynak emniyet gerilmesi veya taşıma gücü %25 oranında azaltılmalıdır.

Kesit hesapları emniyet gerilmeleri yöntemi ile yapılsa bile, tüm çerçeve elemanlarında “başlık genişliği/kalınlığı” ve “gövde derinliği/kalınlığı” oranları için TS4561’de verilen koşullara uyulmalıdır. Böylelikle yerel burkulma, akma ve buruşma gibi olayların gelişimi engellenir.

Kolon, kiriş ve diğer taşıyıcı sistem elemanları, üzerlerine gelen moment, eksenel ve kesme kuvvetlerine göre yeterli dayanımda olmalıdırlar.

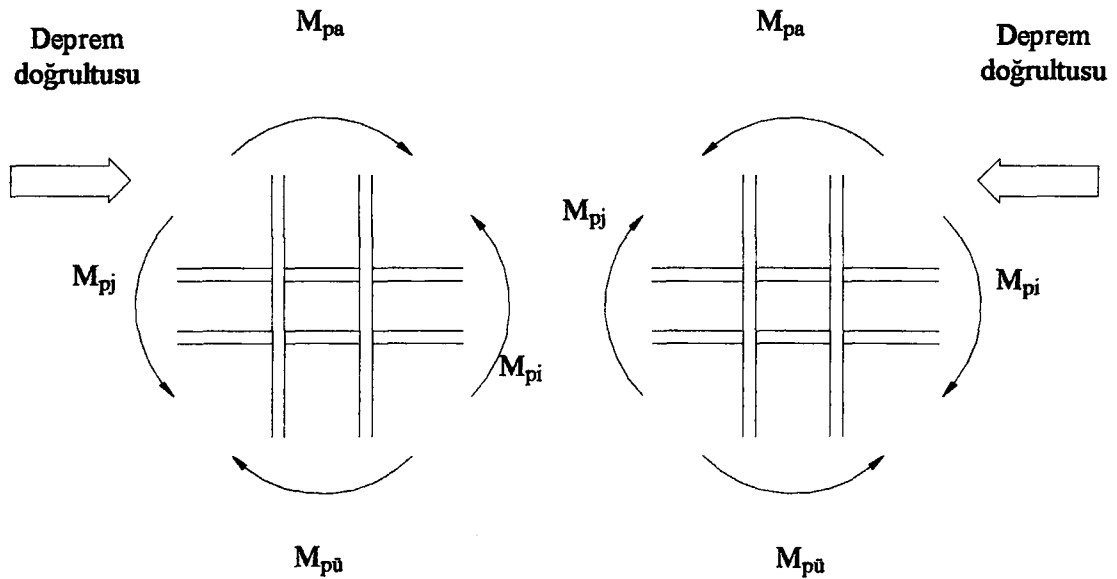
4.3.2.2 Moment Aktaran Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeveye İlişkin Kurallar

***Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulu:**

Çerçeve türü sistemlerde veya perdeli-çerçeve sistemlerin çerçevelerinde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda her bir kolon - kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların plastikleşme momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin plastikleşme momentleri toplamından daha büyük olacaktır. (Şekil 4.11)

$$(M_{pa} + M_{pu}) \geq (M_{pi} + M_{pj}) \quad (4.9)$$

- M_{pa} = Kolonun alt ucunda hesaplanan plastikleşme momenti
- M_{pi} = Kirişin sol ucu i’de hesaplanan pozitif veya negatif plastikleşme momenti
- M_{pj} = Kirişin sağ ucu j’de hesaplanan negatif veya pozitif plastikleşme momenti
- M_{pu} = Kolonun üst ucunda hesaplanan plastikleşme momenti



Şekil 4.11

Bu eşitsizlik, depremin her iki yönü için elverişsiz sonuç verecek şekilde ayrı ayrı uygulanacaktır. Kolon plastikleşme momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en küçük yapan tasarım eksenel kuvvetleri gözönüne alınacaktır. Tek katlı binalarda ve çok katlı binaların en üst katındaki düğüm noktalarında eşitsizliğin sağlanıp sağlanmadığına bakılmayacaktır.

***Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulunun Bazı Kolonlarda Sağlanamaması Durumu:** Sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın herhangi bir i'inci katında, aşağıdaki eşitsizliğin sağlanması koşulu ile, ilgili katın alt ve/veya üstündeki bazı düğüm noktalarında Denk.(4.9)'un sağlanamamış olmasına izin verilebilir.

$$\alpha_i = V_{is} / V_{ik} \geq 0.70 \quad (4.10)$$

V_{ik} = Çerçeve veya perdeli-çerçeve sistemlerin çerçevelerinde, binanın i'inci katındaki tüm kolonlarda gözönüne alınan deprem doğrultusunda hesaplanan kesme kuvvetlerinin toplamı

V_{is} = Çerçeve veya perdeli-çerçeve sistemlerin çerçevelerinde, binanın i'inci katında Denk.(4.9)'un hem alttaki hem de üstteki düğüm noktalarında sağlandığı kolonlarda, gözönüne alınan deprem doğrultusunda hesaplanan kesme kuvvetlerinin toplamı

α_i = Herhangi bir i'inci katta hesaplanan V_{is} / V_{ik} oranı

Bu durumda, $0.70 < \alpha_i < 1.00$ aralığında, kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun hem alttaki, hem de üstteki düğüm noktalarında sağlandığı kolonlara etkiyen eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri $(1/\alpha_i)$ oranı ile çarpılarak arttırılacaktır.

Herhangi bir katta Denk.(4.9)'un sağlanamaması durumunda, sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerdeki tüm çerçeveler süneklik düzeyi normal çerçeve olarak gözönüne alınacaktır.

4.3.2.3 Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çaprazlı Perdelere İlişkin Kurallar

Süneklik düzeyi yüksek çelik çaprazlı perdeler; kolonlar, kirişler ve düğüm noktalarına dışmerkez olarak bağlanan çapraz örgü çubuklarından oluşan yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Bu elemanlara uygulanacak koşullar şunlardır:

- Örgü çubuklarının kolon-kiriş birleşim noktasına ya da iki örgü çubuğunun bir kiriş üzerindeki ortak birleşim noktasına göre dışmerkezliği, perde kolonları arasındaki açıklığın 1/5'i ile 1/10'u arasında seçilecektir. Dışmerkez örgü çubuklarının kirişle birleşme noktalarında, kirişin yanal burkulmasının ve ayrıca yerel burkulmaların önlenmesi için gerekli önlemler alınacaktır.
- Örgü çubuklarının kolonlara bağlandığı çaprazlı perdelerde, bağlantı kolon kesitinin başlığına yapılacaktır. Kolon gövdesine bağlantı yapılamaz.
- Basınç kuvveti de alacak şekilde hesaplanan örgü çubuklarının narinlik oranı 100'den fazla olamaz.
- Birden çok parçalı olup basınç kuvveti de alan örgü çubuklarında, TS-648'in ara bağlantılara ilişkin tüm kuralları geçerlidir.

4.3.2.4 Süneklik Düzeyi Normal Çerçevelere İlişkin Kurallar

- Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerde de ek ve birleşimler kurallara uygun olarak yapılmalıdır.
- Süneklik düzeyi normal çerçevelerde ek ve birleşimlerin hesabında, deprem analizine göre bulunan iç kuvvetlerin iki katı kullanılacaktır.

4.3.2.5 Süneklik Düzeyi Normal Çelik Çaprazlı Perdelere İlişkin Kurallar

Süneklik düzeyi normal çelik çaprazlı perdeler; kolonlar, kirişler ve düğüm noktalarına merkezi olarak bağlanan çapraz örgü çubuklarından oluşan yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Bu elemanlara uygulanacak koşullar şunlardır:

- Çaprazların sadece çekmeye çalışmak üzere hesaplanması durumunda, çapraz örgü çubuklarının narinlik oranı 250'yi aşmayacaktır.

- Basınç kuvveti de alacak şekilde hesaplanan örgü çubuklarının narinlik oranı 100'den fazla olamaz.
- Birden çok parçalı olup basınç kuvveti de alan örgü çubuklarında, TS-648'in ara bağlantılara ilişkin tüm kuralları geçerlidir.

