

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

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

İnş. Müh. K. Mehmet YILDIRIM

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. A. Zafer ÖZTÜRK

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTIMA LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
TABLO LİSTESİ.....	xiv
ÖNSÖZ.....	xvi
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
1	GİRİŞ..... 1
1.1	Giriş ve Çalışmanın Amacı..... 1
2	TEMEL İLKELER VE KURALLARIN KARŞILAŞTIRILMASI..... 2
2.1	Temel İlkeler..... 2
2.1.1	Eurocode8..... 2
2.1.2	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yönetmelik..... 2
2.2	Uyulacak Kriterler..... 3
2.2.1	Eurocode8..... 3
2.2.2	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yönetmelik..... 4
2.3	Tasarımda Alınacak Temel Önlemler..... 4
2.3.1	Eurocode8..... 4
2.3.2	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik..... 5
2.4	Zemin Koşulları..... 6
2.4.1	Eurocode8..... 6
2.4.2	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik..... 7
2.5	Sismik Hareket..... 10
2.5.1	Eurocode8..... 10
2.5.1.1	Deprem Hareketinin Alternatif Tanımları..... 14
2.5.2	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik..... 14
2.5.2.1	Genel Kabuller..... 14
2.5.2.2	Deprem Yükünün Temel Tanımı..... 15
2.5.2.3	Zaman alanında Doğrusal Elastik veya Elastik Olmayan Çözümleme Yöntemi 17
2.6	Deprem Yükünün Diğer Yüklerle Kombinasyonu..... 18
2.6.1	Eurocode8..... 18
2.6.1.1	Sınır Yük Durumu..... 18
2.6.1.2	Kullanılabilirlik Limit Durumu..... 23
2.6.2	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik..... 25
2.7	Deprem Durumunda Bina Önem Katsayıları..... 27
2.7.1	Eurocode8..... 27

2.7.2	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.....	27
2.8	Genel Karşılaştırma.....	29
2.8.1	Yapıların Deprem Performansı.....	29
2.8.1.1	Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	29
2.8.1.1.1	Kesit Hasar Sınırları.....	29
2.8.1.1.2	Kesit Hasar Bölgeleri.....	29
2.8.2	Deprem Yükünün Tanımı.....	31
2.8.3	Deprem Yükünün Diğer Yüklerle Kombinasyonu ve Önem Katsayıları.....	32
3	DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI.....	33
3.1	Depreme Dayanıklı Yapıda Aranılan Genel Özellikler.....	33
3.1.1	Eurocode8.....	33
3.1.2	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.....	34
3.2	Hesap Esasları.....	35
3.2.1	Yapısal Düzensizlikler.....	35
3.2.1.1	Eurocode8.....	35
3.2.1.1.1	Planda Düzensizlik İçin Kriterler.....	35
3.2.1.1.2	Boykesitte Düzensizlik İçin Kriterler.....	36
3.2.1.2	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.....	39
3.2.1.2.1	Planda Düzensizlik Durumları.....	41
3.2.1.2.2	Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları.....	43
3.2.1.3	Genel Karşılaştırma.....	45
3.2.2	Yapısal Analiz.....	45
3.2.2.1	Eurocode8'e Göre Modelleme ve Analiz Metotları.....	45
3.2.2.2	A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Yapısal Analiz ve Analiz Yöntemleri.....	53
3.2.2.3	Yapısal Olmayan Elemanlar.....	61
3.2.3	Güvenlik Yeterlilikleri.....	64
3.2.3.1	Eurocode8'e Göre Taşıma Sınır Durumu.....	64
3.2.3.2	Kullanılabilirlik Sınır Durumu.....	65
3.2.3.3	A.B.Y.Y.H.Y'de İkinci Mertebe Etkileri.....	66
3.2.3.4	A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Deprem Derzleri.....	66
3.2.4	Genel Karşılaştırma.....	67
3.2.4.1	Modelleme ve Hesap Metodunun Seçilmesindeki Farklılıklar.....	67
3.2.4.2	Analiz.....	68
4	ÇELİK YAPILARIN DEPREME DAYANIKLI TASARIMI.....	69
4.1	Giriş.....	69
4.2	Taşıyıcı Sistemin Sınıflandırılması.....	69
4.2.1	Eurocode8.....	69
4.2.2	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.....	70
4.3	Yapı Tipleri ve Davranış Faktörleri.....	70
4.3.1	Eurocode8.....	70

4.3.2	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.....	76
4.4	Tasarım Kuralları.....	78
4.4.1	Eurocode8.....	78
4.4.1.1	Tasarım Kriterleri.....	78
4.4.1.2	Yapısal Elemanlara İlişkin Detay Kuralları.....	78
4.4.1.3	Moment Aktaran Çerçeveye İlişkin Kurallar.....	80
4.4.1.4	Ortak Merkezli Çapraz Çubuklara İlişkin Detay Kuralları.....	82
4.4.1.5	Dışmerkez Olarak Bağlanan Çapraz Çubuklara İlişkin Detay Kuralları.....	84
4.4.1.6	Konsol veya Ters Sarkaç Yapılara İlişkin Detay Kuralları.....	85
4.4.1.7	Beton Çekirdekli veya Beton Duvarlı Yapılara İlişkin Detay Kuralları.....	85
4.4.1.8	İkili Yapılara İlişkin Detay Kuralları.....	85
4.4.1.9	Karma Yapılara İlişkin Detay Kuralları.....	86
4.4.2	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.....	86
4.4.2.1	Tasarım Kriterleri.....	86
4.4.2.2	Moment Aktaran Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçevelere İlişkin Kurallar.....	87
4.4.2.3	Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çaprazlı Perdeler İlişkin Kurallar.....	89
4.4.2.4	Süneklik Düzeyi Normal Çerçevelere İlişkin Kurallar.....	90
4.4.2.5	Süneklik Düzeyi Normal Çelik Çaprazlı Perdeler İlişkin Kurallar.....	91
4.5	Genel Karşılaştırma.....	91
5	ÖRNEK YAPININ KARŞILAŞTIRMALI DEPREM ANALİZİ.....	93
5.1	Yapısal Özellikler.....	93
5.2	Diğer Özellikler.....	93
5.3	Eurocode8.....	93
5.3.1	Yapıya Etkiyen Yükler.....	93
5.3.2	Yapının Tasarım Spektrumunun Hesaplanması.....	95
5.3.3	Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesaplanması.....	96
5.3.4	Dışmerkezliklerin Hesaplanması.....	96
5.3.5	Ek Dışmerkezlik Etkilerinin Hesaplanması.....	97
5.3.6	Yük Kombinasyonlarının Tanımlanması.....	97
5.3.7	Yapının Deplasmanları ve Burulma Düzensizliği Kontrolleri.....	99
5.4	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.....	101
5.4.1	Yapıya Etkiyen Yükler.....	101
5.4.2	Yapının Tasarım Spektrumunun Hesaplanması.....	102
5.4.3	Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesaplanması.....	102
5.4.4	Dışmerkezliklerin Hesaplanması.....	103
5.4.5	Yük Kombinasyonlarının Tanımlanması.....	104
5.4.6	Yapının Deplasmanları ve Burulma Düzensizliği Kontrolleri.....	104
5.5	Genel Karşılaştırma.....	109

KAYNAKLAR.....	110
EKLER.....	111
Ek 1 Örnek yapının X – Y Kesitinden çizimi.....	112
Ek 2 Örnek yapının X – Z Kesitinden çizimi.....	113
Ek 3 Yükleme kombinasyon tabloları.....	114
ÖZGEÇMİŞ.....	115

SİMGE LİSTESİ

A_c	Binanın ilk katındaki perde duvarların m^2 cinsinden birleştirilmiş etki alanı
A_{Ed}	Deprem hareketinin referans dönüşüm periyodu için karakteristik değeri
a_g	Referans dönüşüm periyodu için tasarım yer ivmesi
A_i	Binanın ilk katında bulunan herhangi bir perde duvarın m^2 cinsinden etkin enkesit alanı
A_{wj}	Binanın temel üstündeki ilk katında j 'inci perdenin brüt enkesit alanı
A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı
A^+	Yatay deprem yükü pozitif yönde etkirken, çekmeye çalışan çapraz çubukların izdüşüm alanı
A^-	Yatay deprem yükü negatif yönde etkirken, çekmeye çalışan çapraz çubukların izdüşüm alanı
b	Çelik çerçeve elemanın başlık genişliği
B_a	Taşıyıcı sistem elemanının a asal doğrultusunda tasarıma esas teşkil eden iç kuvvet büyüklüğü
B_{ax}	Taşıyıcı sistem elemanının a asal doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
B_{ay}	Taşıyıcı sistem elemanının a asal doğrultusunda, x 'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
d_e	Tasarım tepki spektrumunu temel alan bir doğrusal analiz ile tanımlanmış yapısal sistemin aynı noktasındaki yer değiştirme
D_i	Dışmerkezlik büyütme katsayısı
d_r	Görelî ortalama yer değiştirmesi
d_s	Tasarım depremi sonucu yapının bir noktasında meydana gelen yer değiştirme
E_d	Boyutlamaya esas olan kesit etkileri
E_{dx}	Deprem yükü, x eksenî doğrultusunda uygulandığında hesaplanan yük etkileri
E_{dy}	Deprem yükü, x eksenî doğrultusunda uygulandığında hesaplanan yük etkileri
E_{fd}	Temeller üzerindeki yük etkilerinin tasarım değerleri
e_0	M kütle merkezi ile S rijitlik merkezi arasındaki mevcut dışmerkezlik

e_1	Kat kütle dağılımının düzgün olmamasını göz önüne alan muhtemel dışmerkezlilik
e_2	Öteleme ve dönme titreşimlerini göz önüne almak için hesaba katılan dışmerkezlilik
F_b	Taban kesme kuvveti
f_e	Mekanik ve elektrik donanımın kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü
F_{fi}	Binanın i 'inci katına etkiyen fiktif yük
F_i	i 'inci kattaki yatay kuvvet
G_{kj}	Sabit yük j 'nin karakteristik değeri
h	Kat yüksekliği
H_i	Binanın i 'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
I	Binanın önem katsayısı
k	Gözönüne alınan mod sayısı
k_{d1}	T_C titreşim periyodundan daha büyük bir periyot için tasarım spektrumunun şekline etki eden üs
k_{d2}	T_D titreşim periyodundan daha büyük bir periyot için tasarım spektrumunun şekline etki eden üs
k_1	T_C 'den büyük titreşim periyodu için spektrum şekline etki eden değer
k_2	T_D 'den büyük titreşim periyodu için spektrum şekline etki eden değer
l_s^2	Katın plandaki dönme atalet yarıçapının karesi
l_{wi}	Binanın birinci katında ve binaya uygulanan yüklere paralel doğrultuda bulunan herhangi bir perde duvarın yüksekliği
m_i	i 'inci katın kütlesi
M_{li}	i katına etkiyen yatay kuvvet
$M_{pl,Rdi}$	i kirşinin plastik bölgesindeki eğilme dayanımı
$M_{pü}$	Kolonun üst ucunda hesaplanan plastikleşme momenti
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 pozitif veya negatif plastikleşme momenti
M_{Sdi}	i kirşinin plastik bölgesindeki eğilme momenti
n	Hareketli yük katılım katsayısı
N_{cr}	Burkulma için gereken kuvvet
$N_{pl,Rd}$	Bütün enkesitin akma dayanımı
$N_{pl,Rdi}$	i çaprazının dayanımı
q	Davranış faktörü
Q_{ki}	Hareketli yük i’nin karakteristik değeri
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
R_d	Taşınabilecek kesit etkileri
s	Zemin parametresi
$S_d(T)$	Yerçekimi ivmesi ile normlize edilmiş tasarım spektrumunun ordinatı
$S(T)$	Spektrum katsayısı
t_b	Çelik çerçeve elemanının başlık kalınlığı
T_B	Eurocode 8’de sabit spektral ivme bölgesi sınırının başlangıcı
T_C	Eurocode 8’de sabit spektral ivme bölgesi sınırının sonu
T_D	Eurocode 8’de tasarım spektrumunda sabit deplasman bölgesinin başladığını gösteren değer
t_g	Çelik çerçeve elemanının gövde kalınlığı
V_{ik}	Çerçevesel veya perdeli-çerçevesel sistemlerin çerçevelerinde, binanın i’inci katındaki tüm kolonlarda göz önüne alınan deprem doğrultusunda hesaplanan kesme kuvvetlerinin toplamı

V_{is}	Çerçevesel veya perdeli-çerçevesel sistemlerin çerçevelerinde binanın i 'inci katında güçlü kolon koşulunun hem alttaki hem de üstteki düğüm noktalarında sağlandığı kolonlarda, göz önüne alınan deprem doğrultusunda hesaplanan kesme kuvvetlerinin toplamı
$V_{pl,Rdi}$	i girişinin plastik bölgesindeki kesme dayanımı
V_{sd}	Gövde panelinde yük etkilerine dayanan kesme kuvveti
w	Binanın toplam ağırlığı
β_0	%5 sönüm için spektral büyütme katsayısı
η	Sönüm düzeltme faktörü
ε	Viskoz sönüm oranı
α	Tasarım yer ivmesinin yerçekimi ivmesine oranı
α_i	Herhangi bir i 'inci katta hesaplanan V_{is}/V_{ik} oranı
α_m	Perde taban momentleri toplamının toplam kesme momentine oranı
γ_F	Güvenlik katsayısı
γ_I	Önem faktörü
γ_G	Sabit yük artırma katsayısı
γ_m	Malzeme katsayısı
γ_Q	Hareketli yük artırma katsayısı
ψ	Deprem yükü birleştirme katsayısı
ψ_{2i}	Hareketli yük i 'nin yarı sabit değeri için kombinasyon katsayısı
ϕ	Yük azaltma katsayısı
λ	Narinlik derecesi
η_{bi}	Burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	Dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki}	Rijitlik düzensizliği katsayısı

(Δ_i) Bir katta görülen en büyük görelî kat ötelemesi

$(\Delta_i)_{ort}$ Bir katta görülen ortalama görelî kat ötelemesi

$\Sigma (A_e)_i$ Herhangi bir kattaki etkili kesme alanlarının toplamı

$\Sigma (A_e)_{i+1}$ Bir üst kattaki etkili kesme alanlarının toplamı

ΣA_g Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı

ΣA_k Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kagir dolgu duvar alanlarının toplamı

ΣA_w Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları olan A_w 'ların toplamı

KISALTMA LİSTESİ

CEN Comité Européen de Normalisation

TS Türk Standartları

ABYYHY Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
2.1	Eurocode 8’de elastik spektrum eğrileri.....12
2.2	Elastik tasarım ivme spektrumu.....16
2.3	Bina hasar durumları.....30
3.1	Eurocode 8’de düzenlilik kriterleri.....37
3.2	Eurocode 8’de düzenlilik kriterleri.....37
3.3	Eurocode 8’de düzenlilik kriterleri.....38
3.4	Eurocode 8’de düzenlilik kriterleri.....39
3.5	A.B.Y.Y.H.Y’ye göre burulma düzensizliği.....41
3.6	A.B.Y.Y.H.Y’ye göre döşeme süreksizlikleri.....42
3.7	A.B.Y.Y.H.Y’ye göre planda çıkıntı düzensizlikleri.....42
3.8	A.B.Y.Y.H.Y’ye göre izin verilmeyen durumlar.....44
3.9	Deprem yükünün dışmerkezlilikleri.....50
3.1055
3.11	Ek dışmerkezliliklerin hesaba katılması.....56
3.12	A2 türü düzensizlikte kaydırılmış kütle merkezi.....56
3.13	Asal eksenleri Doğrultusunda Paralel Olmayan Sistemler.....57
4.1	Enerji yutma özelliğinin toplandığı alanlar.....71
4.2	Çekme diyagonalleri.....72
4.3	Çekme ve basınç diyagonalleri.....72
4.4	K çaprazları.....73
4.5	Dışmerkez bağlanmış çapraz çubuklar.....73
4.6	Konsol ve ters sarkaç yapı modeli.....74
4.7	Beton duvarlı yapı modeli.....74
4.8	İkili yapı modeli.....75
4.9	Karma yapı modeli.....75

4.10	Kiriş – kolon birleşimlerdeki gövde panelleri.....	82
4.11	Merkezi çaprazlar.....	83
4.12	Moment aktaran çerçevede güçlü kolon koşulu.....	87

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
2.1 Zemin tipleri.....	6
2.2 Elastik spektrum için zemin parametreleri.....	7
2.3 Zemin grupları.....	8
2.4 Yerel zemin sınıfları.....	9
2.5 Spektrum karakteristik periyotları.....	10
2.6 Etkin yer ivmesi katsayısı.....	15
2.7 Yerel zemin sınıflarına göre spektrum karakteristik periyotları.....	16
2.8 Yük artırma katsayıları.....	19
2.9 Hareketli yükler için birleştirme katsayıları.....	20
2.10 Yük ana birleştirme durumuna örnek.....	22
2.11 Basitleştirilmiş yük birleştirme durumuna örnek.....	22
2.12 Yer değiştirme azaltma katsayıları.....	25
2.13 Hareketli yük katılım katsayıları.....	26
2.14 Bina önem sınıfları ve önem faktörleri.....	27
2.15 Bina önem katsayıları.....	28
3.1 Sismik tasarımda yapısal düzensizlikler.....	35
3.2 Düzensiz binalar.....	40
3.3 Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar.....	53
3.4 Yapısal olmayan elemanların davranış faktörleri.....	63
4.1 Çelik binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayıları.....	76
4.2 Bina türü olmayan çelik yapılar için taşıyıcı sistem davranış katsayıları.....	77
4.3 Enkesit sınıflarına göre davranış faktörü değerleri.....	79
5.1 X ve Y doğrultularındaki eşdeğer deprem yükleri.....	96
5.2 Dışmerkezlik nedeniyle oluşan momentler.....	97

5.3	Eurocode 8'e göre çözülen sistemin sonuç değerleri.....	99
5.4	X ve Y doğrultularındaki eşdeğer deprem yükleri.....	103
5.5	Dışmerkezlik nedeniyle oluşan momentler.....	104
5.6	Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre çözülen sistemin sonuç değerleri.....	105

ÖNSÖZ

Yapıların afetlere dayanıklı olması ve afetlerin yapılarda yarattığı zararların en aza indirilmesi için gerekli yapım kurallarını belirleyen "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" önemli oranda yenilenecek 2007 yılında Resmi Gazete'de yayınlanmış ve yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin büyük bir bölümü yapıların, ülkemizde sıklıkla ye 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 kurallar getiren ortak bir standart oluşturma gereği duymuşlardır. Bu amaçla CEN (Avrupa Standartlar Komitesi) tarafından "Eurocode 8 : Design of Structures for Earthquake Resistance" hazırlanmıştır.

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mühendisliği yüksek lisans programı çerçevesinde gerçekleştirilen bu yüksek lisans çalışmasında, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ile Eurocode 8'in genel karşılaştırılması yapılacak, bir örnek proje üzerinde deprem hesaplarındaki farklar irdelenecektir.

Çalışmalarım boyunca yol gösterici ve hoşgörülü yaklaşımı ile tezimin gelişmesindeki büyük katkıları için sayın hocam Prof. Dr. A. Zafer ÖZTÜRK'e ve başta ailem olmak üzere yetişmemde emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Mayıs 2009

K. .Mehmet YILDIRIM

ÖZET

Master tezi olarak sunulan bu çalışmada, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği ile Eurocode 8 birbirleriyle karşılaştırılmış ve iki yönetmelik çelik bir binanın karşılaştırmalı tasarımına uygulanmıştır.

Beş bölümden oluşan çalışmanın ilk bölümü konu ve çalışmanın amacını kapsamaktadır.

İkinci bölüm, Eurocode 8 ve Türk Deprem Yönetmeliği'nde değinilen genel kavram, tasarım prensipleri ve yapısal düzenlilik kavramlarının karşılaştırılmasına ayrılmıştır. Yapının beklenen deprem 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 merteye etkilerin belirlenmesi ve önceden kestirilebilen göçme mekanizmasının önlenmesi için değişik hesap ve kontrol adımlarını gerektirmektedir.

Dördüncü bölümde, çelik yapılar için özel tasarım kuralları açıklanmıştır. 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, 8 katlı çelik bir hastane yapısının eşdeğer deprem yükü metodu kullanılarak, karşılaştırmalı tasarımı için uygulanmıştır. Binanın yapısal analizi SAP 2000 bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bölümün sonunda, hesap sonuçları arasındaki sayısal farklar yardımıyla, iki kod arasındaki sayısal ayırım açığa kavuşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Deprem yönetmelikleri, Eurocode 8, çelik yapılar.

ABSTRACT

In this study, which is presented as a Master of Science Thesis, 2007 Turkish Earthquake Specifications and Eurocode 8 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 five chapters, covers the description of the subject, aim and the scope.

The second chapter explains the contents and characteristics of the two codes.

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.

In 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 foreseeable collapse mechanism.

In the fourth chapter, specific design rules for steel buildings are explained. Behaviour factors are given for different structural systems in forms of tables and formula. 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 SAP 2000 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.

Keywords : Seismic codes, Eurocode 8, steel structures.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Deprem yerkabuğu içindeki derin tabakaların çökmesine, tektonik ve volkanik etkilere bağlı olan kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzeyini sarsması olayıdır.

Amerika ve Avrupa’ da uzun yıllar önce yaygınlaşmaya başlayan çelik yapı kullanımı, ilk yatırım maliyetinin yüksek bulunmasından dolayı ülkemizde fazla rağbet görmemiştir. Deprem etkisinde sünek davranış gösterdiği ve enerji yutma kapasitesi çok yüksek olduğu için çelik yapıların kullanımında son yıllarda belirgin bir artış olmuştur. Çelik bir yapının çözümünün, betonarme sisteme göre daha hassas bir yapısı olduğu için çelik yapılarla ilgili yönetmeliklerin iyi bilinmesi gerekir.

Ülkemizde 17 Ağustos 1999 tarihinde İzmit’ de meydana gelen moment büyüklüğü $M_w=7.4$ olan depremin ardından 12 Kasım 1999’da Düzce’ de yaşanan $M_w=7.2$ büyüklüğündeki deprem, bizlere Türkiye’nin bir deprem ülkesi olduğunu hatırlatmıştır. 2007 yılında Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe giren “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” depreme maruz kalacak bina ve bina türü yapıların depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı için gerekli koşulları belirlemektedir.

Avrupa’da İtalya dışında şiddetli depremlerle karşılaşmamamıza rağmen (İtalya’da geçtiğimiz aylarda can ve mal kaybına neden olan bir deprem yaşanmıştır), Avrupa Birliği’ne dahil ülkelerin ortak çalışmalarıyla oluşturulan Avrupa Standartları (Eurocodes) arasında oldukça ayrıntılı bir depreme dayanıklı yapı tasarım standardı bulunduğu görülmektedir. Genel Sekreterliği Brüksel’de bulunan, Comité Européen de Normalisation (CEN) “Eurocode 8 : Design of Structures for Earthquake Resistance” (Eurocode 8 : Yapıların Depreme Dayanıklı Olarak Tasarımı) standardını çıkarmıştır.

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

2. TEMEL İLKELER VE KURALLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

2.1 Temel İlkeler

2.1.1 Eurocode 8

- Göçmeye Karşı Dayanım İlkesi: Yapının yerel veya genel göçmeye karşı dayanıklı olduğunu söyleyebilmek için, depremden sonra da yapı, bütünlüğünü ve yük taşıma kapasitesini sürdürebilmelidir.
- Hasar Sınırlandırılması İlkesi: Tasarım deprem yüküne nazaran daha hafif şiddette bir depremin yapıya etkileri, yapının kullanımını sınırlandıracak şekilde ya da yapı maliyetine oranla yüksek meblağlara mal olacak şekilde görülmemelidir.

Göçmeye karşı dayanım ilkesi ve hasar sınırlandırılması ilkesindeki güvenlik hedefleri, yapı çeşitlerine göre belirlenir. Yapılar önem kategorilerine göre ayrılır ve değişik güvenlik dereceleri elde edilir. Her önem derecesine karşılık bir γ_1 (önem katsayısı) bulunmaktadır.

2.1.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Yönetmeliğin amacı, deprem hareketi etkisinde kalacak olan yapıların tamamının veya bölümlerinin depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı için gerekli minimum koşulları belirtmektir. Depreme dayanıklı yapı tasarımının esaslarını koyan deprem yönetmeliği, deprem mühendisliğinin pratik sonuçlarını içerir. Yönetmeliklerin geliştirilmesinde binanın depreme dayanıklı tasarımında aşağıdaki tanımlar esas alınır.

- Hafif şiddetli bir depremde yapının mimari elemanlarında bazı çatlaklara müsaade edilirken, taşıyıcı sisteminde herhangi bir hasar meydana gelmemesi sağlanacaktır.
- Orta şiddetli bir depremde yapının taşıyıcı sisteminde hasara müsaade edilirken, bu hasarın taşıyıcı sistemde ekonomik boyutlarda onarım ve güçlendirme kabul edecek seviyede kalması sağlanacaktır.
- Şiddetli bir depremde ekonomik sınırlar içerisinde yapının onarım ve güçlendirilmesi beklenmemekte ise de, çok sayıda can kaybına sebep olabilecek şekilde, yapının toptan göçmesinin önlenmesi sağlanacaktır.

Depremler hafif, orta ve şiddetli olarak üç grupta düşünülmektedir. Ancak, bu tanımlamaları eşdeğer şiddete dönüştürecek sayısal değerler verilmemektedir. Acaba, ne kadarlık bir ivmeye yol açan deprem hafif (veya orta şiddetli) bir depremdir? Bu sorunun cevabı mühendisin sağduyusuna bırakılmış gibi gözükmektedir.

1. derece deprem bölgesinde maksimum etkin yer ivmesi 0.40 g olarak verilmektedir. Buradan hareketle, 1. derece deprem bölgesinde aşağıdaki mühendislik yargısı geçerli olabilir:

Etkin Yer İvmesi Katsayısı (g 'nin çarpanı olarak)

Şiddetli Deprem: (0.40) g

Orta şiddetteki deprem: (0.25 – 0.30) g

Hafif şiddetteki deprem: (0.15 – 0.20) g

2.2 Uyulacak Kriterler

2.2.1 Eurocode 8

Taşıma Sınır Durumu: Yapının göçmesi veya can güvenliğini tehlikeye atacak diğer yapısal bozulmaların gerçekleşmesi durumudur. Bu durumun önlenmesi için aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır:

-Yapının dayanım ve sünekliği, yapı malzemesinin lineer olmayan dayanımının kullanım oranına bağlı olarak değişir. Yapının dayanımı ve sünekliği arasındaki ilişki, q (davranış faktörü) ile karakterize edilir.

-Enerji yutucu olmayan yapılarda, histerik çevrimler sonucu enerji sönümünün olmadığı, malzemenin lineer olmayan dayanımının kullanılmadığı düşünülerek q (davranış faktörü) 1 alınır.

-Enerji yutucu yapılarda q (davranış faktörü) 1'den büyük alınır.

-Yapının tümünün deprem hareketi etkisinde kayma ve devrilme güvenliği sağlanmalıdır.

-Temel elemanlarının ve zeminin deprem etkisinin, üstyapı elemanlarına etkisi sonucu oluşabilecek kuvvetlere karşı dayanımı yeterli olmalıdır.

-İkinci mertebe etkileri göz önüne alınmalıdır.

-Deprem hareketi esnasında yapısal olmayan elemanların yapıya ve insanlara zarar verme riski ortadan kaldırılmalıdır.

Kullanılabilirlik Sınır Durumu: Yapının belirtilen kullanım gereksinimlerini karşılayamadığını ifade eden sınır durumdur. Bu durumun önlenmesi için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

-Kabul edilemeyecek zararlara karşı deformasyon limitleri sağlanarak uygun güvenlik derecesi elde edilmelidir.

-Toplum için büyük öneme sahip yapılar deprem etkisi altında, fonksiyonlarını ve işlevlerini sürdürebilmeleri için yeterli rijitliğe ve dayanıma sahip olmalıdır.

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 yeterlikte 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, bu yönetmeliğin ilgili bölümlerinde belirtilen sünek tasarım ilkelerine titizlikle riayet edilmelidir.

Düzensiz binaların tasarımından ve yapımından kaçınılmalıdır.

2.3 Tasarımda Alınacak Temel Önlemler

2.3.1 Eurocode 8

Tasarımda alınacak önlemler aşağıda sıralanmıştır:

- Yapı planda ve boy kesitte basit ve düzenli olarak tasarlanmalıdır. Eğer mecbur kalırsa yapı dinamik olarak bağımsız ünitelere bölünebilir.
- Tümöyle süneklikten, gevrek kırılmalardan 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 kademe kademe arttığı kapasite tasarım metoduna başvurulur.

- Yapının deprem performansı, yapının kritik bölgelerine veya elemanlarına bağlı olduğu için, genel olarak kritik bölgeler veya elemanlar çevrimsel şartlar altında, gerekli kuvveti aktaracak ve enerji yutacak şekilde detaylandırılmalıdır. Lineer olmayan davranış göstereceği tahmin edilen bölgelerde yapısal elemanlarla birleşim detaylarına özel olarak dikkat edilmelidir.
- Deprem sonuçlarını sınırlandırmak için, bölgesel sismik hareketlere, önem kategorisine, zemin koşuluna ve çevre planlamasına göre binanın yüksekliği veya diğer karakteristik özellikler sınırlandırılabilir.
- Yapının analizi, yapısal olmayan elemanları ve zemindeki deformasyon etkilerini göz önüne alan uygun bir yapısal modele göre yapılmalıdır.
- Yapıda, yapım aşamasında veya kullanım süresince, uygun nedenler haricinde bir değişiklik yapılmamalıdır.
- Yapıda genel olarak tek tip temel kullanılmalıdır. Eğer dinamik olarak bağımsız birimler varsa, burada farklı temel tipi kullanılabilir.

2.3.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Düzensiz binaların tasarımından ve yapımından kaçınılmalıdır. Düzensiz bina tasarımından kaçınmak için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

- Basit ve düzenli plan geometrisi tercih edilmelidir. T ve L şekilli planlar, dilatasyon derzleri ile düzenli şekillere ayrılmalıdır. Düşey doğrultuda ise, özellikle herhangi bir katta zayıf kat veya yumuşak kat durumu oluşturan düzensizliklerden kaçınılmalıdır. Bu bağlamda, taşıyıcı sistem hesabında göz önüne alınmayan, ancak kendi düzlemlerinde önemli derecede rijitliğe sahip olabilen dolgu duvarlarının bazı katlarda ve özellikle binaların giriş katlarında kaldırılması ile oluşan ani rijitlik ve dayanım azalmalarının olumsuz etkilerini gidermek için, bina taşıyıcı sisteminde gerekli önlemler alınmalıdır.

- Plan geometrisi, olabildiğince simetrik olmalıdır. Simetrisi bozuk plan geometrisine sahip yapılarda, önemli kat burulması oluşabilir. Kat burulmasına maruz yapıların, olumsuz deprem davranışını kestirebilmek zordur.
- Düşey taşıyıcılar, bütünlüğü olan bir temel sistemi ile her iki asal yönde, birbirlerine bağlanmalıdır. Kısmen kaya ve kısmen de toprak üzerine oturan temellerden kaçınılmalıdır.
- Yapı yüksekliğince gerek geometride, gerekse de rijitlikte, simetri bozukluğu olmamalıdır.

2.4 Zemin Koşulları

2.4.1 Eurocode 8

Genel olarak zemin grubunun belirlenmesi için uygun araştırmalar yapılmalıdır. Deprem sırasında inşa alanında, temel zemininde, zemin kırılması, şev instabilitesi ve sıvılaşma veya yoğunlaşmadan dolayı oluşabilecek zemin oturması gibi riskler olmamalıdır. Deprem riski düşük bölgelerdeki, önem katsayısı düşük binalar için zemin araştırması ihmal edilebilir.

Zemin Sınıfları:

Tablo 2.1 Zemin tipleri

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

Tablo 2.2 Elastik spektrum için zemin parametreleri

Zemin Sınıfı	s	β_0	k_1	k_2	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1	2.5	1	2	0.10	0.40	3
B	1	2.5	1	2	0.15	0.60	3
C	0.9	2.5	1	2	0.20	0.80	3

s : Zemin parametresi

β_0 : %5 sönüm için spektral büyütme katsayısı

k_1 ve k_2 : Sırası ile, T_C ve T_D 'den büyük titreşim periyodu için spektrum şekline etki eden değerler

T_B ve T_C : Sabit spektral ivme bölgesinin sınırları

T_D : Spektrumda sabit deplasman bölgesinin başladığını gösteren değer

2.4.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Yerel zemin koşullarının belirlenmesi için esas alınacak zemin grupları Tablo 2.3' de, yerel zemin sınıfları ise Tablo 2.4' de verilmiştir.

Tablo 2.3 Zemin Grupları

<i>Zemin Grubu</i>	<i>Zemin Grubu Tanımı</i>	<i>Stand. Penetr. (N/30)</i>	<i>Relatif Sıkılık (%)</i>	<i>Serbest Basınç Direnci (kPa)</i>	<i>Kayma Dalgası Hızı (m/s)</i>
(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 altüvyon tabakaları.....	—	—	—	< 200
	2. Gevşek kum.....	< 10	< 35	—	< 200
	3. Yumuşak kil, siltli kil.....	< 8	—	< 100	< 200

Tablo 2.4 Yerel Zemin Sınıfları

<i>Yerel Zemin Sınıfı</i>	<i>Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)</i>
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

Tablo 2.2' deki zemin parametrelerine ilişkin değerler, zemin gruplarının belirlenmesinde yol göstermek üzere verilen standart değerlerdir. Aşağıda belirtilen binalarda, gerekli saha ve laboratuvar deneylerine dayanan zemin araştırmalarının yapılması, ilgili raporların düzenlenmesi ve proje dokümanlarına eklenmesi zorunludur. Raporlarda Tablo 2.2 ve Tablo 2.3' e göre tanımlanan zemin grupları ve yerel zemin sınıfları açık olarak belirtilecektir.

- Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde toplam yüksekliği 60 metreden fazla olan tüm binalar,
- Bütün deprem bölgelerinde bina yüksekliğinden bağımsız olarak, bina önem katsayısının $I = 1.5$ ve $I = 1.4$ olduğu binalar.

Yukarıdaki maddelerin kapsamı dışında kalan diğer binalar için ise, birinci ve ikinci deprem bölgelerinde, zemin gruplarının ve yerel zemin sınıflarının Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'deki tanımlara göre belirlenmesini sağlayacak yerel bilgilerin ya da gözlem sonuçlarının deprem hesap raporlarında belirtilmesi veya bu konuda yayınlanmış kaynaklara referans verilmesi zorunludur.

Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde, Tablo 2.2'de (C) ve (D) gruplarına giren zeminlerde, deprem yükleri altında kazıkların yatay yataklanma parametreleri ile yatay ve eksenel yük

taşıma güçlerinin belirlenmesi, saha ve laboratuvar deneyleri içeren zemin araştırmalarına göre yapılacaktır.

Tablo 2.5 Spektrum Karakteristik Periyotları

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (s)	T_B (s)
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 göz önüne alınmalıdır.

2.5 Sismik Hareket

2.5.1 Eurocode 8

Yerküre, ulusal komiteler tarafından, hasar durumuna göre, çeşitli deprem bölgelerine bölünür. Her deprem bölgesindeki hasar sabit olarak kabul edilir.

Eurocode uygulamalarının çoğunluğunda hasar, a_g parametresine göre tanımlanır. a_g etkin maksimum yer ivmesidir ve tasarım yer ivmesi olarak adlandırılır.

Tasarım yer ivmesi ulusal komiteler tarafından, her deprem bölgesi için 475 yıllık tekraralama periyodu olan bir deprem seçilerek bulunur. Bu hesapta, yapı önem katsayısı $\gamma_1 = 1.0$ olarak seçilir.

Tasarım maksimum yer ivmesi a_g ' nin $0.1 g$ ' den küçük olduğu bölgeler, düşük sismisiteli deprem bölgeleridir. Bu bölgelerde bazı yapı tipi ve kategorileri için basitleştirilmiş veya azaltılmış tasarım yöntemleri kullanılabilir. Tasarım yer ivmesinin $0.04 g$ ' den düşük olduğu bölgelerde Eurocode şartlarına uymak gerekmez.

Deprem Hareketinin Temel Tanımı:

Verilen bir noktadaki deprem hareketi, genellikle, elastik zemin ivme tepki spektrumu ile temsil edilir. Bu spektruma, elastik tepki spektrumu denir. Yatay deprem hareketi aynı tepki spektrumu içinde gösterilebilen, birbirinden bağımsız ve ortogonal iki bileşene sahiptir. Spesifik çalışmalar yapılarak deprem hareketinin düşey bileşeni belirtilmemişse, düşey bileşen, ordinatların aşağıdaki azaltma çarpanları ile çarpılmaları sonucu tepki spektrumunda yatay deprem hareketi olarak gösterilebilir.

- T, titreşim periyodu 0.15 sn.den küçük ise ordinat 0.70 ile çarpılır.
- T, titreşim periyodu 0.50 sn.den büyük ise ordinat 0.50 ile çarpılır.
- T, titreşim periyodu 0.15 sn. ile 0.50 sn. arasında ise ordinat lineer enterpolasyon ile bulunur.

Bazı durumlarda sahadaki deprem hasarını tanımlayabilmek için, birden fazla spektruma gerek duyulabilir. Bu gibi durumlarda, değişik a_g tasarım yer ivmesi ve tepki spektrumu kullanılır. Şiddetli deprem bölgelerinde, önemli yapılar için, arazinin topografik yapısında dolayı oluşabilecek etkiler de göz önünde tutulmalıdır. Ulusal otoriteler, belli bir bölgedeki sismik hasarı uygun bir şekilde temsil edebilmesi için spektrumu özelleştirebilirler. Bu ancak, bölgeyi etkileyen depremlerin kaynakları mesafe ile, odaksal mekanizma ile veya bölgenin jeolojisi ile ciddi şekilde değişiyorsa gerekli olabilir. Yani sığ veya orta sıklıkta depremler için geçerlidir. Değişik deprem tipleri için, tepki spektrumunun şekil değiştirmesi gibi bazı durumlarda, a_g 'nin de farklı değerler alması normaldir.

Yatay Elastik Tepki Spektrumu:

Şekil 2.1'de gösterilen elastik tepki spektrumu, kullanılan deprem periyodu için aşağıdaki denklemler yardımıyla belirlenir:

$$0 \leq T \leq T_B \text{ ise } S_e(T) = a_g \cdot S \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad (2.1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C \text{ ise } S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \quad (2.2)$$

$$T_C \leq T \leq T_D \text{ ise } S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (2.3)$$

$$T_D \leq T \leq 4s \text{ ise } S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad (2.4)$$

$S_e(T)$: Elastik tepki spektrumu ordinatı;

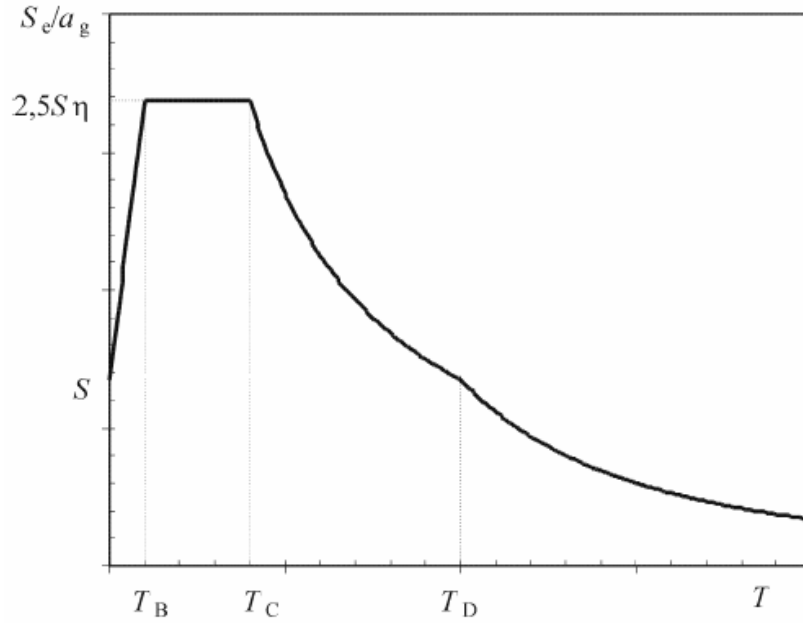
T : Tek serbestlik dereceli lineer sistemin titreşim periyodu;

a_g : Kullanılan deprem periyodu için tasarım zemin ivmesi;

T_B, T_C : Sabit spektral ivme bölgesinin sınırları;

S : Zemin parametresi;

η : Sönüm düzeltme faktörü (%5 sönüm için $\eta=1$ kabul edilir.)



Şekil 2.1 Eurocode 8’de Elastik Tepki Spektrumu

Sönüm düzeltme faktörü değeri aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55 \quad (2.5)$$

ξ : Yapının viskoz sönüm yüzde oranıdır. Özel çalışmalarda viskoz sönüm oranı için % 5'ten farklı değerler kullanılabilir.

Dikey Elastik Tepki Spektrumu:

Deprem hareketinin düşey bileşeni aşağıda verilen ifadeler kullanılarak tanımlanır.

$$0 \leq T \leq T_B \text{ ise } S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3.5 - 1) \right] \quad (2.6)$$

$$T_B \leq T \leq T_C \text{ ise } S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \quad (2.7)$$

$$T_C \leq T \leq T_D \text{ ise } S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (2.8)$$

$$T_D \leq T \leq 4s \text{ ise } S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad (2.9)$$

Maksimum Zemin Yer Değiştirmesi:

Eğer özel bir çalışma yapılarak maksimum zemin yer değiştirmesi d_g verilmemişse; d_g yaklaşık olarak aşağıdaki ifadeye göre hesaplanır.

$$d_g = 0.025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \quad (2.10)$$

Lineer Analiz İçin Tasarım Spektrumu:

Yapı sistemlerinin deprem etkilerine karşı lineer olmayan bölgedeki kapasitesi, genellikle lineer elastik davranışlarına göre daha düşük tasarım kuvvetlerine olanak sağlarlar. Tasarımda lineer olmayan yapısal analiz kullanmak yerine, lineer hesapta elemanların veya çeşitli mekanizmaların sünek davranışlarından kaynaklanan enerji yutma kapasitesi göz önüne alınır. Lineer hesapta tepki spektrumu, elastik tepki spektrumuna göre küçültülür. Buna tasarım spektrumu denir. Bu küçültme işlemi, q davranış faktörü kullanılarak yapılır. q davranış faktörü, yapının %5 viskoz sönüm oranı ile, tamamen elastik tepki verdiği durumda, yaklaşık olarak deprem kuvvetlerinin; genel modellerle, yapının yeteri derecedeki tepkisinden emin olunan tasarımda kullanılan, minimum deprem kuvvetlerine oranıdır. q davranış faktörünün, çeşitli süneklik düzeyine göre verilen çeşitli malzemeler ve yapısal sistemler için, %5 viskoz sönüm haricindeki değerleri hesaplanabilir.

Yerçekimi ivmesi g ile normalize edilmiş $S_d(T)$ tasarım spektrumu aşağıdaki ifadelerle tanımlanır.

$$0 \leq T \leq T_B \text{ ise } S_d(T) = \alpha \cdot s \cdot \left[1 + \left(\frac{T}{T_B} \right) \cdot (\beta_0 / (q - 1)) \right] \quad (2.11)$$

$$T_B \leq T \leq T_C \text{ ise } S_d(T) = \alpha \cdot s \cdot (\beta_0 / q) \quad (2.12)$$

$$T_C \leq T \leq T_D \text{ ise } S_d(T) = \alpha \cdot s \cdot (\beta_0 / q) [T_C / T]^{k_{d1}} \geq 0.20\alpha \quad (2.13)$$

$$T_D \leq T \text{ ise } S_d(T) = \alpha \cdot s (\beta_0 / q) [T_C / T_D]^{k_{d1}} [T_D / T]^{k_{d2}} \geq 0.20\alpha \quad (2.14)$$

$S_d(T)$: g ile normalize edilmiş tasarım spektrumun ordinatı

q : davranış faktörü

2.5.1.1 Deprem Hareketinin Alternatif Tanımları

Zaman- Tarih Gösterimi: Deprem hareketinin yer ivmesi, hız ve deplasman ile ilişkili nicelikleri, zaman-tarih dönemleri şeklinde de gösterilebilir. 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 Yükünün 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.

2.5.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yapılar Hakkında Yönetmelik

2.5.2.1 Genel Kabuller

Binalara etkiyen deprem yüklerinin belirlenmesinde esas alınacak olan katsayılar, tanım olarak %5 sönüm oranı için *Tasarım İvme Spektrumu*'nun yer çekimi ivmesi g 'ye bölünmesine karşı gelen "Spektral İvme" ve "Deprem Yükü Azaltma" katsayılarıdır.

Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$, Denk.(2.15) ile verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan *Elastik İvme Spektrumu*'nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme, $S_{ae}(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi g 'nin çarpımına karşı gelmektedir.

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (2.15)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) \cdot g$$

Spektral ivme katsayısının belirlenmesinde, deprem kuşaklarını hesaba katmak için kullanılan parametre *Etkin Yer İvmesi Katsayısı*, A_0 'dır ve Tablo 2.5'de tanımlanmıştır.

Tablo 2.6 Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0)

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

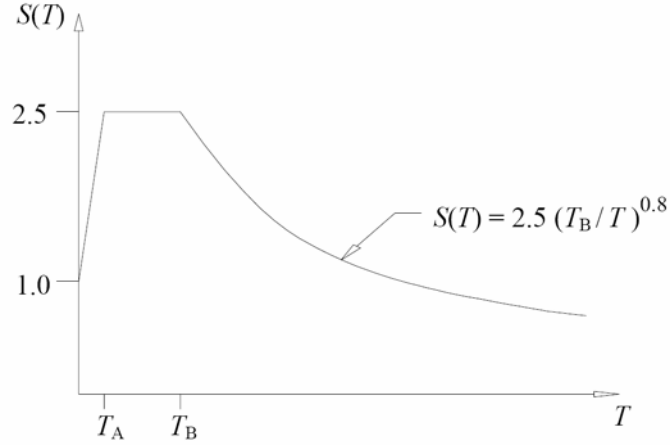
Yönetmelikte aksi belirtilmedikçe deprem yüklerinin sadece yatay düzlemde ve binanın birbirine dik iki eksenini doğrultusunda ayrı ayrı etkidikleri varsayılacaktır.

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

2.5.2.2 Deprem Yükünün Temel Tanımı

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

Deprem Hareketinin Elastik Tanımı: Spektral ivme katsayısı $A(T)$, tanım olarak %5 sönüm oranı için "elastik tasarım ivme spektrumunun" (Şekil 2.2) yerçekimi ivmesine bölünmesiyle elde edilen bir değerdir.



Şekil 2.2 Elastik tasarım ivme spektrumu

Elastik tasarım ivme spektrumunu belirleyen denklemler şunlardır:

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.16)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (2.17)$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T}\right)^{0.8} \quad (T_B < T) \quad (2.18)$$

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel denklem ve zemin koşulları gözönüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilir. Ancak bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için Tablo 2.6'daki ilgili karakteristik periyotlar göz önüne alınarak Denk. (2.15)'ten bulunacak değerlerden, hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır.

Tablo 2.7 Yerel Zemin Sınıflarına Göre Spektrum Karakteristik Periyotları

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

Deprem Hareketinin Elastik Tanımı: Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere elastik deprem yükleri, “deprem yükü azaltma katsayısına” bölünecektir.

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

$$0 \leq T \leq T_A : R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad (2.19)$$

$$T_A < T : R_a(T) = R \quad (2.20)$$

2.5.2.3 Zaman Alanında Doğrusal Elastik Veya Elastik Olmayan Çözümleme Yöntemi

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" kullanılıp sistem üç boyutlu çözülür.

Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabında, aşağıdaki özellikleri taşıyan en az beş kaydedilmiş veya "benzeştirilmiş ivme" kaydı kullanılacak ve bunlara göre elde edilen büyüklüklerin en elverişsiz olanları tasarıma esas alınacaktır. Benzeştirilmiş ivme kayıtlarının sayısının ortalama değer ve standart sapma gibi kararlı istatistiksel değerler verecek ve deprem hareketini temsil edecek şekilde seçilmesi gerekir.

- a) İvme kayıtlarındaki kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, ivmelerin zarfları $\pm 0,05$ g'den az olmamak koşulu ile, yapının birinci doğal titreşim periyodunun beş katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- b) Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerleri, bütün periyotlar için $A(T) = A_0 I S(T)$ spektral ivme katsayısı değerlerinin g ile çarpımının %90'ından az olamayacaktır. Ancak, zaman tanım alanında doğrusal hesap yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri $S_{pa}(T_r) = A(T_r)g/R_a(T_r)$ denklemi ile hesaplanacaktır.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki davranışını tanımlayan iç kuvvet - şekil değiştirme bağıntıları bu yönetmeliğin genel felsefesi çerçevesinde, geçerliliği teorik ya da deneysel olarak kanıtlanmış yöntemlerle elde edilecektir.

2.6. Deprem Yükünün Diğer Yüklerle Kombinasyonu

2.6.1 Eurocode 8

2.6.1.1 Sınır Yük Durumu

Bu sınır durumunda yapı elemanlarında meydana gelen kesit etkilerinin, güvenli bir şekilde karşılanması gerektiği açıktır. Bunun yanında, yer değiştirmelerin büyümesi nedeniyle, ikinci mertebe etkilerin büyüerek elemanda stabilite kaybının ortaya çıkmaması da gerekir. Güvenlik, bu sınır durumunda meydana gelen kesit etkilerinin karşılandığı gösterilerek sağlanır.

Çeşitli yüklerin, ilgili γ_F güvenlik katsayıları ve ψ birleştirme katsayıları ile çarpılması sonucu bulunan boyutlamaya esas olan kesit etkilerini gösteren E_d , aşağıdaki denklemi oluşturan değerlerle ilişkili olmalıdır.

$$\sum G_{kj} + \gamma_I \cdot A_{Ed} + P_k + \sum \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (2.21)$$

G_{kj} : Sabit yük j'nin karakteristik değeri

γ_I : Önem faktörü

A_{Ed} : Deprem hareketinin referans dönüşüm periyodu için karakteristik değeri

P_k : Tüm kayıplar çıktıktan sonra kalan karakteristik öngerilme kuvveti değeri

ψ_{2i} : Hareketli yük i'nin yarı sabit değeri için kombinasyon katsayısı

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

Malzeme dayanımlarının, ilgili γ_m malzeme katsayıları (beton için γ_c ve donatı için γ_s) ile bölünmesi sonucu elde edilen taşınabilecek kesit etkileri R_d ile gösterilir. $E_d < R_d$ şartının sağlanmasıyla güvenliğin sağlandığı kabul edilir.