4.3.2.6 Ek ve Birleşimlere İlişkin Kurallar

- Çerçevelerin kolon-kiriş birleşimlerinde kolon sürekli olacaktır. Kirişin kolon kesitinin başlığına bağlanması durumunda kolon gövdesi kiriş başlığı seviyesinde berkitme levhaları ile güçlendirilecektir.
- Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerde birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, eğilme aktaran birleşim ve eklerde kaba bulon kullanılamaz. Ancak, öngermeli olarak kullanılan yüksek dayanımlı bulonlar ve ankraj bulonları bu kısıtlamanın dışındadır. Yüksek dayanımlı bulonlar ISO 8.8 veya 10.9 kalitesinde olacaktır.
- Kolon ekleri, kolon-kiriş birleşim yerinden en az kat yüksekliğinin 1/4'ü kadar uzakta yapılacaktır. Eklerin küt kaynakla yapılması durumunda, kaynak ağzı açılacak ve derin penetrasyonlu kaynak kullanılacaktır.
- Köşe kaynaklı ya da öngermesiz bulonlu kolon-kiriş birleşimlerinin yük aktarma gücü, birleşime bağlanan elemanın taşıma gücünün 1.20 katından daha az olamaz. Diğer tür kolon-kiriş birleşimlerinde, birleşimin yük aktarma gücü, birleşime bağlanan elemanın kendi taşıma gücünden hiçbir zaman daha az olamaz.
- Kiriş ekleri, kolon-kiriş birleşim yerinden en az kiriş yüksekliği kadar uzakta yapılacaktır.
- Örgü çubuklarının birleşimlerinde kaba bulon kullanılması durumunda, bulonların emniyet gerilmeleri %33 azaltılacaktır.

4.4 Genel Karşılaştırma

İlk bölümde, yapının, elemanlarının sünek davranışlarından ve plastik mekanizmaların oluşmasından kaynaklanan non- lineer dayanımını da hesaba katmak üzere elastik ivme spektrumundan elde edilen deprem etkisinin bir davranış faktörü ile azaltıldığı görülmüştü.

Eurocode 8'de elastik karşılık spektrumunu ifade eden denklemler q davranış faktörüne bölünür ve azaltılmış dizayn spektrum denklemleri elde edilir. Buna göre $q>1$ ise malzemenin non-lineer dayanımı hesaba katılmaktadır ve yapısal elemanlar üzerinde enerji yutucu (sünekliğin toplandığı) bölgeler bulunmaktadır. Eğer $q=1$ ise malzemenin non-lineer dayanımı hesaba katılmıyor demektir, yani taşıyıcı sistem sünek özellik göstermez. Davranış faktörü değerleri, taşıma gücü yöntemine göre ilk plastik mafsallın olduğu elemanda enerji yutuculuk özelliğinin toplandığı kabulüyle ve bu andaki yükün göçme sınır yüküne oranına göre bulunur (α_w/α_1). Eurocode 8'de çeşitli taşıyıcı sistem tipleri için tanımlanan q davranış faktörleri Türk Deprem Yönetmeliği'ndekilere göre %10-30 oranında daha az, yani daha emniyetli taraftadırlar. Ayrıca yapıda boykesitte düzensizlik olması durumunda bu q değerleri %20 oranında azaltılır ve çelik eleman enkesit tiplerine göre de davranış faktörü değerlerine kısıtlamalar getirilir.

Türk Deprem Yönetmeliği'nde ise, tüm deprem kuşaklarındaki yapılar için, deprem yükü bir R taşıyıcı sistem davranış katsayısına bölünür. Süneklik düzeyi normal yapılarda dahi, enerji yutuculuk özelliğinin toplandığı elemanlar olmamasına rağmen $R=3\ll4$ gibi davranış katsayısı değerleri önerilmiş ve deprem yükü azaltılmıştır. Buna karşılık birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde süneklik düzeyi yüksek sistemlerin kullanılması şart koşulmuştur.

Eurocode 8 ve ABYYHY'te taşıyıcı sistem elemanları için verilen sünek tasarım kuralları arasında da farklılıklar göze çarpmaktadır. Eurocode 8 kesitlerde taşıma gücü hesabını esas alarak, elemanlarda plastik mafsall oluştuğunda plastikleşme moment dayanımı ve dönme kapasitesinin azalmamasını garanti etmek üzere iç kuvvetlere sınırlamalar getirir. Ayrıca kolonlardaki, kiriş-kolon birleşimlerinin gövde panellerindeki kesme kuvvetlerinin tahkiki istenir. Enerji yutuculuğun toplandığı kabul edilen bölgelerde (örneğin merkezi çaprazların çekme diyagonallerinde)

akmanın önce oluşmasını sağlayacak şekilde taşıyıcı sistem elemanları boyutlandırılır.

Türk Deprem Yönetmeliği'nde ise, sadece sünek çerçevelerde kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu vardır. Diğer elemanlar için plastik dayanım ve mekanizma oluşma şartlarından bahsedilmez. Süneklik düzeyi yüksek kabul edilen dışmerkez çelik çaprazlı perdelerde dışmerkezlik, açıklığın 1/5'i ile 1/10'u arasında olacak şekilde sınırlandırılır. Tüm çelik çaprazlı perdelerde burkulmayla stabilitenin bozulmasını önlemek için narinlik basınç diyagonallerinde en fazla 100, çekme diyagonallerinde ise en fazla 250 olmalıdır.

Her iki yönetmelikte de ek ve birleşimler için benzer tasarım kuralları verilmektedir. Örneğin; sünek elemanların köşe kaynaklı ve öngermesiz bulonlu birleşimlerinde, birleşimin yük aktarma gücü, birleşime bağlanan elemanın taşıma gücünün 1,20 katından daha az olamaz. Eurocode 8 küt kaynaklı ve tam penetrasyonlu kaynaklar ile oluşturulmuş birleşimlerin dayanım kriterlerini sağladığını kabul eder. ABYYHY ise, tüm deprem bölgelerinde kaynak emniyet gerilmesini %25 oranında azaltır. Örgü çubuklarının birleşimlerinde kaba bulon kullanılması durumunda bulonların emniyet gerilmelerini ise %33 oranında azaltır. Her iki yönetmelik de sünek elemanların birleşimlerinde yüksek mukavemetli öngerilmeli bulonların kullanılmasını şart koşturmaktadır.

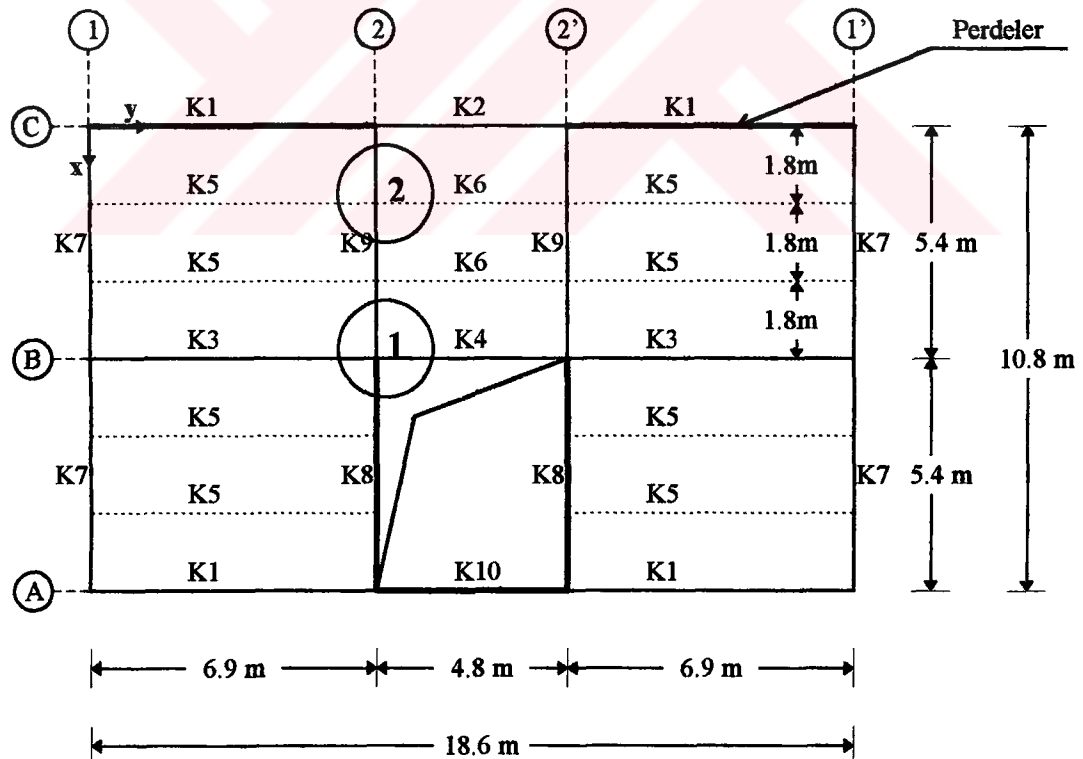
5 ÖRNEK YAPININ KARŞILAŞTIRMALI DEPREM ANALİZİ

Bu bölümde örnek bir yapı üzerinde eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanarak, Eurocode 8 ile Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik arasındaki farklar irdelenecektir.