Boyutlamaya esas olan E_d taşınması gerekli kesit tesirlerinin elde edilmesi sırasında;

a) Sürekli yüklere göre boyutlama durumu (normal kullanma durumu)

b) Geçici yüklere göre boyutlama durumu (inşaat durumu)

c) Alışılmışın dışı yüklere göre boyutlama durumu (çarpma, deprem vb. durumu) gözönüne alınır.

İlk iki boyutlama durumu için etkilerin birleştirilmesinde iki imkan söz konusudur:

- Kesin ana yük birleştirme durumu (ana birleştirme durumu)
- Basitleştirilmiş ana yük birleştirme durumu (basitleştirilmiş birleştirme durumu)

Basitleştirilmiş birleştirme durumu her zaman güvenli tarafta bulunmamakla birlikte, iki durum birbiri ile eşdeğer olarak verilmiş olup, istenilen seçilebilir. İki durumun sonuçları arasında genel olarak kabul edilebilecek küçük farklar vardır.

Ana Birleştirme Durumu: Boyutlamaya esas olan F_d yük değeri, F_k karakteristik değerinin veya ψF_k temsili değerinin, γ_F artırma katsayısı ile büyütülmesi ile elde edilir:

$$G_d = \gamma_G \cdot G_k$$

$$F_d = \gamma_F \cdot F_k$$

$$Q_d = \gamma_Q \cdot Q_k$$

Bu işlem sabit ve değişken yük için ayrı ayrı yapılır.

Tablo 2.8 Yük artırma katsayıları

Etki Türü	γ_G (sabit yük G_k)	γ_Q (değişken yük Q_k)
Arttırıcı	1.35	1.50
Azaltıcı	1.00	0

Değişken olan yüklerin en büyük şiddetleri ile hep beraber etkimesine çok ender olarak rastlanacağı için, bu yüklerin veya etkilerin bulunmasında birleştirme katsayıları ($\psi < 1$) kullanılır. Böylece herhangi bir Q_k yükünün ψQ_k temsili değeri elde edilir. Bu katsayılar kullanılarak, hareketli yükün birleştirme değeri ($\psi_0 Q_k$), sık ortaya çıkan değeri ($\psi_1 Q_k$) ve sürekli sayılabilecek değeri ($\psi_2 Q_k$) bulunur.

Tablo 2.9 Hareketli yükler için birleştirme katsayıları

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

Deprem analizinde kat ağırlıklarının hesabında göz önüne alınan yük durumu ise şöyledir:

$$\sum G_{kj} + \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{ki} \text{ (hareketli yüklerin bulunmadığı durum)} \quad (2.22)$$

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

$$\psi_{Ei} = \varphi \cdot \psi_{2i} \quad (2.23)$$

Tablo 2.8'de yer alan hareketli yük kategorileri Eurocode I'de şöyle tanımlanmaktadır:

A Kategorisi: Barınma ve temel ev içi faaliyetleri için ayrılmış alanlar, hastaneler

B Kategorisi: Ofis alanları

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

C1 : Masalı alanlar

C2 : Sabit koltuklu alanlar

C3 : İnsanların hareketi için engel bulunmayan alanlar

C4: Olası fiziksel aktiviteler için ayrılmış alanlar.

D Kategorisi: Alışveriş alanları

D1: Genel perakendeci dükkanlardaki alanlar

D2: Mağaza bölümlerindeki alanlar

E Kategorisi: Malzeme birikmesine hassas olanlar

D1: Depo alanları

D2: Kütüphaneler

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

F1: Garajlar

F2: Park alanları ve kapalı otoparklar

Yukarıda verilen yük katsayıları kullanılarak:

$$\sum (\gamma_G G_k) + \gamma_Q Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\gamma_Q \psi_{0,i} Q_{k,i}) \quad (2.24)$$

Denkleminin yardımıyla elde edilen yük altındaki statik çözümleme sonucu, E_d boyutlamaya esas olan değer (bir kesitte taşınması gereken eğilme momenti veya kesme kuvveti gibi) bulunabilir.

Görüldüğü gibi, ilk terimde sürekli yüklerin ve ikinci terimde değişken yüklerin birisinin karakteristik değerleri, ilgili güvenlik katsayısı ile artırılmaktadır. Son terimde de birinci değişken yüklerle beraber etkiyebilecek diğer değişken yüklerin artırılmış karakteristik değerleri, birleştirme katsayıları ile azaltılarak gözönüne alınmaktadır.

Fazla azaltma katsayılarından dolayı pek çok yükleme durumunda, baştan hangi yükleme durumunun elverişsiz olduğunun bilinmesi hemen hemen mümkün değildir. Bu nedenle, en elverişsiz durumun bulunması için, muhtemel bütün yükleme durumlarının incelenmesi gerekir. Örneğin bir yapı sabit yük ve değişken yük yanında kar ve rüzgar yüklerinin etkisi altında ise, Tablo 2.9'da verilen üç türlü yükleme birleştirmesinin incelenmesi gerekir.

Ayrıca tabloda gösterilen her yük durumu için bunların en elverişsiz durumlarının gözönüne alınması gerekir (değişken yük için farklı açıklıklarda değişik durumları, rüzgarın sağ veya soldan esmesi gibi).

Tablo 2.10 Yük ana birleştirme durumuna örnek

Birleştirme	$\gamma_G G_k$	$\gamma_Q Q_{k,1}$	$\gamma_Q \psi_0 Q_{k,1}$	$\gamma_Q \psi_0 Q_{k,1}$
1	sabit yük	değişken yük	kar	rüzgar
2	sabit yük	kar	değişken yük	rüzgar
3	sabit yük	rüzgar	değişken yük	kar

Basitleştirilmiş Birleştirme Durumu: Bir tane değişken yük bulunması durumunda:

$$\sum (\gamma_G G_k) + 1.5 \cdot Q_{k,1} \quad (2.25)$$

Birden fazla değişken yük bulunması durumunda:

$$\sum (\gamma_G G_k) + \sum_{i \geq 1} 1.35 \cdot Q_{k,1} \quad (2.26)$$

basitleştirilmiş yük birleştirme kullanılabilir. Elde edilen sonuçlardan elverişsiz olanı kullanılacaktır. Örneğin sabit yük, kar ve rüzgar ele alınırsa Tablo 2.10'daki yük durumlarının incelenmesi gerekir.

Tablo 2.11 Basitleştirilmiş yük birleştirme durumuna örnek

Basitleştirme	$\gamma_G G_k$	$Q_{k,1}$	$Q_{k,1}$	$Q_{k,1i}$
1	sabit yük	1.35 * değişken yük	1.35* kar	1.35 * rüzgar
2	sabit yük	1.50 * değişken yük		
3	sabit yük	1.50 * kar		
4	sabit yük	1.50 * rüzgar		

Alışılmışın Dışı Yükleme (Deprem Etkisi) Durumu Yük Birleştirmesi: Bu tür durumda, A_{Ed} deprem etkisini (alışılmışın dışı yüklemeyi) göstermek üzere yük birleştirmesi:

$$\sum (G_k) + \gamma_I A_{Ed} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{2i} Q_{ki}) \quad (2.27)$$

olarak kabul edilir. Burada γ_I bina önem katsayısı olup, ψ değerleri Tablo 2.8'den alınacaktır.

Eğer taşıyıcı sistemin bütün katlarında *İkinci Mertebe Gösterge Değeri*

$$\theta = \frac{P_{tot} d_r}{V_{tot} h} \leq 0.10 \quad (2.28)$$

ise, ikinci mertebe etkilerinin (P – Δ etkilerinin) gözönüne alınmasına gerek yoktur. Burada P_{tot} , deprem durumunda gözönüne alınan katta ve üstündeki toplam düşey yükler; d_r rölatif ortalama kat yer değiştirmesi; V_{tot} toplam deprem kat kesme kuvveti, h kat yüksekliğidir.

Hesaplanan bu değerin $0.10 < \theta < 0.20$ olması durumunda deprem etkileri $1/(1 - \theta)$ katsayısı ile artırılarak ikinci mertebe etkileri gözönüne alınabilir. $0.20 < \theta < 0.30$ durumunda ise, ikinci mertebe etkilerinin ayrıntılı biçimde hesaplanması gerekir. $\theta > 0.30$ olmasına izin verilmez ve bu durumda kesit rijitliklerinin artırılması gerekir.

2.6.1.2 Kullanılabilirlik Limit Durumu

Yapının kullanma durumunda da zamanla güvenliği zedeleyecek bir durumun ortaya çıkmaması gerekir. Özellikle elemanlarda meydana gelen çatlaklar, donatının çevre koşullarından olumsuz yönde etkilenmesine ve güvenliğin zedelenmesine sebep olur. Bunun gibi Şekil değiştirmeler yapının kullanımını olumsuz yönde sınırlayabilir. Ayrıca, hem geniş çatlaklar ve hem de büyük yer değiştirmeler yapıya karşı bir güvensizlik hissinin doğmasına sebep olur. Bu amaçla kullanım durumunda:

- Gerilme ve Şekil değiştirmelerin sınırlandırılması
- Çatlak oluşumunun sınırlandırılması, söz konusu olur.

Bu durumda güvenlik, bu sınır durumunda meydana gelen kesit etkisinin veya Şekil değiştirmenin müsaade edilenden daha küçük kaldığının gösterilmesi Şeklinde sağlanır.

- E_d çeşitli yüklerin ilgili ψ birleştirme katsayıları ile çarpılması sonucu bulunan kesit etkisi, gerilme veya şekil değiştirme ve yer değiştirme,
- C_d kesit etkisi, gerilme veya şekil değiştirmenin kullanma durumunda müsaade edilen sınır değeri olma üzere

$$E_d \leq C_d$$

Gerçekleştirilmesiyle güvenliğin sağlandığı kabul edilir.

Sınır yük durumunda olduğu gibi, ilgili parametrelerin karakteristik değerleri kullanılarak kontrolü yapılacak büyüklüklerin *Oluşabilecek Değerleri ve Kabul Edilebilecek Değerleri* belirlenir.

Kullanılabilirlik limit durumunda üç yük birleşmesi gözönüne alınır:

- Seyrek oluşabilecek yük birleştirme durumu

$$\sum (G_k) + Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{0,1} Q_{k,i}) \quad (2.29)$$

- Sık oluşabilecek yük birleştirme durumu

$$\sum (G_k) + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} Q_{k,i}) \quad (2.30)$$

Seyrek ve sık oluşabilecek yük birleştirme durumu çok katlı yapılarda, elverişsiz olanı esas olmak üzere, aşağıdaki gibi basitleştirilebilir:

- Bir tek değişken yük varsa

$$\sum (G_k) + Q_{k,1} \quad (2.31)$$

- Birden fazla değişken yük varsa

$$\sum (G_k) + 0.9 \sum_{i>1} (Q_{k,i}) \quad (2.32)$$

azaltılarak hesaba katılmalıdır.

Hangi birleştirme durumunun en elverişsiz olacağının başta bilinmesi mümkün olmayıp ekonomik bir boyutlandırma için, bütün yük birleştirme durumlarının ele alınması gerekir. Deprem etkisi yük durumu birleşmesi, sınır yük durumunda olduğu gibi

$$\sum (G_k) + \gamma_I A_{Ed} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} Q_{k,i}) \quad (2.33)$$

şeklindedir. Deprem etkisi durumunda, eğer yapısal olmayan gevrek elemanlar taşıyıcı sisteme bağlı ise, d_r rölatif ortalama kat yer değiştirmesi ve v bina önem durumuna bağlı azaltma katsayısı (Tablo 2.11) olmak üzere,

$$d_r / v \leq 0.004 h \quad (2.34)$$

ve eğer yapısal olmayan elemanlar taşıyıcı sistemin yer değiştirmesi ile etkileşimde değilse

$$d_r / v \leq 0.006 h \quad (2.35)$$

olmalıdır.

Tablo 2.12 Yer değiştirme azaltma katsayıları

Bina Önem Sınıfı	Azaltma Katsayısı v
1	2.5
2	2.5
3	2.0
4	2.0

2.6.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik

Çelik yapıların plastik teoriye göre hesap kurallarını içeren TS 4561'e göre dış yüklerin TS 498'e göre saptanan değerleri aşağıdaki yük katsayıları ile çarpılarak kullanılır.

$$1.0G + 1.0Q \pm 1.0E \quad (2.36)$$

veya

$$1.4G + 1.6Q \quad (2.37)$$

veya

$$0.9G \pm 1.0E \quad (2.38)$$

Emniyet Gerilmeleri Yöntemine göre yapılan kesit hesaplarında, birleşim ve ekler dışında emniyet gerilmeleri için TS648'deki EİY yüklemesi durumunda $\sigma_{em}^{(Eiİ)} = 1.15 \sigma_{em}^{(EY)}$ olarak hesaplanan emniyet gerilmesi, deprem durumunda en fazla $\sigma_{em}^{(Eiİ)} = 1.33 \sigma_{em}^{(EY)}$ olacak şekilde artırılabilir.

EY : Esas yüklerin toplamı

EİY : Esas ve ilave yüklerin toplamı

Bunlardan başka, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'e göre, deprem yükleri ile rüzgar yüklerinin binaya aynı zamanda etkimeydiği varsayılacak ve her bir yapı elemanının boyutlandırılmasında, deprem ya da rüzgar etkisi için hesaplanan büyüklüklerin elverişsiz olanı gözönüne alınacaktır. Ancak rüzgardan oluşacak büyüklüklerin daha elverişsiz olması durumunda bile elemanların boyutlandırılması, detaylandırılması ve birleşim noktalarının düzenlenmesinde, bu yönetmelikte belirlenen koşullara uyulmalıdır. Deprem analizinde kat ağırlıklarının hesabında gözönüne alınan yük durumu ise şöyledir:

$$w = g + n \cdot q \quad (2.39)$$

Tablo 2.13 Hareketli yük katılım katsayıları

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

Deprem yükü analizinde kar yüklerinin %30' u sabit yük olarak gözönüne alınacaktır. Endüstri binalarında; sabit ekipman ağırlıkları için n=1 alınacak, ancak vinç kaldırma yükleri kat ağırlıklarının hesabında gözönüne alınmayacaktır. Hareketli yükün "n" katsayısıyla azaltılma nedeni, deprem sırasında bütün katlarda hareketli yüklerin tamamının bulunması olasılığının düşük olmasıdır.

2.7 Deprem Durumunda Bina Önem Katsayıları

2.7.1 Eurocode 8

Yapılar, boyutlarına göre genel olarak dört önem sınıfına ayrılmıştır. Önem faktörlerinin değerleri, çökme anında meydana gelebilecek olası insan kayıplarına göre hazırlanmıştır.

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

Tablo 2.14 Bina önem sınıfları ve önem faktörleri

Önem Sınıfı	Binalar	Önem Faktörü
1	Hastaneler, itfaiye binaları, enerji santralleri gibi deprem sırasındaki bütünlükleri sivil savunma açısından hayati önem taşıyan binalar	1.4
2	Okullar, toplantı salonları, kültür- merkezleri gibi depreme dayanımları, çökmeleri halinde ortaya çıkacak manzara nedeniyle önem taşıyan binalar	1.2
3	Apartman daireleri, müstakil evler, ofis binaları gibi orta büyüklükte, sıradan binalar	1.0
4	Tarımsal faaliyetlerde kullanılan binalar gibi, toplumun güvenliği açısından çok önem taşımayan binalar	0.8

2.7.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

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

Tablo 2.15 Bina önem katsayıları

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<p><u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u></p> <p>a) Deprem sonrasında hemen kullanımı 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)</p> <p>b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p>	1.5
<p><u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u></p> <p>a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, asker, kıışlalar, cezaevleri, vb.</p> <p>b) Müzeler</p>	1.4
<p><u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u></p> <p>Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.</p>	1.2
<p><u>4. Diğer binalar</u></p> <p>Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)</p>	1.0

2.8 Genel Karşılaştırma

2.8.1 Yapıların Deprem Performansı

Afet Bölgelerindeki Yapılar Hakkında Yönetmelik'te ve Eurocode 8'de yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımında, iki temel ihtiyacın sağlanmasını esas almaktadırlar. Göçmeye karşı dayanım ve hasarın sınıflandırılması.

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, tasarım 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 dayanıma daha sahip olmalıdır.

Türk Deprem yönetmeliği ise yapıların performansını dört seviyede ele alır. Fakat bu performans seviyelerinden önce yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgelerine değinmek gerekir.

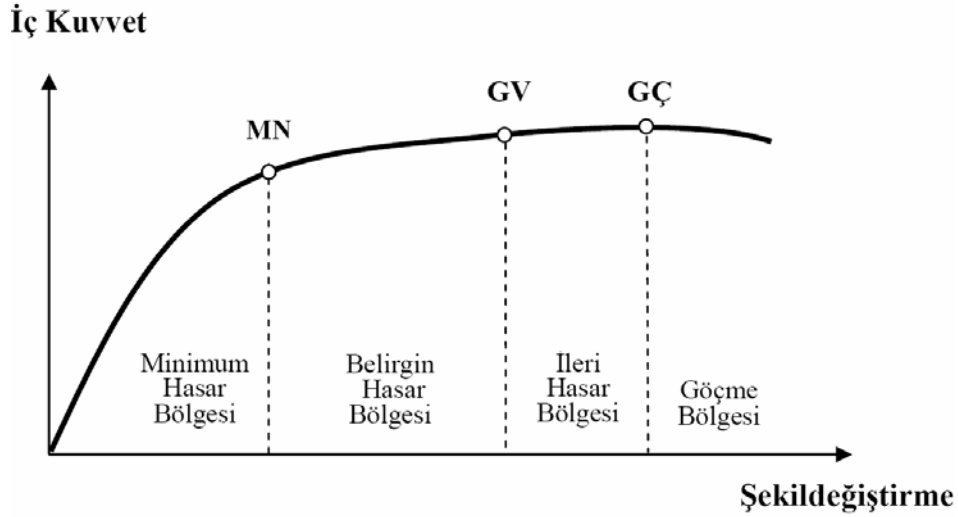
2.8.1.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

2.8.1.1.1 Kesit Hasar Sınırları

Sünek elemanlar için, kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar; *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda, bu sınıflandırma geçerli değildir.

2.8.1.1.2 Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar *Minimum Hasar Bölgesi*'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*'nde GV ve GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*'nde yer alırlar.



Şekil 2.3 Bina hasar durumları

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır.

- Hemen kullanım performans düzeyi: Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u *Belirgin Hasar Bölgesi*'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi*'ndedir.
- Can güvenliği performans düzeyi:
 - (a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı *İleri Hasar Bölgesi*'ne geçebilir.
 - (b) *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.
 - (c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi* veya *Belirgin Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme

kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

- Göçme öncesi performans düzeyi:
 - (a) Herhangi bir katta, uygulanan deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si *Göçme Bölgesi*'ne geçebilir.
 - (b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi*, *Belirgin Hasar Bölgesi* veya *İleri Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.
 - (c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.
- Göçme durumu: Bina *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'ni sağlamıyorsa *Göçme Durumu*'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

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

2.8.2 Deprem Yükünün Tanımı

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

Eurocode 8, elastik spektrumunu bir "q" davranış faktörü ile azaltarak ve "g" yerçekimi ivmesi ile normalleştirerek tasarım spektrumuna dönüştürür.

Türk Deprem Yönetmeliği'nde ise sünekliğin hesaba katılması elastik ivme spektrumuna göre hesapta bulunan toplam yükün, “R” taşıyıcı sistem davranış katsayısına bağlı “ $R_a(T)$ ” azaltma katsayısına bölünmesi suretiyle olur.

İki 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 etkiyen yükler şeklinde kabul edilmektedirler. Eurocode 8'de Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'ten farklı olarak depremin 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 analizine değinilmemiştir.

Bölgedeki deprem riski, Türk Deprem Yönetmeliği'nde “ A_0 ” etkin yer ivme 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 karşılık gelir. Burada “ a_g ” etkin maksimum yer ivmesidir. Hafif şiddette deprem bölgelerinde $a_g < 0.10 g$ olduğu ifade edilse de uygulama alanındaki deprem kuşağı etkin maksimum yer ivmesinin sayısal değerinin belirlenmesi yerel otoritelere bırakılır.

2.8.3 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 değerleri belirlemede kullanılan yarı sabit kombinasyon katsayısının kullanılması öngörülmüştür.

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

3. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

3.1 Depreme Dayanıklı Yapıda Aranılan Genel Özellikler

3.1.1 Eurocode 8

Yönetmelikte verilen kurallar deprem durumunda bina içindeki insan hayatının korunmasına, hasarın sınırlı tutulmasına ve önemli yapılardaki faaliyetin devam etmesine yöneliktir. Bunun için, taşıyıcı sistemin düzenlenmesinde aşağıdaki özelliklerin ortaya çıkmasına özen gösterilir:

- *Yapısal Basitlik:* Deprem etkilerinin, meydana geldiği yerden zemine kadar açık ve dolaysız yollardan iletilmesi sağlanmalıdır. Bu tür basitlik durumunda taşıyıcı sistemin modellenmesi, çözümlenmesi, boyutlandırılması, donatı düzeninin oluşturulması ve inşa edilmesi çok daha az belirsizlik içerir ve bu tür bir yapının deprem davranışının belirlenmesi çok daha güvenilirdir.
- *Düzensizlik ve Simetri:* Taşıyıcı sistem elemanlarının planda düzgün dağıtılması, atalet kuvvetlerinin kısa yoldan dolaysız olarak iletilmesini sağlar. Gerektiği zaman, bina parçalara bölünerek bu özellik sağlanabilir. Düşey kesitte de düzensizlik sağlanarak, gerilme yığılmaları ve büyük süneklik ihtiyacı ortadan kaldırılabilir. Plandaki kütle dağılımına uygun olarak oluşturulacak dayanım ve rijitlik dağılımı ile; kütle ve rijitlik arasındaki dışmerkezlilik en düşük düzeye indirilir.
- *İki Doğrultuda Dayanım ve Rijitlik:* Yatay deprem tesiri iki doğrultuda etkir. Bu sebepten binanın herhangi bir doğrultuda gelecek deprem etkisine dayanıklı olması gerekir. Bu husus, binada birbirine dik iki doğrultuda yeterli dayanım oluşturularak sağlanabilir. Ayrıca deprem hareketinin etkilerini en aza indirmeye çalışırken, seçilen rijitlik karakteristikleri, ikinci mertebe etkileri veya aşırı yer değiştirmelerin oluşumunu sınırlandırılabilir.
- *Burulma Dayanım ve Rijitliği:* Binalar yanal dayanım ve rijitlik yanında, burulma dayanım ve rijitliğine de sahip olmalıdır. Çünkü çeşitli yapısal elemanlarda, düzensiz olmayan yollardan gerilme oluşturan burulma hareketlerinin sınırlandırılması gerekmektedir. Bunun için, taşıyıcı sistemin ana elemanlarının bina dış çevresine yakın yerleştirilmesi uygundur.

- *Kat Seviyesinde Rijit Diyafram Etkisi:* Binaların döşemeleri, taşıyıcı sistemin davranışında; deprem kuvvetlerinin toplanması, dağıtılması ve sistemin beraber çalışması bakımından önemli bir rol oynar. Bu nedenle, özellikle karmaşık ve düzgün olmayan düşey elemanların bulunması durumunda, döşemenin diyafram etkisi önemli olur. Bunun gibi farklı yatay rijitliğe sahip (karma) sistemlerin kullanılması durumunda da sistemin bütünlüğü, döşemelerin diyafram etkisiyle sağlanır. Bu nedenle, döşemelerin yeterli rijitliğe sahip olması, kolon ve perdelerle sağlıklı bağlantılarının bulunması çok önemlidir. Planda çok dağınık veya çok uzun dikdörtgen şeklinde bina düzeninden ve büyük boşluklardan, döşemenin rijit diyafram etkisini önleyeceği için, kaçınılmalıdır.
- *Yeterli Temel:* Temelin ve üst yapıya bağlantısının yeterli seviyede düzenlenmesiyle, bütün binanın deprem etkisinde düzgün bir şekilde zorlanması ve ek etkilerin oluşmaması sağlanır. Çok farklı rijitliğe sahip kolon ve perdelerden oluşan binalarda, bütün elemanları birleştiren rijit bir temel yapılması uygundur. Tekil temel durumunda bunların bir plakla veya bağ kirişleri ile iki ana doğrultuda bağlanmaları sağlanmalıdır.

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 birisinde, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak düzeyde 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 tasarımından ve yapımından kaçınılmalıdır. Taşıyıcı sistem, planda simetrik veya simetriğe yakın düzenlenmeli ve burulma düzensizliğine olabildiğince mahal verilmemelidir. Bunun için perde gibi rijit taşıyıcı sistem elemanlarının binanın burulma rijitliğini artıracak biçimde yerleştirilmesine özen gösterilmelidir.

Düşey doğrultuda ise özellikle zayıf kat durumu oluşturan düzensizliklerden kaçınılmalıdır. Bu amaçla, taşıyıcı sistem hesabında gözönüne alınmayan, ancak kendi düzlemlerinde önemli derecede rijitliğe sahip olabilen dolgu duvarların 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 Düzensizlikler

3.2.1.1 Eurocode 8

Sismik tasarım açısından yapılar, düzenli ve düzensiz olarak ikiye ayrılırlar.

Yapısal düzensizlikler;

- Uzaysal veya basit düzlemsel yapısal modeli
- Analiz metodunu (basitleştirilmiş modal veya multi-modal)
- Boykesitteki düzensizliklere bağlı olarak azalan davranış faktörü q 'yu belirler.

Tasarımda yapısal düzensizlikle ilgili önerilere göz attığımızda, Tablo 3.1'de yapısal düzensizlik karakterlerinin planda ve boykesitte olmak üzere ikiye ayrıldığını görürüz.

Tablo 3.1 Sismik tasarımda yapısal düzensizlikler

Düzenlilik		İzin Verilen Basitleştirme		Davranış
Plan	Boykesit	Model	Lineer-Elastik Analiz	
Var	Var	Düzlemsel	Basitleştirilmiş	Tablo değeri
Var	Yok	Düzlemsel	Modal	Azaltılmış
Yok	Var	Uzaysal	Basitleştirilmiş	Tablo değeri
Yok	Yok			

3.2.1.1.1 Planda Düzensizlik İçin Kriterler

Taşıyıcı Sistem Düzenliliği: Binanın yapısı, eğilme rijitliği ve kütlelerin dağılımı açısından planda dikey eksenlere göre gözönüne alınan iki deprem doğrultusunda da simetrik bir düzen göstermelidir.

Planda Girinti ve Çıkıntı Düzenliliği: Plandaki düzenleniş derli toplu olmalıdır. L, C, H, I ve X gibi bölünmüş şekillerden kaçınılmalıdır. Planda gözönüne alınan doğrultudaki girinti ve oyukların toplam boyutu, planın dıştan dışa boyutunun %25'ini aşmamalıdır.

Döşeme Sürekliliğinin Düzenliliği: Döşemenin düzlemsel rijitliği, rijit diyafram kabulüne uyacak şekilde büyük olmalıdır. Deformasyonlar küçük ve kuvvet dağılımı üzerinde etkisiz olmalıdır.

Burulma Düzenliliği: %5'lik dışmerkezlikle etkileyen deprem kuvveti için, bir katta deprem kuvveti doğrultusundaki maksimum yer değiştirme, katın ortalama yer değiştirmesini %20'den fazla aşamaz.

3.2.1.1.2 Boykesitte Düzensizlik İçin Kriterler

Süreksizlik Düzenliliği: Perde ve kolonlar gibi yatay yük taşıyan elemanlar, binanın tepesine kadar (değişiklik yüksekliklerde basamaklı düzenleniş söz konusu ise ilgili kuşağa kadar) sürekli, kesilmeden devam etmelidir.

Rijitlik Düzenliliği: Eğilme rijitliği ve kütle, temelden tepeye kadar her yeni katta ya sabit kalmalı ya da ani değişim olmaksızın kademeli olarak azalmalıdır.

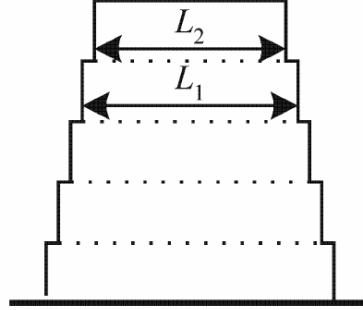
Dayanım Düzenliliği: Çerçevesiz binalarda, katın gerçek dayanımının, analiz sonucunda gerekli görülen dayanıma oranı, alt ve üst komşu katlar arasında orantısız olarak değişmemelidir. Bu yüzden betonarme ve yığma dolgulu yapılarda iyileştirici önlemlere başvurulur.

Geri Çekilme Düzenliliği Bina yükseldikçe kat alanı planda küçülüyorsa (dış noktada geride inşa etme durumu varsa), bu tarz basamaklı yapılar için aşağıdaki özel güvenlik şartlarına uyulmalıdır.

a) Simetrik gerilemede

$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0.20 \quad (3.1)$$

olmalıdır.

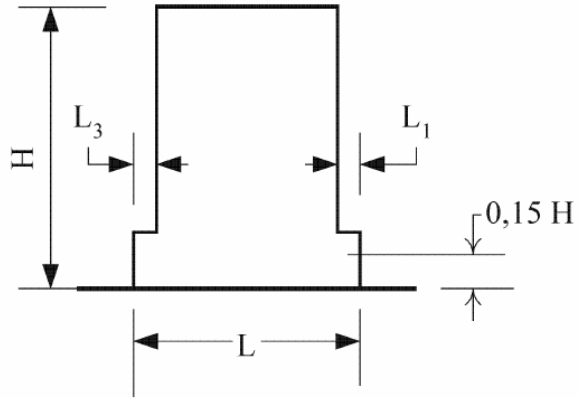


Şekil 3.1 Eurocode 8'de düzenlilik kriterleri

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

$$\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0.20 \quad (3.2)$$

olmalıdır.

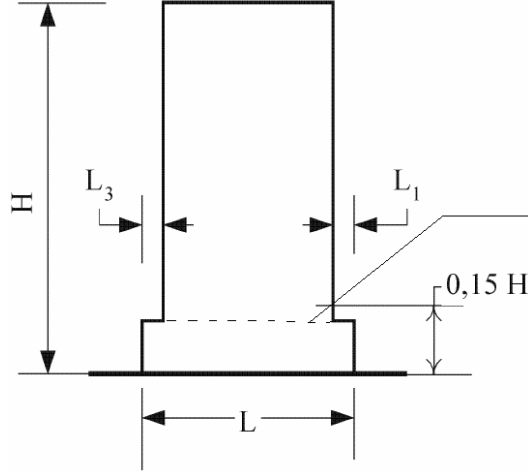


Şekil 3.2 Eurocode 8'de düzenlilik kriterleri

c) Simetrik ancak (0.15 H) yüksekliğinin altındaki gerilemede

$$\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0.50 \quad (3.3)$$

olmalıdır.



Bu kısım aşağıda genişleme olmayan benzer binada aynı bölgede meydana gelecek kesme kuvvetinin en az %75'ini taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır.

Şekil 3.3 Eurocode 8'de düzenlilik kriterleri

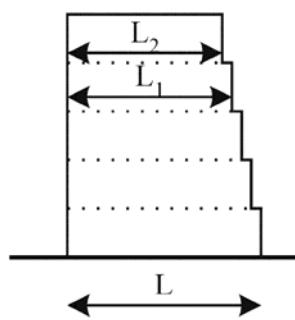
d) Simetrik olmayan gerilemede

$$\frac{L - L_2}{L} \leq 0.30 \quad (3.4)$$

ve

$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0.10 \quad (3.5)$$

olmalıdır.



Şekil 3.4 Eurocode 8'de düzenlilik kriterleri

- Eksenel simetrisi korunan düşey değişken kesitli binalarda plandaki herhangi bir kesit ile bir önceki kesit arasındaki oran %20'den fazla olamaz. (a,b)
- Toplam bina yüksekliğinin %15'i içinde düşey kesitte sadece 1 defa değişim bulunan binalarda, değişim bir önceki kesitin %50'sinden fazla olamaz. Buna göre üst katların çevresinin izdüşümünde zemin bölgesinin yapısı, zemin genişletilmesi yapılmamış benzer bir binada oluşacak yanal kesme kuvvetlerinin %75'ini karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. (c)
- Düşey değişken kesitli binalarda simetri korunmuyorsa her iki yüzde değişim toplamı ilk katın boyutlarının %30'undan fazla olamaz. Ayrıca herhangi bir katta bir önceki kata göre değişim %10'dan fazla olamaz. (d)

3.2.1.2 Afet Bölgelerinde Yapılan Yapılar Hakkında Yönetmelik

Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensiz binaların tanımlanması ile ilgili olarak, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar ve bunlarla ilgili koşullar aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.2 Düzensiz Binalar

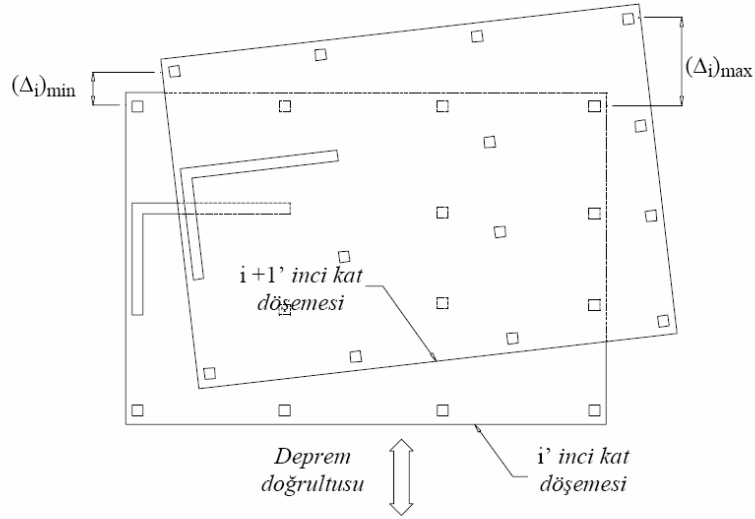
<p>A – PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI</p> <p>A1 – Burulma Düzensizliği : Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden <i>Burulma Düzensizliği Katsayısı</i> η_{bi}'nin 1.2'den büyük olması durumu $[\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2]$</p> <p>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 durumu</p> <p>A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması : Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Şekil 2.3).</p>
<p>B – DÜŞEY DOĞRULTUDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI</p> <p>B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) : Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki <i>etkili kesme alanı</i>'nın, bir üst kattaki <i>etkili kesme alanı</i>'na oranı olarak tanımlanan <i>Dayanım Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ci}'nin 0.80'den küçük olması durumu. $[\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80]$ <i>Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:</i> $\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k$</p> <p>B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) : Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan <i>Rijitlik Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ki}'nin 2.0'den fazla olması durumu. $[\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort} > 2.0$ veya $\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort} > 2.0]$</p> <p>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 alta kolonlara oturtulması durumu</p>

3.2.1.2.1 Planda Düzensizlik Durumları

A1 – Burulma Düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun her biri için, herhangi bir katta en büyük görel kat ötelemesinin, o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranını ifade eden *Burulma Düzensizliği Katsayısı*, η_{bi} ' nin 1.2'den büyük olması durumu:

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}} > 1.2 \quad (3.6)$$

Görel kat ötelemelerinin hesabı \pm %5 ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak hesaplanacaktır.



Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

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

Burulma düzensizliği katsayısı :

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}}$$

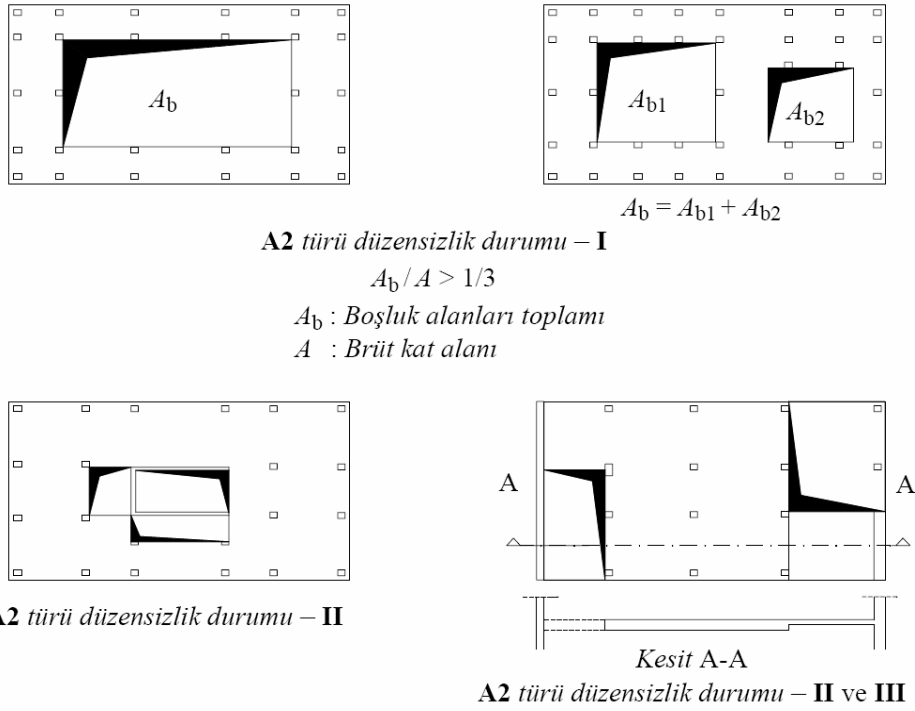
Burulma düzensizliği durumu : $\eta_{bi} > 1.2$

Şekil 3.5 A.B.Y.Y.H.Y.'ye göre burulma düzensizliği

A2 – Döşeme Süreksizlikleri: Herhangi bir kattaki döşemede;

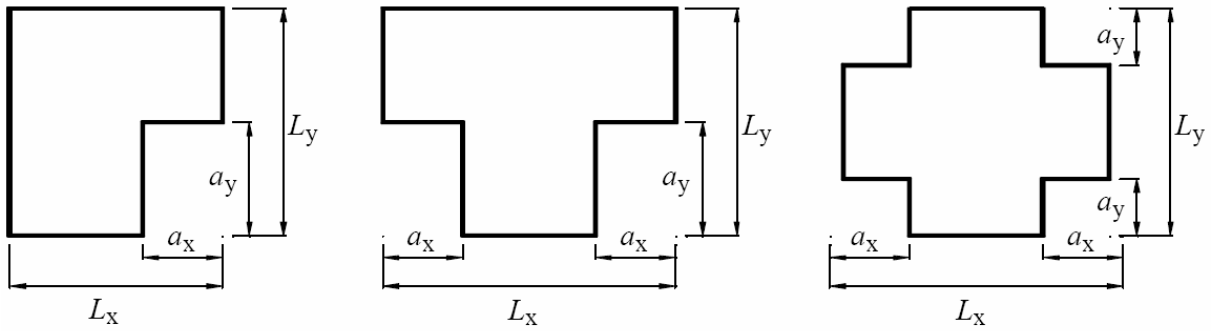
- 1) Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,
- 2) Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,

3) Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu.



Şekil 3.6 A.B.Y.Y.H.Y.'ye göre döşeme süreksizlikleri

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.



Şekil 3.7 A.B.Y.Y.H.Y.'ye göre planda çıkıntı düzensizlikleri

3.2.1.2.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

B1 –Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): 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.

$$\eta_{ci} = \left(\sum A_e \right)_i / \left(\sum A_e \right)_{i+1} < 0.80 \quad (3.7)$$

Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \quad (3.8)$$

η_{ci} : i’inci katta tanımlanan *Dayanım Düzensizliği Katsayısı*

$\sum A_e$: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı

$\sum A_w$: Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları olan A_w ’ların toplamı

$\sum A_g$: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı

$\sum A_k$: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı

B2 –Komşu Katlar Arasında Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i’nci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} ’nin 2.0’den fazla olması durumu.

$$\eta_{ki} = \left(\Delta_i / h_i \right)_{ort} / \left(\Delta_{i+1} / h_{i+1} \right)_{ort} > 2.0 \quad (3.9)$$

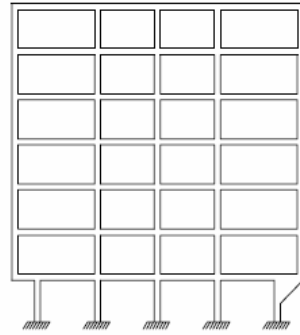
veya

$$\eta_{ki} = \left(\Delta_i / h_i \right)_{ort} / \left(\Delta_{i-1} / h_{i-1} \right)_{ort} > 2.0 \quad (3.10)$$

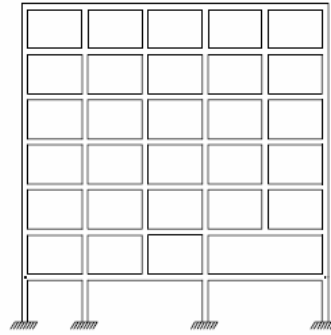
B3 –Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı Sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu.

B3 türü düzensizliğin bulunduğu binalara ilişkin koşullar, bütün deprem bölgelerinde uygulanmak üzere aşağıda belirtilmiştir:

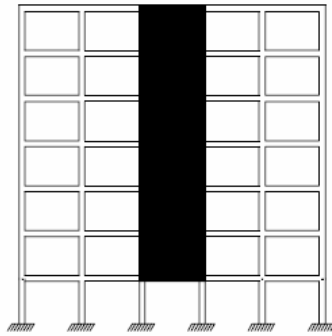
- Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.
- Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda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



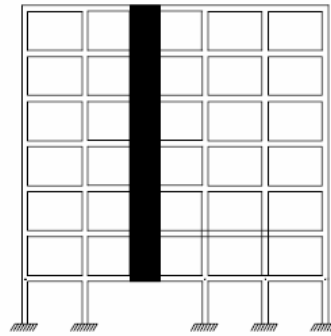
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.8 A.B.Y.Y.H.Y.'ye göre izin verilmeyen durumlar

3.2.1.3 Genel Karşılaştırma

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

3.2.2 Yapısal Analiz

3.2.2.1 Eurocode 8'e Göre Modelleme ve Analiz Metotları

Bina modeli, rijitlik ve kütle dağılımını yeteri kadar sağlayacak şekilde olmalıdır. Böylece etkin deformasyon şekilleri ve atalet kuvvetleri sismik hareket gözönüne alındığında uygun bir şekilde hesaplanabilir.

Yapının genel olarak yatay diyaframlarla birbirine bağlanmış yatay ve düşey yük taşıyıcı sistemlerinden oluştuğu düşünülebilir. Eğer binanın döşemeleri kendi düzlemi içerisinde yeterince rijitse atalet momentleri ve kütleler ağırlık merkezine etkiyormuş gibi bir noktada toplanabilir. Böylelikle her döşemede sistemin serbestlik derecesi 3'e (yatay yer değiştirmeler ve düşey eksen etrafında dönme) düşürülmüş olur.

Düzenlilik şartlarına uyan binalarda her biri kendi doğrultusunda olmak üzere iki düzlemsel model kullanılabilir.

Rastlantısal Burulma Etkileri: Hesaplanan gerçek dışmerkezliklere ek olarak kütle merkezinin yerinin belirsizliği ve deprem hareketinin uzaysal değişimini gözönünde bulundurmak için her katta hesaplanan kütle merkezinin nominal yerine her bir doğrultuda tesadüfi dışmerkezlik ilave edilir.

e_{ai} : i katının kütle merkezinin nominal yerine uygulanacak rastlantısal dışmerkezlik. Bu dışmerkezlik bütün katlarda aynı doğrultuda uygulanmalıdır.

L_i : Deprem doğrultusuna dik doğrultudaki döşeme uzunluğu

Analiz Metotları:

Eurocode 8’de, yapılar için çeşitli hesap metotları önerilmiştir. Binanın yapısal karakterine göre aşağıdaki iki metottan biri tercih edilebilir.

- Basitleştirilmiş Modal Tepki Spektrum Analizi
- Modal Tepki Spektrum Analizi (Bu metot bütün yapı tipleri için uygulanabilmektedir.)

Bu analiz metotlarına alternatif olarak, zaman tarih analizi, güç spektrum analizi ve frekans alan analizi de kullanılabilir.

Basitleştirilmiş Modal Tepki Spektrum Analizi:

İki doğrultuda ayrı ayrı uygulanan bu yöntem yüksek modların etkisinin ihmal edilebileceği binalar için uygundur. Basitleştirilmiş modal tepki spektrumunu kullanabilmek için daha önce bahsedilen yatayda ve düşeyde düzenlilik şartlarının sağlanması gerekmektedir. Binada girinti ve çıkıntı düzensizliği yoktur (döşemeler kendi düzleminde rijit diyafram kabul edilebilir, rijitlik merkezi ve kütle merkezi birbirine yakındır) ve döşeme süreksizliği mevcut değildir. Ayrıca binanın etkin titreşim periyodu T_1 her iki doğrultuda da;

$$T_1 \leq 4T_c \text{ veya } T_1 \leq 2.0sn \text{ şartını sağlamalıdır.}$$

Taban Kesme Kuvveti:

Taban kesme kuvveti F_b hesaplanan doğrultuda Denk. 3.11’ deki gibi hesaplanır.

$$F_b = S_d(T_1) \cdot W \quad (3.11)$$

$S_d(T_1)$: Tasarım spektrumunun T_1 periyodundaki değeri.

T_1 : Binanın gözönüne alınan doğrultudaki çevrimsel hareketten dolayı etkin titreşim periyodu.

W : Binanın deprem yükünde kullanılacak ağırlığı.

$$W_i = g_i + \varphi_{Ei} \cdot q_i \quad (3.12)$$

Binanın etkin titreşim periyodunu hesaplamak için dinamik hesap metotlarına dayanan yaklaşık ifadeler kullanılabilir.

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4} \quad (3.13)$$

C_t değeri yapı tiplerine göre aşağıdaki değerleri alır.

$C_t=0.085$ moment taşıyıcı çelik çerçevelerde

$C_t=0.075$ moment taşıyıcı betonarme sistemlerde ve dışmerkez güçlendirilmiş çelik çerçevelerde

$C_t=0.050$ diğer tüm binalarda

Bu formülde H bina yüksekliğini ifade etmektedir.

Başka bir yaklaşık formüle göre $T_1 = 2\sqrt{d}$ olarak yazılabilir. Burada d; binanın yerçekimi yüklerinin yatay olarak etkimesi durumunda en üst noktada yapacağı yer değiştirmenin metre cinsinden ifadesi olarak tanımlanır.

Yatay Deprem Kuvvetinin Dağılımı:

İki boyutlu düzlemsel modelde F_i yatay kuvvetler m kat kütlelerine etkilirler.

Yatay deprem kuvveti $F_i = F_b \frac{s_i W_i}{\sum s_j W_j}$ olarak dağıtılır.

Burada;

F_i : Her kata karşılık gelen yatay kuvvet,

F_b : Taban kesme kuvveti,

s_i, s_j : m_i, m_j kütlelerinin yer değiştirmesi,

w_i, w_j : m_i, m_j kütlelerinin ağırlıklarıdır.

Eğer etkin mod şeklinde yatay yer değiştirmeler yükseklikle artıyorsa yatay yer değiştirmeler kütlelerin yerden yükseklikleri ile de ifade edilebilir.

$$F_i = F_b \frac{z_i W_i}{\sum z_j W_j} \quad (3.14)$$

z_i, z_j : m_i, m_j kütlelerinin yatay deprem kuvvetinin uygulandığı yerden olan yüksekliği.

Burulma Etkileri:

Yanal rijitlik ve kütlelerin simetrik olması durumunda iken rastlantısal burulma etkileri belirli bir yöntemle incelenmiyorsa, tesadüfi burulma etkileri her bir yük taşıyan eleman için δ katsayısıyla arttırılarak hesaba katılacaktır.

$$\delta = 1 + 0.6 \cdot \frac{x}{L_e} \quad (3.15)$$

x : Elemanın bina merkezine deprem hareketi doğrultusundaki dik uzaklığıdır.

L_e : Yanal yük taşıyan iki eleman arasındaki en uzak mesafedir.

Modal Tepki Spektrum Analizi:

Planda düzenlilik şartlarını sağlayan yapılarda düzlemsel modelleme yapılarak Modal tepki spektrumu analizi uygulanır. Eğer bu şartlara uyulmazsa yapının üç boyutlu olarak modellenmesi yapılarak çözümü yapılabilir.

Bu analizde bina modları dikkate alınırken efektif modal kütlelerin toplamının binanın toplam kütlelerinin %90'ından fazla olması gerekmektedir. Ayrıca efektif modal kütlesi bina kütlelerinin %5'inden büyük olan tüm modların gözönüne alındığı gösterilmelidir. Efektif modal kütle aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_{bk} = S_d(T_k) \cdot m_k \cdot g \quad (3.16)$$

Buradan da anlaşılacağı üzere binanın bütün modlarına ait efektif modal kütleleri toplamı bina kütlelerine eşittir.

Uzaysal modelin kullanıldığı durumlarda yukarıdaki bağıntı, hangi doğrultuda hesap yapılıyorsa o doğrultuda sağlanmalıdır.

Eğer etkin modal kütlelerin önemli bir bölümü burulma modları tarafından karşılanıyorsa uzaysal modda hesaba katılacak "k" mod sayısı aşağıdaki şartları sağlamalıdır.

$$k \geq 3\sqrt{n} \quad (3.17)$$

ve

$$T_k \leq 0.2sn \quad (3.18)$$

k : Mod sayısı

n : Yer üzerindeki kat sayısı

T_k : Titreşim periyodu

Modal Tepkilerin Birleştirilmesi:

Çevrimsel ve burulma modlarını içeren 2, i ve j titreşim mod tepkilerinin birbirinden bağımsız olarak düşünülmesi için T_i ve T_j periyotları aşağıdaki şartı sağlamalıdır.

$$T_j \leq 0.9 \cdot T_i \quad (3.19)$$

Bahsedilen modlardan her biri birbirinden bağımsız modlar olarak kabul edilebilir. Bu durumda E_E maksimum değeri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$E_E = \sqrt{\sum E_{Ei}^2} \quad (3.20)$$

E_E : Deprem hareketinin etkisi (kuvvet ve yer değiştirme)

E_{Ei} : i titreşim modundaki deprem hareketinin etkisi

Eğer modlar birbirinden bağımsız değilse modal kombinasyon için CQC (tam kuadratik kombinasyon) gibi daha kesin işlemler yapılmalıdır.