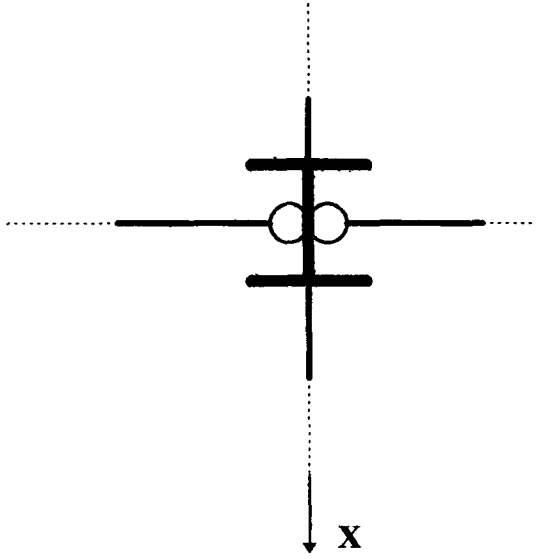
5.1 Giriş

5.1.1 Yapının Tanıtılması

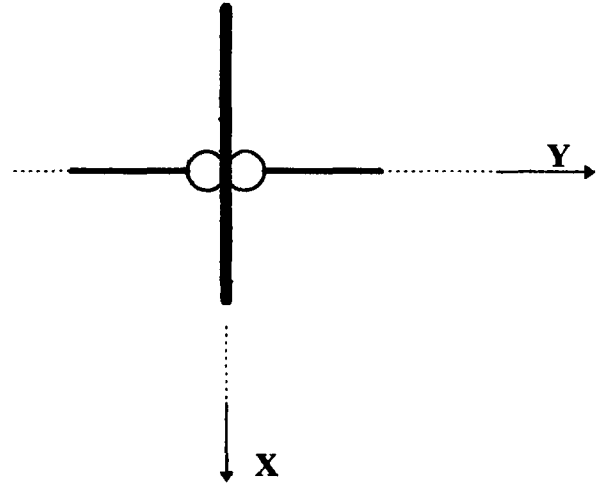
Yapımız 200.88 m² (10.8 m*18.6 m) alanlı, 3 katlı bir mağazadır. Bir katın yüksekliği 3.5 metredir. (Şekil 5.1)



Şekil 5.1 Yapının Planı

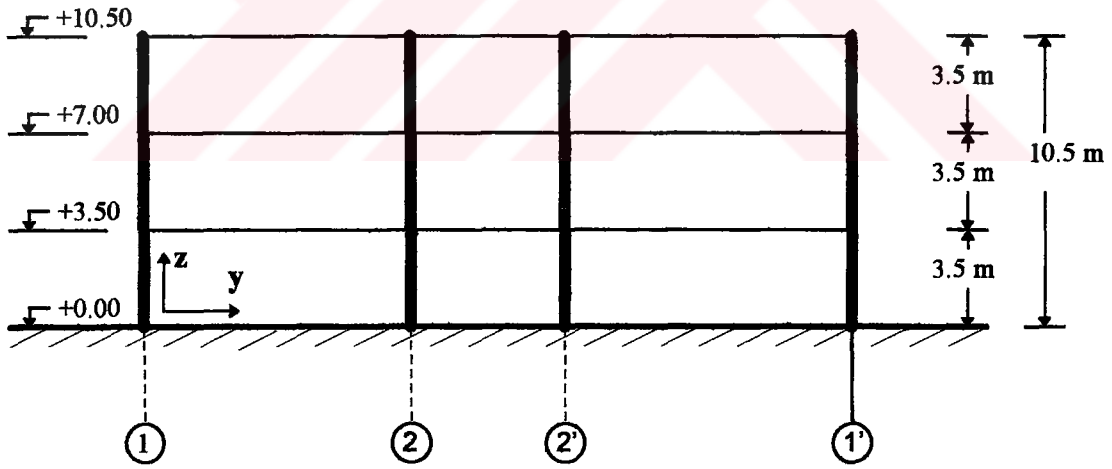


Şekil 5.2 Düğüm Noktası Detayı 1



Şekil 5.3 Düğüm Noktası Detayı 2

Çelik I ve IPB profillerden oluşan bir taşıyıcı sistem ve her katta rijit diyafram olarak çalışan $h_f=15$ cm. kalınlığında betonarme döşemelerden oluşmuştur. Taşıyıcı sistemin çelik elemanlarında malzeme ST37, betonarme döşemede beton BS20 ve donatı BÇI kalitesindedir.



Şekil 5.4 Bina'nın Enkesiti (B-B Aksı)

Çatı 3. kat (+10.50 kotu) döşemesi üzerine oturmaktadır. (Şekil 5.4)

Şekil 5.1'de x-x global eksenini olarak gösterilen bina'nın kısa doğrultusunda iki açıklıklı olarak düzenlenen 4 adet çerçeve, uzun doğrultu (y-y) boyunca basit kirişlerle düğüm noktalarından birbirlerine bağlanmaktadır. Yani binaya x-x doğrultusunda

gelen yatay yükler çerçeve ve perdeler, y-y doğrultusunda gelen yatay yükler ise sadece perdeler tarafından karşılanmaktadır. Perdeler merdiven çevresindeki kör duvarlar boyunca ve C-C aksında iki dış cephe gözü boyunca düzenlenmiştir. 12 adet kolon temele ankastre olarak bağlanmaktadır. Kolon profillerinin kuvvetli eksenleri, çerçeve çalışmasına katıldıkları x-x doğrultusundadır. (Şekil 5.1)

Aks aralıkları fazla olduğundan betonarme döşemeyi taşımak üzere her bölümde 2 adet tali kiriş, eşit aralıklı ve basit kiriş olarak düzenlenmiştir. Betonarme döşemeye gelen yükler tali kirişlere, oradan da tekil yükler olarak iki açıklıkta sürekli çerçeve kirişlerine aktarılmaktadırlar. (Şekil 5.2 ve 5.3)

SAP90 bilgisayar programı ile yapının üç boyutlu analizi sırasında Şekil 5.1 ve 5.4'de gösterilen x,y,z global eksenleri ve aks isimlendirmesi kullanılacaktır.

5.1.2 Düşey Yük Analizi

1. ve 2. Kat Döşemelerinde:

Sabit Yükler:

15 cm betonarme plak $0.15 \times 24 = 3.6 \text{ kN/m}^2$

Kaplama (2 cm cam fayans) $= 0.5 \text{ kN/m}^2$

Sıva (3 cm kireç + çimento harcı) $= 0.6 \text{ kN/m}^2$

$g = 4.7 \text{ kN/m}^2$

Değişken Yükler: Mağazalarda (TS498) $q = 5 \text{ kN/m}^2$

$p = 9.7 \text{ kN/m}^2$

Net Kat Yüksekliği: $h_{\text{net}} = 3.50 - 0.2 = 3.30 \text{ m}$

Duvarlar (yarım tuğla): $2 \text{ kN/m}^2 \times 3.30 \text{ m} = 6.6 \text{ kN/m}$

Çatı Katı Döşemesinde:

Sabit Yükler:

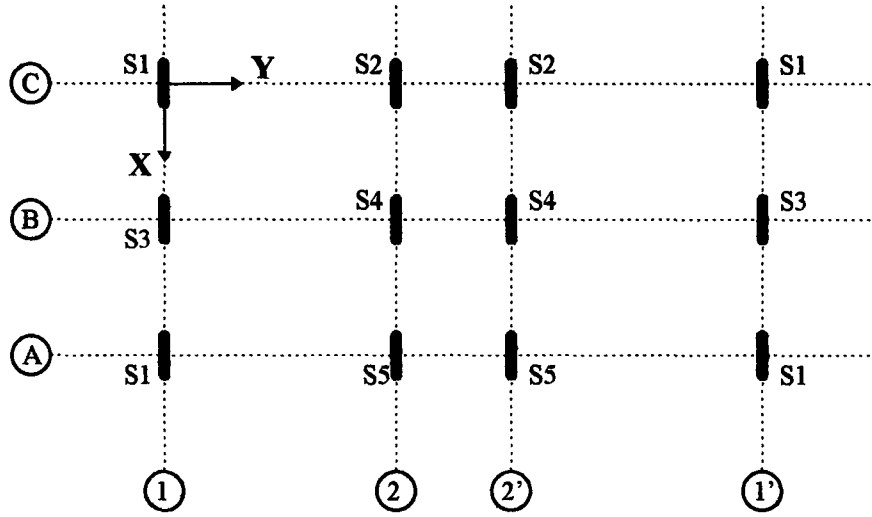
Çatı örtüsü (1 cm.'lik marsilya tipi kiremit + makas)		= 1 kN/m ²
Tesviye betonu	0.02*21	= 0.42 kN/m ²
Isı izolasyonu (3 cm.'lik)	3* 0.015	= 0.045 kN/m ²
Betonarme plak		= 3.6 kN/m ²
Sıva (3 cm kireç + çimento harcı)		= 0.6 kN/m ²
		$g = 5.665 \text{ kN/m}^2$
Değişken Yük : Kar Yüğü		$p_k = 0.75 \text{ kN/m}^2$
		$p = 6.415 \text{ kN/m}^2$
Parapet (40 cm):	$2 \text{ kN/m}^2 * 0.40$	= 0.8 kN/m

5.2 Düşey Yüklere Göre Çözüm ve Yapının Boyutlandırılması

Yapı öncelikle sabit yükler ve değişken yüklerden oluşan düşey yükler altında SAP90 bilgisayar programı yardımıyla analiz edilecek ve kesit hesapları "Emniyet Gerilmeleri Yöntemi"ne göre yapılarak, boyutlandırılacaktır.

İlk olarak perde diyagonalleri hiç düşünülmeden taşıyıcı sistem elemanları kirişler, kolonlar ve tali kirişlerin döşemeden gelen düşey yüklere göre yaklaşık ön boyutlandırılması yapılmıştır. Bu ön boyutlama esnasında, yapının Y yönündeki uzun boyunda tüm ana kirişler ve tüm tali kirişler iki ucundan mafsallı basit kirişler olarak hesaplanmış ve sehim kontrolleri yapılmıştır. X yönündeki kısa eninde uzanan iki açıklıkta sürekli çerçeve kirişleri de basit kiriş gibi ele alınarak hesaplanmış, üzerlerinde kendi ağırlıklarından ve duvarlardan gelen yayılı yüklerle, iki adet döşeme kirişinden gelen iki tekil yükün bulunduğu düşünülmüştür. Duvarlar yapının dış

cephelerinde çevre boyunca ve iç kısımda merdiven boşluğunun üç kenarı boyunca yer almaktadırlar.



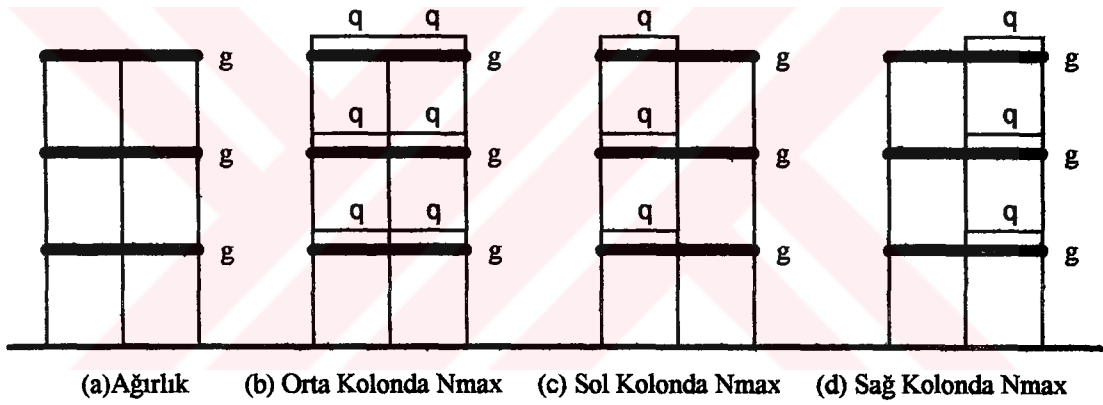
Şekil 5.5 Kolon Yerleşim Planı

Kolonlar da kendi paylarına düşen döşeme alanlarında yük aldıkları kabulüyle boyutlandırılmışlardır. Burkulma boyları kat yüksekliği olarak alınmıştır. Bu ön boyutlama sonunda, Şekil 5.1’de gösterilen kirişler ve Şekil 5.5’de gösterilen kolonlar için seçilen kesitler Tablo 5.1’de verilmiştir.

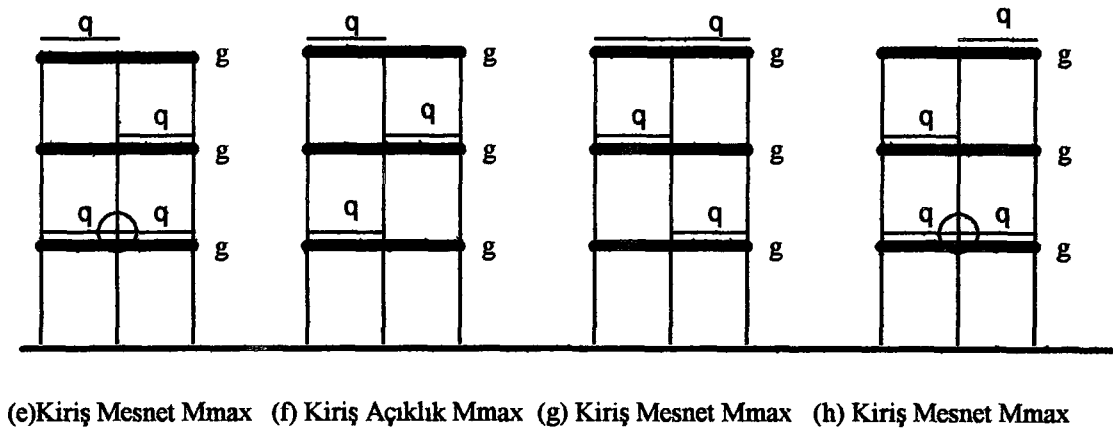
Tablo 5.1 Ön Boyutlamada Seçilen Kesitler

Elemanın			Kirişler			Kolonlar			W
Adı	Adet	Boyu (m)	1.Kat	2.Kat	3.Kat	1.Kat	2.Kat	3.Kat	(kN)
K1	4	6.9	I320	I320	I260				45.29
K2	1	4.8	I240	I240	I200				4.74
K3	2	6.9	I360	I360	I300				28.51
K4	1	4.8	I340	I340	I320				9.47
K5	8	6.9	I320	I320	I300				97.37
K6	2	4.8	I260	I260	I220				11.03
K7	4	5.4	I360	I360	I300				44.63
K8	2	5.4	I360	I360	I300				22.31
K9	2	5.4	I380	I380	I360				26.37
K10	1	4.8	I340	I340	I320				9.47
S1	4	3.5				IPB160	IPB160	IPB140	17.67
S2	2	3.5				IPB200	IPB180	IPB140	10.58
S3	2	3.5				IPB200	IPB160	IPB140	10.17
S4	2	3.5				IPB240	IPB200	IPB160	13.87
S5	2	3.5				IPB200	IPB180	IPB140	10.58
Toplam Ağırlık =									362.06
Sadece Tali Döşeme Kirişlerinin Toplam Ağırlığı =									108.4