Burulma Etkileri:

Analizde uzaysal model kullanıldığı durumlarda tesadüfi burulma etkileri her “i” katında, kat düzlemine dik M_{1j} burulma momentini de içerecek statik yüklerin analizinin zarfı olarak incelenebilir.

$$M_{1i} = e_{1i} \cdot F_i \quad (3.21)$$

M_{1i} : “i” katının düşey eksene göre burulma momenti

e_{1i} : “i” katının tesadüfi dışmerkezliği

F_i : “i” katına etkiyen yatay kuvvet

Burulma Etkileri İçin Yaklaşık Hesap : Analiz düzlemsel bir modellemeye göre yapılıyorsa her iki ana doğrultu için ayrı ayrı hesaplanır. Her “i” katına gelen yatay F_i deprem kuvveti,

kütle merkezinin nominal yerinden e_2 gibi bir dışmerkezlilik göz önüne alınarak etkiği kabul edilebilir. Bu dışmerkezliğin minimum değeri aşağıda verilmiştir.

$$e_2 = 0.1 \cdot (L + B) \cdot \sqrt{10 \cdot \frac{e_0}{L}} \leq 0.1 \cdot (L + B) \quad (3.22)$$

ve

$$e_2 = \frac{1}{2e_0} \left[l_s^2 - e_0^2 - r^2 + \sqrt{(l_s^2 + e_0^2 - r^2)^2 + 4e_0^2 r^2} \right] \quad (3.23)$$

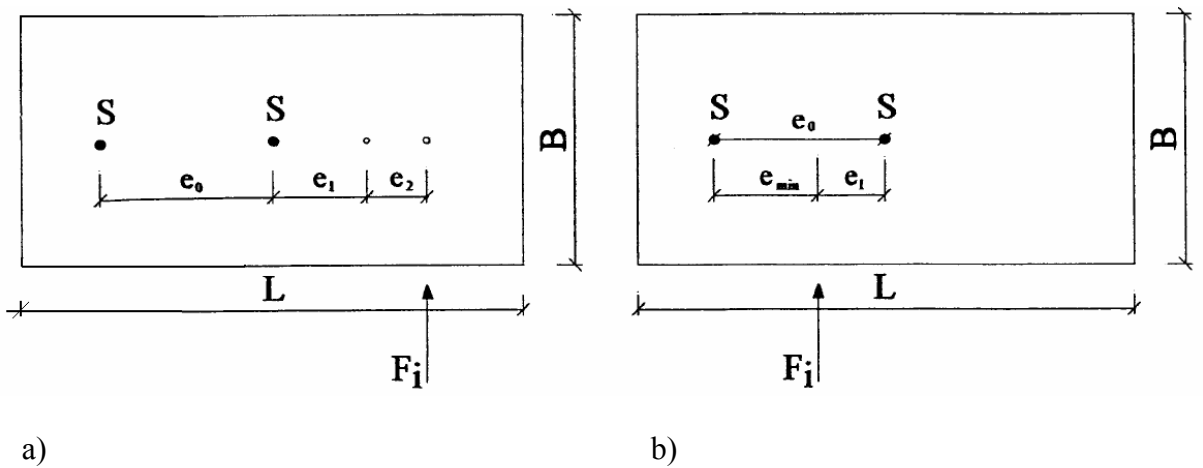
e_2 : Eşzamanlı çevrimsel ve burulma titreşimlerini hesaba katmak için gözönüne alınan dışmerkezlik

e_0 : Yapının rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki gerçek dışmerkezlik

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

r^2 : Kat burulma ve yanal rijitlik oranı (burulma yarıçapının karesi)

e_2 ilave edilen dışmerkezlik $r^2 > 5 \cdot (l_s^2 + e_0^2)$ olduğu durumlarda ihmal edilebilir. Bu durumda F_i deprem kuvveti dışmerkezliğini maksimum ve minimum olduğu durumda hesaplanarak burulma etkileri bulunabilir.



Şekil 3.9 Deprem Yükünün Dışmerkezlikleri a) maksimum, b) minimum

$$M_i = F_i \cdot e_{\max} = F_i \cdot (e_0 + e_1 + e_2) \quad (3.24)$$

$$M_i = F_i \cdot e_{\max} = F_i \cdot (e_0 - e_1) \quad (3.25)$$

olarak hesaplanır.

Alternatif Analiz Metotları:

Yapının alternatif analiz metotları ile analizinin yapıldığı durumlarda, yapının daha önce anlatılan temel gereksinimleri belirli bir güvenlik oranı ile sağladığı gösterilmelidir. Alternatif analiz metotlarının sağlamak zorunda olduğu iki kural vardır:

- Her iki doğrultuda mesnetlerde hesaplanan kesme kuvvetlerinin toplamı, bu mesnetlerde modal analiz sonucunda bulunan kesme kuvvetinin %80'inden az olmayacaktır.
- Alternatif analiz metotlarında elde edilen kesme kuvvetleri toplamı herhangi bir doğrultuda modal analiz sonucunda elde edilen mesnetlerdeki kesme kuvvetinin %80'inden az ise hesaplanan bütün tepki değişkenleri bir önceki şartı sağlayacak şekilde orantılı olarak arttırılmalıdır.

Güç Spektrumu Analizi:

Yapının ivme-güç spektrum verileri kullanılarak modal analiz veya frekansa bağlı tepki matrisi analiz metotlarından biri ile lineer skolastik analizidir.

Elastik hareket etkileri, hareketin zaman tanım aralığında olası pik tepkinin %50'si olarak tanımlanır. Tasarım değerleri, bu elastik hareket etkilerini; elastik tepki spektrumunun ordinatlarının yapının tasarım spektrumunun ordinatları oranına bölerek bulunur.

Zaman – Tarih Analizi:

Yapının zamana bağlı tepkisi, zeminin hareketini gösteren akselogramlar kullanılarak elde edilen diferansiyel denklemlerin nümerik integrasyonu ile elde edilir.

Frekans Alanı Analizi:

Deprem hareketi girileri zaman tarih analizindeki gibidir. Fakat bunda akselograf değerleri Fourier serisine çevrilir. Yapının tepkisi, frekans alan girdilerinin harmonik bileşenlerinin kendi frekans tepki matrisi ve fonksiyonlarının birleştirilmesi ile elde edilir. Elastik hareket etkileri çeşitli akselografların tepe noktalarının ortalamasına göre tanımlanır.

Deprem Hareketi Bileşenlerinin Birleştirilmesi:

-Deprem Hareketinin Yatay Bileşeni:

Deprem hareketinin ortogonal ve birbirinden bağımsız yatay bileşenlerinin eş zamanlı olarak etkidiği düşünülür.

Her yatay bileşenin yapının tepkisi daha önce mod birleştirme yönteminde açıklandığı gibi ayrı ayrı olarak hesaplanır, ya da her iki yöndeki maksimum etkilerin kareleri toplamının karekökü alınarak yaklaşık bir hesap yapılır.

$$E_{Edx} + 0.30E_{Edy} \quad (3.26)$$

$$0.30E_{Edx} + E_{Edy} \quad (3.27)$$

Kombinasyonları yapılarak hesaba katılır.

-Deprem Hareketinin Düşey Bileşeni:

Deprem hareketinin düşey bileşeni aşağıdaki durumlarda gözönüne alınmalıdır:

- Yatay veya yaklaşık olarak yatay olan yapıların açıklığı 20 m.den fazla olduğunda
- Yatay veya yaklaşık olarak yatay olan konsol elemanların uzunluğu 5m.den fazla olduğunda
- Yatay veya yaklaşık olarak olan öngermeli elemanlar olduğunda

Genel olarak deprem hareketinin düşey bileşeninin analizinde, hesabı yapılmak istenen eleman, elemana bitişik elemanlar ve rijitlikleri gözönüne alınarak kısmi bir modelleme yapılır.

Elemana etkiyen yatay ve düşey deprem etkilerinin kombinasyonu;

$$E_{Edx} + 0.30E_{Edy} + 0.30E_{Edz} \quad (3.28)$$

$$0.30E_{Edx} + E_{Edy} + 0.30E_{Edz} \quad (3.29)$$

$$0.30E_{Edx} + 0.30E_{Edy} + E_{Edz} \quad (3.30)$$

Yer Değiştirme Analizi:

Deprem hareketinden dolayı oluşan yer değiştirme aşağıdaki basitleştirilmiş ifade ile hesaplanabilir:

$$d_s = q_d \cdot d_e \quad (3.31)$$

3.2.2.2 A.B.Y.Y.H.Y'E Göre Yapısal Analiz ve Analiz Yöntemleri

Binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler sırasıyla, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanı hesap yöntemidir. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi diğer yöntemlere göre daha basit bir yöntem olduğundan dolayı deprem hesabı yaparken tercih edilir. Fakat bütün bina ve bina türü yapılar için bu yöntem uygulanamaz. A.B.Y.Y.H.Y. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Tablo 3.3'e göre sınırlandırılmıştır.

Tablo 3.3 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin Uygulanabileceği Binalar

<i>Deprem Bölgesi</i>	<i>Bina Türü</i>	<i>Toplam Yükseklik Sınırı</i>
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$ m

Analiz Yöntemleri:

-Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi:

Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü'nün Belirlenmesi: Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkileyen Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (taban kesme kuvveti), V_t , Denk. (3.32) ile belirlenecektir.

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 IW \quad (3.32)$$

Binanın birinci doğal titreşim periyodu denklem (3.29)'a göre hesaplanır. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanması durumunda, binanın deprem doğrultusundaki hakim doğal periyodu, Denk.(3.33) ile hesaplanan değerden daha büyük alınmayacaktır.

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (3.33)$$

Burada $m_i = w_i/g$ i'inci katın kütesini belirtmektedir.

Katlara Etkiyen Deprem Yüklerinin Belirlenmesi: Denk. (3.32) ile elde edilen deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak Denk.(3.34) ile ifade edilir (Şekil 3.9a):

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (3.34)$$

Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N 'in değeri Denk.(3.35) ile belirlenecektir.

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_t \quad (3.35)$$

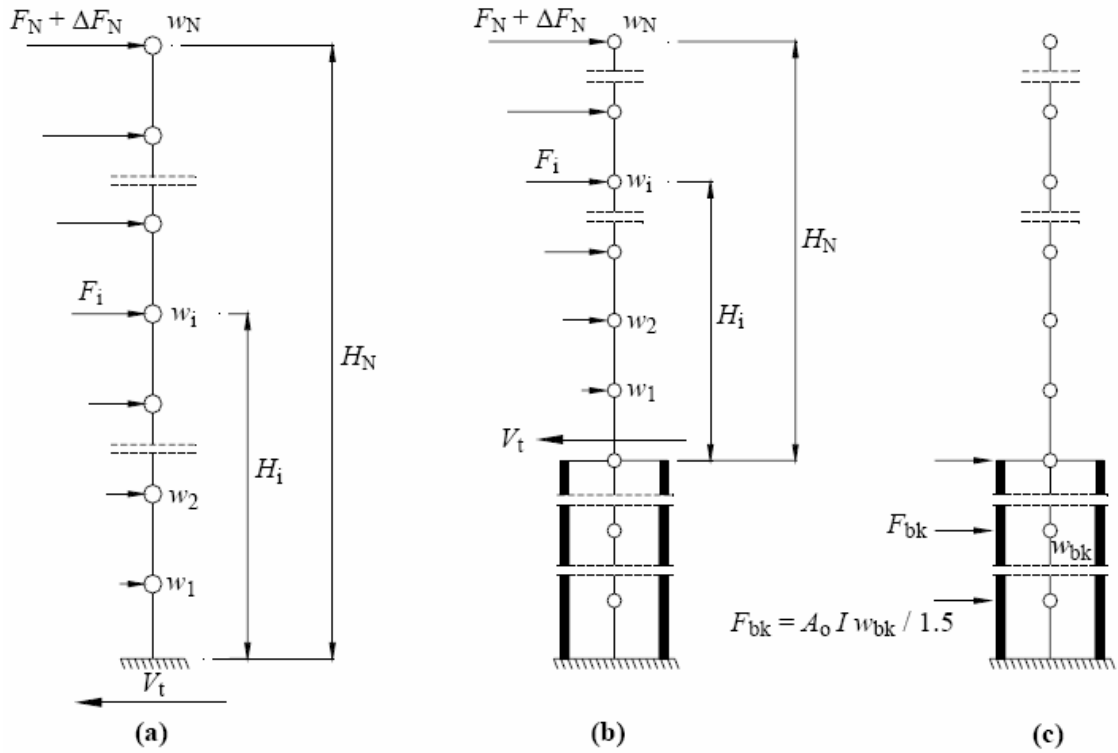
Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, Bina katlarına Denk.(3.36) ile dağıtılacaktır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (3.36)$$

Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, bodrum katlarına ve üstteki katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri, aşağıda belirtildiği üzere, ayrı ayrı hesaplanacaktır. Bu yükler, üst ve alt katların birleşiminden oluşan taşıyıcı sisteme birlikte uygulanacaktır.

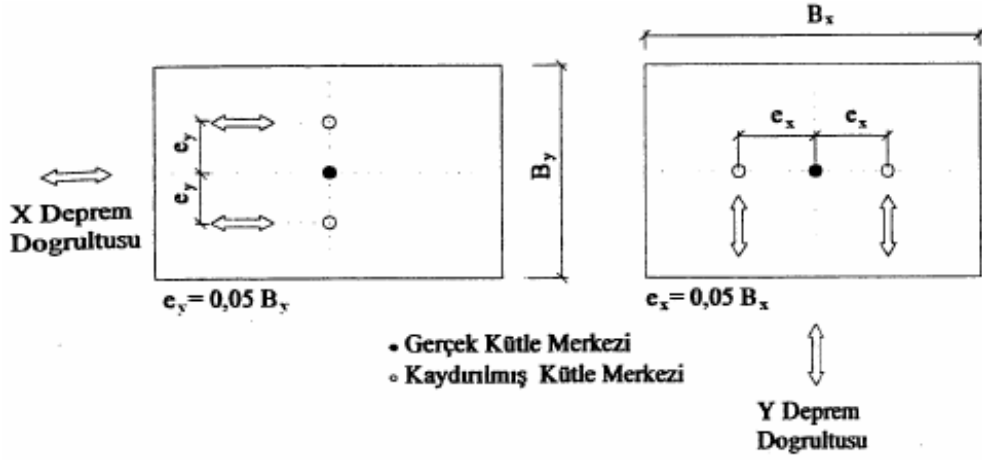
- (a) Üstteki katlara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün ve eşdeğer kat deprem yüklerinin belirlenmesinde, bodrum rijit çevre perdeleri göz önüne alınmaksızın Tablo 2.5'ten seçilen R katsayısı kullanılacak ve sadece üstteki katların ağırlıkları hesaba katılacaktır. Bu durumda ilgili bütün tanım ve bağıntılarda temel üst kotu yerine zemin katın kotu gözönüne alınacaktır. Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında da, fiktif yüklerin belirlenmesi için sadece üstteki katların ağırlıkları kullanılacaktır. (Şekil 3.9b)

- (b) Rijit bodrum katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesabında, sadece bodrum kat ağırlıkları gözönüne alınacak ve Spektrum Katsayısı olarak $S(T)=1$ alınacaktır. Her bir bodrum katına etkiyen eşdeğer deprem yükünün hesabında, Denk.(2.15)'den bulunan spektral ivme değeri ile bu katın ağırlığı doğrudan çarpılacak ve elde edilen elastik yükler, $R_a(T)=1.5$ katsayısına bölünerek azaltılacaktır.
- (c) Üstteki katlardan bodrum katlarına geçişte yer alan ve çok rijit bodrum perdeleri ile çevrelenen zemin kat döşeme sisteminin kendi düzlemi içinde dayanımı, bu hesapta elde edilen iç kuvvetlere göre kontrol edilecektir.