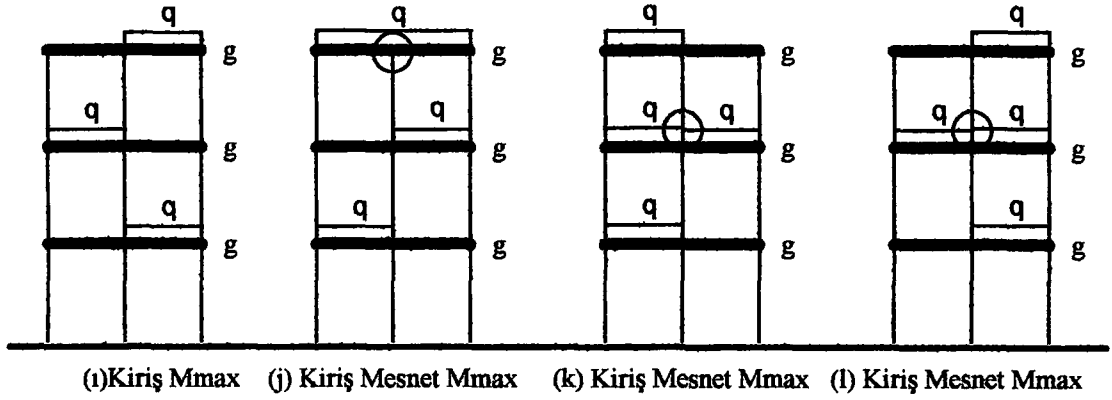
Yapı, ön boyutlama ile seçilen eleman kesitleri kullanılarak, tüm gerçek mesnetlenme durumları dikkate alınarak ve döşeme rijit diyafram olarak kabul edilerek, ancak tali kirişler verilmeden SAP90 programı içinde tanımlanmıştır. Tali kirişlerin, döşemenin yüklerini çerçeve kirişlerine aktarmak dışında taşıyıcı sisteme bir etkileri olmadığı için, sadece ağırlıklarının çerçeve kirişlerine etkiyen tekil yüklere katılması yeterlidir. Tali kirişler zaten basit kiriş olarak ve sehim kontrolleri yapılarak ön boyutlama esnasında hesaplanmışlardır. Bölüm 5.1.1’de tarif edildiği üzere yapının X yönündeki kısa 1-2-2’-1’ aksları iki açıklıkta sürekli kirişler ve moment aktaran kolon-kiriş birleşimleri ile iki açıklıklı üç katlı çerçeve çalışması yapmaktadırlar. Sabit yükler ağırlıklardan gelmekte olup her zaman sistem üzerinde vardır. Değişken yüklerin (q : insan, mobilya, malzeme vs...) ise farklı zamanlarda farklı açıklıklarda bulunabileceği gözönüne alınarak, çerçevedeki açıklık ve mesnet kuvvetlerini maksimum yapan aşağıdaki 14 tip düşey yükleme sisteme uygulanmıştır (Şekil 5.6):



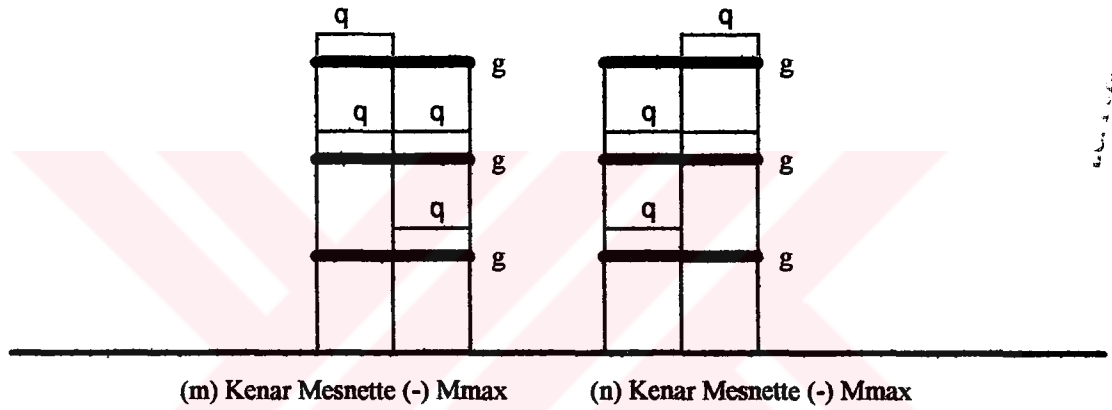
Şekil 5.6 (a,b,c,d) En Elverişsiz Yükleme



Şekil 5.6 (e,f,g,h) En Elverişsiz Yükleme



Şekil 5.6 (i,j,k,l) En Elverişsiz Yüklemler



Şekil 5.6 (m,n) En Elverişsiz Yüklemler

Bu 14 tip yüklemenin nasıl seçileceğine karar vermek için, SAP90 programına datası girilen benzer bir iki açıklıklı üç katlı çerçevenin her gözü sırayla 1kN.'luk yük ile yüklenmiştir. Kesit zorlarını en büyük yapan durumların kombinasyonu ile en elverişsiz yüklemeler elde edilmiştir. Kesitler emniyet gerilmeleri yöntemine göre hesaplandığı için, sabit ve değişken yükler bir katsayı ile arttırılmamıştır.

Sonuç dosyalarından elde edilen maksimum kesit zorlarına göre taşıyıcı sistem elemanları düşey yükler altında boyutlandırılmışlardır. Kolonların hesabında kolon burkulma boyları; düğüm noktaları rijitlikleri hesaplanıp, çerçeve yatay öteleme önlenmiş (perdelere dolaylı) çerçeve olarak kabul edilerek belirlenmiştir. Seçilen yeni kesitler şöyledir:

Tablo 5.2 Düşey Yüklere Göre Kesin Boyutlandırma

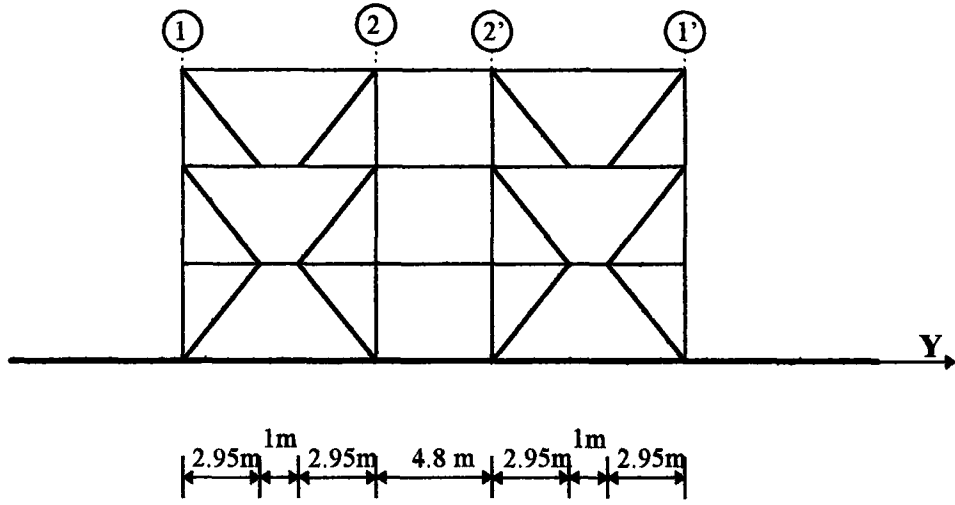
Elemanın			Kirişler			Kolonlar			W
Adı	Adet	Boy (m)	1.Kat	2.Kat	3.Kat	1.Kat	2.Kat	3.Kat	(kN)
K1	4	6.9	I320	I320	I260				45.29
K2	1	4.8	I240	I240	I200				4.74
K3	2	6.9	I320	I320	I280				23.49
K4	1	4.8	I340	I340	I280				8.84
K5	8	6.9	I320	I320	I300				97.37
K6	2	4.8	I260	I260	I220				11.03
K7	4	5.4	I340	I340	I300				41.13
K8	2	5.4	I360	I360	I300				22.31
K9	2	5.4	I380	I380	I340				25.5
K10	1	4.8	I320	I320	I260				7.88
S1	4	3.5				IPB160	IPB160	IPB140	17.67
S2	2	3.5				IPB200	IPB160	IPB140	10.17
S3	2	3.5				IPB200	IPB160	IPB140	10.17
S4	2	3.5				IPB240	IPB200	IPB160	13.87
S5	2	3.5				IPB240	IPB200	IPB160	13.87
Toplam Ağırlık =									353.33
Sadece Tali Döşeme Kirişlerinin Toplam Ağırlığı =									108.4

5.3 Yapının Deprem Yükleme Altında Analizi ve Boyutlandırılması

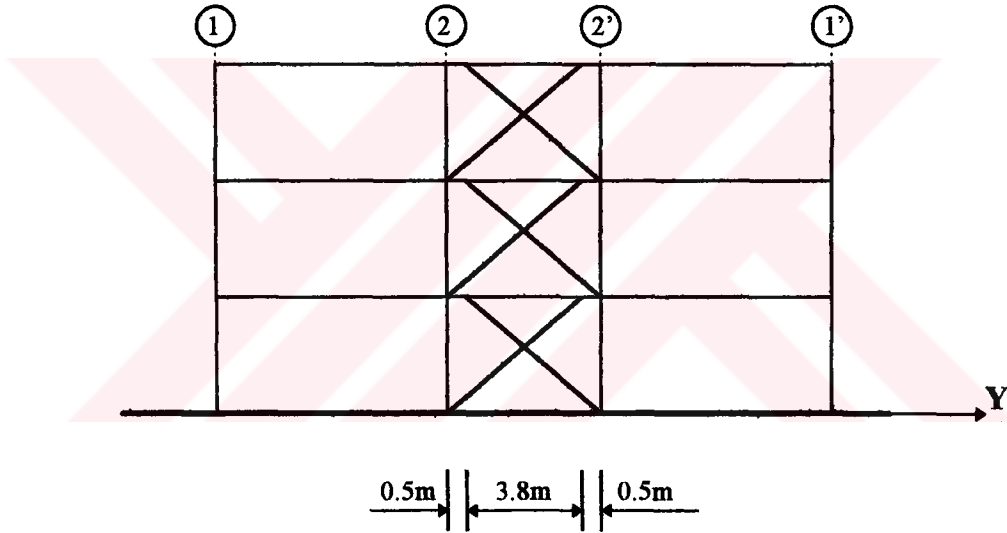
Düşey yüklere göre boyutlandırılan yapıımız, çok şiddetli depremlere maruz kalan bir bölgede ve yeraltı su seviyesi yüksek alüvyonlu zeminde yer almaktadır. Taşıyıcı sistem akslarının ve elemanlarının yerleştirilişi planda ve düşey doğrultuda düzenli bir durum arz etmekle birlikte, deprem yüklerini alacak olan (perde işlevini gören) çelik çaprazların plandaki yerleştirilişi mimari kaygılar nedeniyle Y-Y doğrultusuna göre simetrik değildir. (Bkz. Şekil 5.1)

Yapı şiddetli depremlere maruz bir bölgede olduğundan yatay yük taşıyıcılar, süneklik düzeyi yüksek, dışmerkez çelik çaprazlar olarak seçilmişlerdir. Çaprazların dışmerkezliği ABYYHY’te şart koşulduğu üzere perde kolonları arasındaki açıklığın 1/5’i ile 1/10’u sınırları içinde tutulmuştur.

C-C aksındaki çapraz diyagonalleri hem basınç hem de çekme alacak şekilde boyutlandırılmaktadırlar (Şekil 5.7). A-A, 2-2 ve 2’-2’ akslarındaki dışmerkez çapraz diyagonalleri ise çekme çubukları olarak hesaplanmışlardır (Şekil 5.8 ve 5.9). Bu ikinci tip çaprazlarda depremin geliş yönüne göre basınç alan diyagonal çubuğunun büyük narinliği nedeniyle burkulmuş olduğu kabul edilir.



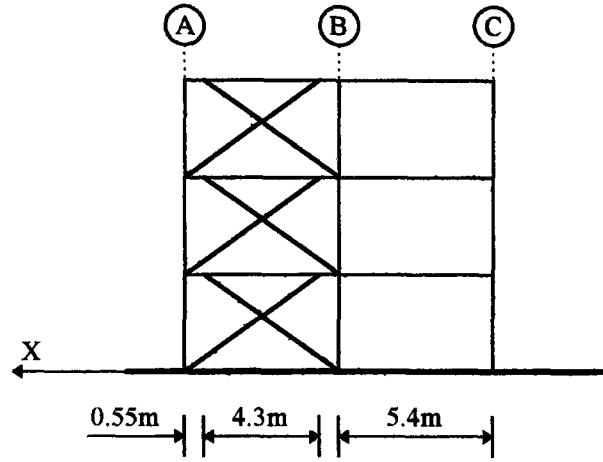
Şekil 5.7 C-C Aksında Dışmerkez Çaprazlar



Şekil 5.8 A-A Aksında Dışmerkez Çaprazlar

X-X Yönündeki çerçeveler süneklik düzeyi normal olarak dizayn edileceklerdir.

Kütle dağılımı açısından planda ve düşey doğrultuda düzenli, toplam yüksekliği 10.5 m ($H_N \leq 25$ m) olan bu binanın deprem analizine her iki yönetmeliğe göre de eşdeğer deprem yükü yöntemiyle başlanabilmektedir. Herhangi bir düzensizlik durumunun olup olmadığı analiz sonucunda elde edilen deplasman değerlerine göre irdelenecektir.



Şekil 5.9 2-2 ve 2'-2' Akslarında Dışmerkez Çaprazlar

5.3.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre Analiz

	ABYYHY	EUROCODE 8
Bina Önem Faktörü (Mağazalarda)	$I = 1$	$\gamma_1 = 1$
Tasarım Depremi / Deprem Kuşağı	1. Derece	Şiddetli
Etkin Yer İvmesi	$A_0 = 0.40$	$\alpha = a_g/g = 0.40$ aldık. ag değeri Eurocode 8'de verilmez. Seçimi ulusal otoritelere bırakılır.
Taşıyıcı Sistem Davranış Faktörü	X yönünde çerçeve + dışmerkez çaprazlar, $R=8$ Y yönünde dışmerkez çaprazlar, $R=7$ $R = \min (R_x; R_y) = 7$	Çerçeve sünek tasarım ilkelerine uymadığı için sünek zonlar sadece dışmerkez çaprazlardır. $q = 5.5$
Kat Ağırlıkları (Mağazalarda)	Kar yükünün %30'u sabit yük olarak alınacaktır. $w = g + 0.6 q$ $W_1 = W_2 = 2158.35 \text{ kN}$ $W_3 = 1659.55 \text{ kN}$ $\Sigma W = 5976.25 \text{ kN}$	$w = g + 0.6 q$ $W_1 = W_2 = 2158.35 \text{ kN}$ $W_3 = 1641.47 \text{ kN}$ $\Sigma W = 5958.17 \text{ kN}$

ABYYHY

EUROCODE 8

(1) Fiktif Yükler	$F_1 = 0.1885$ $F_2 = 0.3769$ $F_3 = 0.4347$	$F_1 = 0.1893$ $F_2 = 0.3787$ $F_3 = 0.4320$
(2) Birinci Doğal Titreşim Periyodu İçin Yaklaşık Hesap	X Yönünde: ereve + dışmerkez çaprazlar $T_{1A} = 0.05 * (10.5)^{3/4} = 0.2916 \text{ sn}$ Y Yönünde: dışmerkez çaprazlar $T_{1A} = 0.07 * (10.5)^{3/4} = 0.4083 \text{ sn}$	X Yönünde: ereve + dışmerkez çaprazlar $T_1 = 0.085 * (10.5)^{3/4} = 0.4958 \text{ sn}$ Y Yönünde: dışmerkez elik çaprazlar $T_1 = 0.075 * (10.5)^{3/4} = 0.4375 \text{ sn}$
Zemin Grubu	Yeraltı su seviyesi yüksek alüvyonlu zemin : Z4	Yumuşak kohezyonlu tabakalar : C
Zemin Grubuna Göre Spektrum Karakteristik Periyotları	$T_A = 0.20 \text{ sn}$ $T_B = 0.90 \text{ sn}$ $T_A < T_{1A} < T_B$	$T_B = 0.20 \text{ sn}$ $T_C = 0.80 \text{ sn}$ $T_D = 3 \text{ sn}$ $\beta_0 = 2.5$ $s = 0.9$ $T_B < T_1 < T_C$
İvmelenme Spektrumu	$S(T_1) = 2.5$	$S_d(T) = \alpha * s * \beta_0 / q$ $S_d(T) = 0.4 * 0.9 * 2.5 / 5.5$ $= 0.1636$
(3) Taban Kesme Kuvveti	$V_t = [A_0 I S(T) / R_a(T)] * W$ $T_1 > T_A \rightarrow R_a(T) = R$ $V_t = (0.4 * 1 * 2.5 / 7) * 5976.25$ $= 853.75 \text{ kN}$ $V_t > 0.10 * A_0 * I * W = 239.05 \text{ kN}$	$F_b = S_d(T_1) * W$ $F_b = 0.1636 * 5958.17$ $= 974.76 \text{ kN}$
(4) Eşdeğer Kat Yüklerinin Hesabı	$F_1 = 160.932 \text{ kN}$ (1. Kat) $F_2 = 321.778 \text{ kN}$ (2. Kat) $F_3 = 371.125 \text{ kN}$ (3. Kat)	$F_1 = 184.52 \text{ kN}$ (1. Kat) $F_2 = 369.14 \text{ kN}$ (2. Kat) $F_3 = 421.10 \text{ kN}$ (3. Kat)
Deprem Yükünün Kat Kütle Merkezine Göre Rastlantısal Eksantrikliği	Deprem X yönünde: $e = \%5 L_y$ $= 0.05 * 18.6 = 0.93 \text{ m}$ Deprem Y yönünde: $e = \%5 L_y$ $= 0.05 * 10.8 = 0.54 \text{ m}$	Deprem X Yönünde: $e = \%5 L_y + \overset{\uparrow}{e_2}$ $= 0.93 \text{ m}$ Deprem Y Yönünde: $e = \%5 L_y + \overset{\uparrow}{e_2}$ $= 0.54 \text{ m}$ e_2 ek dışmerkezlilikleri $r^2 < (5l_s^2 + e_0^2)$ olduğu için ihmal edilmiştir. Detaylı hesap ileride verilecektir.

(5) Rastlantısal Eksantriklikten Kat Kütlesine Gelen Momentler [$M_i = F_i \cdot e$]	Deprem X Doğrultusunda: $M_1 = 149.667 \text{ kNm}$ $M_2 = 299.254 \text{ kNm}$ $M_3 = 345.146 \text{ kNm}$ Deprem Y Doğrultusunda: $M_1 = 86.903 \text{ kNm}$ $M_2 = 173.760 \text{ kNm}$ $M_3 = 200.408 \text{ kNm}$	Deprem X Doğrultusunda: $M_1 = 171.6 \text{ kNm}$ $M_2 = 343.3 \text{ kNm}$ $M_3 = 391.62 \text{ kNm}$ Deprem Y Doğrultusunda: $M_1 = 99.64 \text{ kNm}$ $M_2 = 199.34 \text{ kNm}$ $M_3 = 227.40 \text{ kNm}$
Bilgisayar Programı İçin Deprem Yük Kombinasyonu	1G + 1Q + 1E 0.9G + 1E	1G + 0.6Q + 1E 0.9G + 1E
Burulma (Planda) Düzensizliği	$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max}/(\Delta_i)_{\text{ort}} > 1.2$ ise burulma düzensizliği vardır.	$(d_i)_{\max}/(d_i)_{\text{ort}} > 1.2$ ise yapı planda düzensizdir.
(6) Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine Göre İlk Adımın Sonuçları	Düşey yüklere göre boyutlandırılmış olan yapıya yukarıdaki yatay kuvvet ve momentleri etkittiğimizde burulma düzensizliği oluşmuştur. Eksantriklikler artırılarak eşdeğer deprem yükü yönteminde ikinci adıma geçilecektir.	Düşey yükler altında boyutlandırılmış olan yapıya, yukarıdaki yatay kuvvet ve momentleri etkittiğimizde planda düzensizlik gösterdiği görülür. Planda düzenlilik kriterlerini sağlamayan yapılarda dinamik analiz öngörülmektedir.
Kesitlerin Seçilmesinde İkinci Mertebe Etkiler İçin Sınır Değerler		
P-Δ Etkisi	$\theta_i \leq 0.12$	$\theta_i \leq 0.10$
Açısal Dönmeler	$(\Delta_i)_{\max}/h_i \leq 0.0035$ $(\Delta_i)_{\max}/3.5 \leq 0.0035$ ve $(\Delta_i)_{\max}/h_i \leq 0.02/R$ R=7 $(\Delta_i)_{\max}/3.5 \leq 0.00285$	$d_r/v \leq 0.004 \cdot h$ (yapısal olmayan elemanlar kırılğan) Yapı III. önem grubunda $v=2$ $d_r/2 \leq 0.004 \cdot 3.5$

5.3.2 Eurocode 8'e Göre e_2 Ek Eksantriklik Hesabı

Eşdeğer deprem yükü yönteminde, deprem hareketinden doğan atalet kuvvetlerinin bileşkesinin, katlara, kütle dağılımının düzgün olmamasını gözönüne almak üzere bir e_1 rastlantısal dışmerkezlikle etkidiği varsayılır. Eurocode 8 bu e_1 eksantrikliğinden başka, öteleme ve dönme titreşimlerini de hesaba katmak için bir ek e_2 eksantrikliğinin

alınmasını öngörür. Bölüm 3’de verilen (3.27.a) ve (3.27.b) denklemleriyle ek eksantriklik belirlenmektedir.

İlk olarak bu deklemlerde geçen r^2 (burulma yarıçapının karesi) değerini hesaplamamız gerekmektedir.

$$r^2 = \text{kat burulma rijitliği} / \text{kat öteleme rijitliği}$$

M adet düşey taşıyıcı sistem elemanı düşünülerek kat burulma rijitliği:

$$K_\theta = \sum_i^m (K_{xi}y_i^2 + K_{yi}x_i^2) \quad (5.1)$$

Sırasıyla Xve Y yönündeki kat öteleme rijitlikleri:

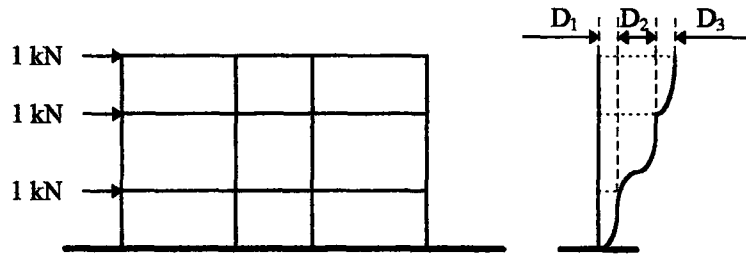
$$K_x = \sum_i^m K_{xi} \quad (5.2)$$

$$K_y = \sum_i^m K_{yi} \quad (5.3)$$

$$r_x^2 = K_\theta / K_x, \quad r_y^2 = K_\theta / K_y \quad (5.4.a \text{ ve } b)$$

Yukarıdaki denklemlerde geçen K_{xi} ve K_{yi} ifadeleri i nolu kolonun sırasıyla x yönündeki ve y yönündeki öteleme rijitlikleridir. Kolonların ve çelik yapıda eksantrik diyagonallerden oluşan perdelerin rijitliğini belirlemek için izlenen yol şudur:

1) X-X doğrultusundaki 4 adet aks ve Y-Y doğrultusundaki 3 adet aks sırayla, her katta 1kN’luk birim yük ile yüklenir. (Bkz. Şekil 5.10)



Şekil 5.10

2) SAP90 programı ile çözüm yapılarak her katta, her kolonun yaptığı relatif deplasmanlar (D_i) bulunur. (Şekil 5.10)

3) Rijitlikler $K_i = 1/D_i$ olarak hesaplanır. Çelik yapıda diyagonallerden oluşan perdelerin rijitliği, bağladıkları kolonları tutarak küçük deplasmanlara izin vermeleri sonucu hesaba katılmış olur.

Tüm bu analiz ve hesaplamalar ile elde edilen değerler şöyledir:

1. KATTA $r_x^2 = 42.479$ $r_y^2 = 37.426$

2. KATTA $r_x^2 = 41.319$ $r_y^2 = 37.125$

3. KATTA $r_x^2 = 49.614$ $r_y^2 = 35.180$

Eurocode8'e göre eğer $r^2 < (5I_s^2 + e_0^2)$ ise e_2 eksantrikliği ihmal edilebilmektedir.

I_s^2 : katın plandaki dönme atalet yarıçapının karesi

$$I_s^2 = (1/12) * (L^2 + B^2) = (1/12) * ((10.8)^2 + 818.6^2) = 38.55$$

$$(5I_s^2 + e_0^2) = (5 * 38.55 + 0) = 192.75$$

r^2 'ler her katta ve her iki ortogonal doğrultuda yukarıdaki değerden küçük kaldığından, e_2 eksantrikliği ihmal edilecektir.

5.4 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'e Göre Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde İkinci Aşama

Düşey yüklere göre boyutlandırılmış olan yapının eşdeğer deprem yükü yöntemiyle analizinin ilk aşamasında katlarda burulma düzensizliği oluştuğu görülmüştür. Ancak η_{bi} katsayıları 1,2 ile 2 değerleri arasında kalmaktadır. Bu nedenle katlara yatay olarak etkiyen deprem yüklerinin kütle merkezine göre eksantrikliği D_i katsayıları ile artırılarak hesapta ikinci aşamaya geçilecektir.

Deprem X Yönünde İken Maksimum Burulma Düzensizliği Katsayıları:

1. Katta: $(\eta_{b1})_{maks} = 1.583$ $D_1 = (1.583/1.2)^2 = 1.742$

2. Katta: $(\eta_{b2})_{maks} = 1.740$ $D_2 = (1.740/1.2)^2 = 2.104$

3. Katta: $(\eta_{b3})_{maks} = 1.852$ $D_3 = (1.852/1.2)^2 = 2.382$

Uygulanacak Yeni Eksantriklik ve Momentler:

1. Katta: $e_1 = 0.93 \cdot 1.742 = 1.62 \text{ m}$ $M_1 = 160.932 \cdot 1.62 = 260.710 \text{ kNm}$
 2. Katta: $e_2 = 0.93 \cdot 2.104 = 1.96 \text{ m}$ $M_2 = 321.778 \cdot 1.96 = 630.685 \text{ kNm}$
 3. Katta: $e_3 = 0.93 \cdot 2.382 = 2.22 \text{ m}$ $M_3 = 371.125 \cdot 2.22 = 823.898 \text{ kNm}$

Deprem Y Yönünde İken Maksimum Burulma Düzensizliği Katsayıları:

1. Katta: $(\eta_{b1})_{maks} = 1.460$ $D_1 = (1.460/1.2)^2 = 1.480$
 2. Katta: $(\eta_{b2})_{maks} = 1.412$ $D_2 = (1.412/1.2)^2 = 1.385$
 3. Katta: $(\eta_{b3})_{maks} = 1.578$ $D_3 = (1.578/1.2)^2 = 1.728$

Uygulanacak Yeni Eksantriklik ve Momentler:

1. Katta: $e_1 = 0.54 \cdot 1.480 = 0.80 \text{ m}$ $M_1 = 160.932 \cdot 0.80 = 128.746 \text{ kNm}$
 2. Katta: $e_2 = 0.54 \cdot 1.385 = 0.75 \text{ m}$ $M_2 = 321.778 \cdot 0.75 = 241.334 \text{ kNm}$
 3. Katta: $e_3 = 0.54 \cdot 1.728 = 0.94 \text{ m}$ $M_3 = 371.125 \cdot 0.94 = 348.858 \text{ kNm}$

Kat deprem yükleri ve bu arttırılmış momentler birlikte etkilerek, SAP90 programında iki ortogonal doğrultuda tekrar analiz yapılır. Analiz sonucunda elde edilen kesit zorlarına göre taşıyıcı sistem elemanları şöyle seçilir:

Tablo 5.3

Elemanın			Kirişler			Kolonlar			W
Adı	Adet	Boy (m)	1.Kat	2.Kat	3.Kat	1.Kat	2.Kat	3.Kat	(kN)
K1	4	6.9	I320	I320	I320				50.59
K2	1	4.8	I240	I240	I200				4.74
K3	2	6.9	I320	I320	I280				23.49
K4	1	4.8	I340	I340	I280				8.84
K5	8	6.9	I320	I320	I300				97.37
K6	2	4.8	I260	I260	I220				11.03
K7	4	5.4	I340	I340	I300				41.13
K8	2	5.4	I400	I400	I320				26.6
K9	2	5.4	I380	I380	I340				25.5
K10	1	4.8	I380	I380	I280				10.37
S1	4	3.5				IPB200	IPB200	IPB140	23.02
S2	2	3.5				IPB200	IPB180	IPB140	10.58
S3	2	3.5				IPB240	IPB200	IPB140	13.08
S4	2	3.5				IPB320	IPB260	IPB160	19.29
S5	2	3.5				IPB300	IPB240	IPB160	17.79
Toplam Ağırlık =									383.42
Sadece Tali Döşeme Kirişlerinin Toplam Ağırlığı =									108.4

Perde kesitleri ise şöyle seçilmiştir:

Tablo 5.4

Perdeler			Profil	W
Aks	Adet	Boy (m)	Tipi	(kN)
C-C	12	4.58	2[120	14.73
A-A	6	5.55	2[120	8.92
2-2	6	5.98	2[100	7.61
2'-2'	6	5.98	2[100	7.61
Toplam Ağırlık =				38.87

Yapı yeni kesitleriyle SAP90 programına yüklenmiş ve analiz gerçekleştirilerek düğüm nokta deplasmanları hesaplanmıştır. Bu deplasmanlara göre, hesap adımlarının karşılaştırmalı gösteriminde bahsedilen ikinci merteye etkiler için sınır şartlarını sağlayacak şekilde bazı kolon rijitlikleri arttırılmıştır. SAP90 programından çıkışı alınan “.sol” uzantılı dosyalar Excel programına aktararak tüm kolonlar için P-Δ etkisi ve açısal dönmeler kontrol edilmiştir. Seçilen yeni kolonlarla ABYYHY'e göre deprem analizinde taşıyıcı sistemin son durumu şöyledir:

Tablo 5.5

Elemanın			Kirişler			Kolonlar			W
Adı	Adet	Boy (m)	1.Kat	2.Kat	3.Kat	1.Kat	2.Kat	3.Kat	(kN)
K1	4	6.9	I320	I320	I320				50.59
K2	1	4.8	I240	I240	I200				4.74
K3	2	6.9	I320	I320	I280				23.49
K4	1	4.8	I340	I340	I280				8.84
K5	8	6.9	I320	I320	I300				97.37
K6	2	4.8	I260	I260	I220				11.03
K7	4	5.4	I340	I340	I300				41.13
K8	2	5.4	I400	I400	I320				26.6
K9	2	5.4	I380	I380	I340				25.5
K10	1	4.8	I380	I380	I280				10.37
S1	4	3.5				IPB340	IPB340	IPB240	50.6
S2	2	3.5				IPB200	IPB180	IPB140	10.58
S3	2	3.5				IPB340	IPB340	IPB240	25.3
S4	2	3.5				IPB320	IPB260	IPB160	19.29
S5	2	3.5				IPB300	IPB240	IPB160	17.79
Toplam Ağırlık =									423.22
Sadece Tali Döşeme Kirişlerinin Toplam Ağırlığı =									108.4

KAYNAKLAR

- [1] **Eurocode 8, ENV 1998.** Design of structures for earthquake resistance, *Comité Européen de normalisation*, Brussels.
- [2] **ABYYHY, 1998.** Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir.
- [3] **Eurocode 1, 1991.** Basis of design and actions on structures, *Comité Européen de normalisation*, Brussels.
- [4] **Eurocode 3, 1993.** Design of steel structures, *Comité Européen de normalisation*, Brussels.
- [5] **TS648, 1980.** Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [6] **TS4561, 1985.** Çelik yapıların plastik teoriye göre hesap kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [7] **TS3357, 1979.** Çelik yapılarda kaynaklı birleşimlerin hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [8] **Tanabe, T., 1999.** Comparative Performances of Seismic Design Codes for Concrete Structures, Elsevier Science Ltd., Oxford.
- [9] **Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2000.** Deprem Mühendisliğine Giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [10] **Dündar, C., Kırıl, E., Tanrıkulu, K. ve Toksöz, S., 1998.** Yeni deprem yönetmeliğine göre bina analiz ve tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası Adana Şubesi, Adana.
- [11] **Gulvanessian, H. and Holicky, M., 1996.** Designers' handbook to Eurocode 1, Thomas Telford Publishing, London.
- [12] **Özmen, G., 1999.** 1997 Türkiye Deprem Yönetmeliğine göre tasarım uygulamaları, TDV Teknik Raporu, İstanbul, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

Tezi hazırlayan Sibel Gürel, 21 Ocak 1976 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini bitirdikten sonra, İstanbul Ataköy Lisesi'nde orta ve lise öğrenimini tamamladı. 1992 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1996 yılında mezun olduktan sonra yine İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'ne bağlı ve İnşaat Mühendisliği Bölümü bünyesindeki Yapı Mühendisliği yüksek lisans programına katılmaya hak kazandı. Aralık 1999'da araştırma görevlisi olarak atandığı İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Yapı Anabilim Dalı, Ahşap ve Çelik Yapılar Kürsüsü'nde halen çalışmaktadır.