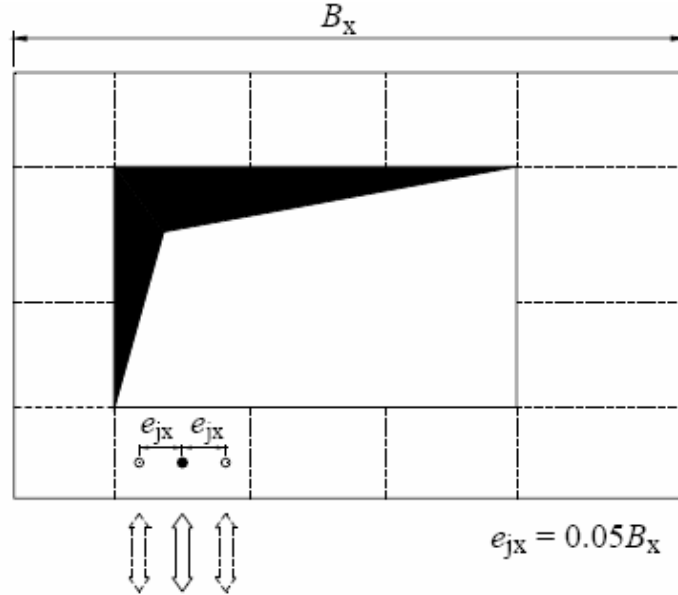
Şekil 3.10

Deprem Hareketinin Bileşenleri: Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme bileşeni ile düşey eksen etrafındaki dönme, bağımsız statik yer değiştirme bileşenler olarak gözönüne alınırlar. Her katta belirlenen eşdeğer deprem yükleri kat kütle merkezine ve ayrıca ek dışmerkezlilik 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 $\pm 5\%$ 'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalardır. (Şekil 3.11)



Şekil 3.11 Ek dışmerkezliklerin hesaba katılması

A2 türü düzensizliğin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin yatay düzlemdeki şekil değiştirmelerin gözönüne alınmasını sağlayacak yeterlikte bağımsız statik yer değiştirme bileşeni hesapta gözönüne alınacaktır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılacaktır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 A2 Türü Düzensizlikte Kaydırılmış Kütle Merkezi

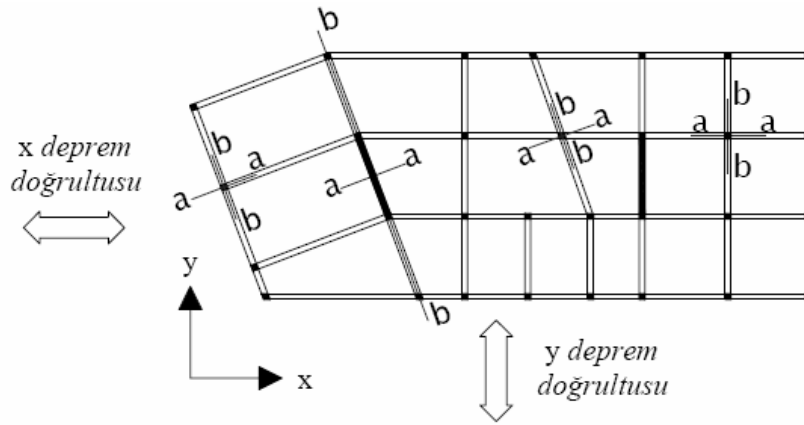
Binanın herhangi bir i 'inci katında Tablo 3.2'de tanımlanan A1 türü düzensizliğin bulunması durumunda, $1.2 < \eta_{bi} < 2.0$ olmak koşulu ile bu katta uygulanan \pm %5 ek dışmerkezlik, her iki deprem doğrultusu için Denk.(3.36)'da verilen D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.

$$D_i = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (3.36)$$

Asal Eksenleri Deprem Doğrultularına Paralel Olmayan Taşıyıcı Sistem: Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen x ve y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler, en elverişsiz sonucu verecek şekilde Denk.(3.37) ve Denk.(3.38) ile elde edilir (Şekil 3.13).

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay} \quad \text{veya} \quad B_a = \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay} \quad (3.37)$$

$$B_b = \pm B_{bx} \pm 0.30 B_{by} \quad \text{veya} \quad B_b = \pm 0.30 B_{bx} \pm B_{by} \quad (3.38)$$



Şekil 3.13 Asal Eksenleri Doğrultusunda Paralel Olmayan Sistemler

-Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir.

İvme Spektrumu: Herhangi bir n'inci titreşim modunda gözönüne alınacak azaltılmış ivme spektrumu ordinatı Denk.(3.39) ile belirlenir.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (3.39)$$

Elastik tasarım ivme spektrumunun özel olarak belirlenmesi durumunda, Denk.(3.39)'da $S_{ae}(T_n)$ yerine, ilgili özel spektrum ordinatı gözönüne alınacaktır.

Gözönüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri:

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta, birbirine dik doğrultudaki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi gözönüne alınacaktır. Her katta modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesaplanacak, ancak ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $\pm \%5$ 'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine uygulanacaktır (Şekil 3.11).

Tablo 3.2'de 2 başlığı altında tanımlanan döşeme süreksizliğinin bulunduğu ve döşemelerin yata düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin kendi düzlemleri içindeki şekil değiştirmelerinin gözönüne alınmasını sağlayacak yeterlikte dinamik serbestlik derecesi gözönüne alınacaktır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen modal deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $\pm \%5$ 'i kadar kaydırılacaktır. Bu tür binalarda, sadece ek dışmerkezlik etkilerinden oluşan iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri 2.7'ye göre de hesaplanabilir. Bu büyüklükler, ek dışmerkezlik etkisi gözönüne alınmaksızın her bir titreşim modu için hesaplanarak mod katkılarının birleştirilmesinde birleştirilen büyüklüklere doğrudan eklenecektir.

Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı:

Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, Y, gözönüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin $\%90$ 'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir:

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.9 \sum_{i=1}^N m_i$$

$$\sum_{n=1}^Y M_{yn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0.9 \sum_{i=1}^N m_i$$
(3.40)

Denk.(3.40)'da yer alan L_{xn} ve L_{yn} ile modal kütle M_n 'nin ifadeleri, kat döşemelerinin rijt diyafram olarak çalıştığı binalar için aşağıda verilmiştir:

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xim} \quad ; \quad L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{yim} \quad (3.41)$$

$$M_n = \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{\theta i} \Phi_{\theta in}^2) \quad (3.42)$$

Mod Katkılarının Birleştirilmesi:

Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti iç kuvvet bileşenleri, yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir:

$T_m < T_n$ olmak üzere, gözönüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_m / T_n < 0.80$ koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı uygulanabilir.

Yukarıda belirtilen koşulun sağlanamaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı uygulanacaktır. Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak çapraz korelasyon katsayıları'nın hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır.

Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Altsınır Değerleri:

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, Mod Katkılarının Birleştirilmesi Yöntemi'ne göre birleştirilerek elde edilen bina toplam deprem yükü V_{tB} 'nin, Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminde Denk.2.4'ten hesaplanan bina toplam deprem yükü V_t 'ye oranının aşağıda tanımlanan β değerinden küçük olması durumunda ($V_{tB} < \beta V_t$), Mod Birleştirme Yöntemine göre bulunan tüm iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri, Denk.(3.43)'e göre büyütülecektir.

$$B_D = \frac{\beta V_t}{V_{tB}} B_B \quad (3.43)$$

Tablo 3.2’de tanımlanan A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda Denk.(3.43)’da $\beta=0.90$, bu düzensizliklerin hiçbirinin bulunmaması durumunda ise $\beta=0.80$ alınacaktır.

-Alternatif Analiz Metodları:

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 yapılacak deprem hesabında, aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç kaydedilmiş veya benzeştirilmiş ivme kaydı kullanılacak ve bunlara göre elde edilen büyüklüklerin en elverişsiz olanları tasarıma esas alınır.

- İvme kayıtlarındaki kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, ivmelerin zarfları ± 0.05 g’den az olmamak koşulu ile, yapının birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olamaz.
- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0g ’den daha küçük olmayacaktır.
- Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod T_1 ’e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90’ından daha az olmayacaktır. Zaman tanım alanında *doğrusal elastik analiz* yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri Denk.(3.39) ile hesaplanacaktır.
- Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanacaktır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır.

-Yer Değişirme:

Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması: Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğişirme farkını ifade eden *azaltılmış görelî kat ötelemesi*, Δ_i , Denk.(3.44) ile elde edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (3.44)$$

Denk.(3.44)'de d_i ve d_{i-1} , her bir deprem doğrultusu için binanın i 'inci ve $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yerdeğişirmeleri göstermektedir.

Her bir deprem doğrultusu için, binanın i 'inci katındaki kolon veya perdeler için *etkin görelî kat ötelemesi*, δ_i , Denk.(3.45) ile elde edilecektir.

$$\delta_i = R\Delta_i \quad (3.45)$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i 'inci katındaki kolon veya perdelerde, Denk.(3.45) ile hesaplanan δ_i etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{\max}$, Denk.(3.46)'da verilen koşulu sağlayacaktır:

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (3.46)$$

Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çelik çerçevelerle taşındığı tek katlı binalarda bu sınır en çok %50 arttırılabilir.

Denk.(3.46)'da verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. Ancak verilen koşul sağlansa bile, yapısal olmayan gevrek elemanların (cephe elemanları vb.) etkin görelî kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesapla doğrulanacaktır.

3.2.2.3 Yapısal Olmayan Elemanlar

-Eurocode 8'e Göre Yapısal Olmayan Elamanlar:

Binaların yapısal olmayan elemanları (parapetler, çatı antenleri, mekanik eklentiler, bölmeler, duvarlar ve küpeşteler gibi) deprem durumunda insanlar için bir risk oluştururlar. Ayrıca binanın yapısal bütünlüğünü etkiler veya hizmet amacına yönelik kullanımı engeller. Bu yüzden binalardaki yapısal olmayan elemanların ve bunların bağlantılarının, deprem

hareketine dayanımı kontrol edilmelidir.

Büyük önemi olan veya doğası gereği kısmen tehlikeli olan yapısal olmayan elemanlar için bina ile ilgili gerçekçi bir modelleme yapılmalıdır. Binanın ana taşıyıcı sistemi için kullanılan tepki spektrumundan elde edilene uygun bir tepki spektrumun kullanılmalıdır.

Yapısal Olmayan Elemanların Analizi:

Yapısal olmayan elemanlara etkiyen deprem etkileri;

$$F_a = (S_a W_a \gamma_a) / q_a \quad (3.47)$$

F_a : En uygunsuz yapısal olmayan elemanın kütle merkezine etkiyen yatay deprem yükü

S_a : Yapısal olmayan elemanla ilgili deprem sabiti

W_a : Yapısal olmayan eleman ağırlığı

γ_a : Yapısal olmayan elemanın önem faktörü

q_a : Elemanın davranış faktörü

S_a deprem sabiti de aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S_a = \alpha S \left[3(1 + z / H) / (1 + (1 - T_a / T_1)^2) - 0.5 \right] \quad (3.48)$$

α : Tasarım yerçekimi ivmesi a_g ile yerçekimi ivmesi “g” oranı

T_a : Yapısal olmayan eleman titreşim periyodu

z : Yapısal olmayan elemanın tabandan yüksekliği

H : Binanın toplam yüksekliği

Önem Faktörü ve Davranış Faktörü:

Yapısal olmayan elemanların önem faktörü γ_a aşağıdaki durumlar haricinde genellikle bina önem faktörü ile aynı değerdedir:

- Hayat koruma sistemlerinin, ekipmanlarının ve makinelerinin ankrajında
- Halkın güvenliğini tehlikeye sokacağı düşünülen ve içlerinde patlayıcı veya toksin madde bulunan tanklar ve teknelerin önem faktörü 1.5'ten az alınamaz.

Yapısal olmayan elemanların davranış faktörü Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4 Yapısal Olmayan Elemanların Davranış Faktörleri

Yapısal Olmayan Elemanın Tipi	q_a
-Konsol Parapetler ve Süslemeler -İşaret ve Reklam Panoları	1,0
-İç ve dış Duvarlar -Döşemeye ankre edilen kabinler ve kitap rafları -Asma tavanlar ve lamba armatürleri -Yüksekliklerinin yarıdan azı yatay çaprazlar olmadan ayakta duran bacalar direkler ve tanklar yada kütle merkezinin üzerinden yapıya tutturulan bacalar direkler veya tanklar	2,0

-A.B.Y.Y.H.Y'ye Göre Yapısal Olmayan Elemanlar:

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 uygulanacak, mekanik ve elektrik donanımlar ile bunların bina taşıyıcı sistem elemanlarına bağlantılarının hesabında kullanılacak eşdeğer deprem yükleri Denk.(3.49) ile verilmiştir.

$$f_e = 0.5 A_0 I w_e \left(1 + 2 \frac{H_i}{H_N} \right) \quad (3.49)$$

Hesaplanan deprem yükü, yatay doğrultuda en elverişsiz iç kuvvetleri verecek yönde ilgili elemanın ağırlık merkezine etki ettirilecektir. Düşey konumda olmayan elemanlara, Denk.(3.49) ile hesaplanan eşdeğer deprem yükünün yarısı düşey doğrultuda etki ettirilecektir.

Denk.(3.49)'da w_e ile gösterilen mekanik veya elektrik donanım ağırlıklarının binanın herhangi bir i'inci katındaki toplamının $0.2w_i$ 'den büyük olması durumunda, donanımların ağırlıklarının ve binaya bağlantılarının rijitlik özellikleri, bina taşıyıcı sisteminin deprem hesabında gözönüne alınacaktır.

Mekanik veya elektrik donanımın bulunduğu kattaki en büyük ivmeyi tanımlayan *kat ivme spektrumu*' nun uygun yöntemlerle belirlenmesi durumunda, Denk.(3.49) uygulanmayabilir. Yangın söndürme sistemleri ve acil yedek elektrik sistemleri ile dolgu duvarlarına bağlanan donanımlar ve bunların bağlantılarında Denk.(3.49) ile hesaplanan deprem yükünün iki katı alınacaktır.

3.2.3 Güvenlik Yeterlilikleri

3.2.3.1 Eurocode 8'e Göre Taşıma Sınır Durumu

Yapının depreme karşı tasarımı süneklik, dayanım, denge, temel stabilitesi ve deprem elemanlarının bulunduğu noktaların güvenlikleri dikkate alınarak yapılmalıdır.

Dayanım Şartı: Bütün yapısal elemanlarda, birleşimlerde ve yapısal olmayan elemanlarda aşağıdaki ölçüt sağlanmalıdır.

$$E_d \leq R_d$$

E_d : $E \{ \sum G_{kj}, \gamma_1 \cdot A_{Ed}, P_k, \sum \Psi_{2i} \cdot Q_{ki} \}$, gerektiği durumda 2. mertebe etkileri de hesaba katılan deprem hareketi etkilerinin tasarım değeri.

$$R_d : R \left\{ \frac{f_k}{\gamma_M} \right\}, \text{ malzemenin kısmi güvenlik faktörü } \gamma_M \text{ ve malzemenin karakteristik değeri}$$

f_k 'ya bağlı olarak ve yapı sistemine göre oluşturulan mekanik modellemeye göre hesaplanan malzemenin tasarım dayanımı.

2. mertebe etkileri (P – Δ etkileri) bütün katlar için aşağıdaki şartları sağlıyorsa dikkate alınmazlar.

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0.10 \quad (3.50)$$

θ : Katlar arası kayma hassasiyet sabiti

P_{tot} : Deprem etkileri hesaplanırken kat üzerindeki toplam ağırlık yükleri

d_r : Tasarım kat arası kayması, katın üst ve alt noktalarının yer değiştirmeleri farkı ile elde edilir

V_{tot} : Toplam kat kesme kuvveti

h : Kat arası yükseklik

$0.1 < \theta \leq 0.2$ olması durumunda 2. mertebe etkileri, deprem etkilerinin $1/(1-\theta)$ faktörü ile çarpılarak arttırılmasıyla yaklaşık olarak hesaba katılmış olur. θ , 0.3 değerini aşmamalıdır.

Süneklik Şartı: Yapı ve yapısal elemanlar seçilen sistem ve davranış faktörünün süneklik şartlarını sağlamalıdır.

Denge Koşulları: Binanın yapısı binaya uygulanan yük kombinasyonlarına göre kaymaya ve devrilmeye karşı stabil olmak zorundadır.

Yatay Diyafram Dayanımı: Yatay düzlemdeki diyaframlar ve çaprazlar deprem tasarım yüklerinden daha fazla yük taşıyacak şekilde olmalıdır. Bu elemanların analizleri yapılırken yükleri 1.3 ile çarpılarak analizleri ona göre yapılır.

Deprem Düğüm Noktası Şartı: Binalar deprem durumunda bitişik binanın çarpma etkilerinden korunmalıdır. İki bina arasındaki minimum mesafe binaların yapacağı maksimum yer değiştirmelerden az olmamalıdır. Söz konusu iki binadaki kat seviyeleri birbirine eşitse bu durumda iki bina arasındaki maksimum yer değiştirme 0.7 katsayısı ile azaltılır. Ayrıca iki bina çevresi boyunca perdeler mevcut ve bu perdeler iki doğrultuda da bina yüksekliğince devam ediyorsa iki bina arasındaki mesafe 4 cm'ye indirilebilir.

3.2.3.2 Kullanılabilirlik Sınır Durumu

Kullanılabilirlik sınır durumu orta büyüklükteki deprem hareketi durumunda yapının ölü yük, hareketli yük ve deprem yükü kombinasyonlarına göre yapının yeterli rijitliği ve dayanımı sağlaması istenir. Bu limit durumunda yapının elastik kalması gereklidir. Böylece deprem etkilerinin birbirleri ile süperpoze edilebilmesini sağlar.

- Bu limit durumuna göre yapısal olmayan kırılgen elemanlar aşağıdaki şartı sağlayacak şekilde bağlanmalıdır.

$$d_r \nu \leq 0.005h \quad (3.51)$$

- Yapısal olmayan düktil elemanlar için aşağıdaki şart sağlanmalıdır.

$$d_r \nu \leq 0.0075h \quad (3.52)$$

- Yapısal deformasyonlar sonucu hareket etmemesi istenen yapısal olmayan elemanlar aşağıdaki şartı sağlayacak şekilde tespit edilmelidir.

$$d_r \nu \leq 0.010h \quad (3.53)$$

ν : Kullanılabilirlik limit durumu için geri dönüşüm periyotlu depremler için azaltma katsayısı.

3.2.3.3 A.B.Y.Y.H.Y'de İkinci Mertebe Etkileri

Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik olmayan davranışını esas alan daha kesin bir hesap yapılmadıkça, ikinci mertebe etkileri aşağıdaki gibi göz önüne alınabilir.

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, İkinci Mertebe Gösterge Değeri, θ_i 'nin aşağıda verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilir.

V_i =Göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın 1. katına etkiyen kat kesme kuvveti.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (3.54)$$

Burada $(\Delta_i)_{ort}$, i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeridir. Bu koşulun herhangi bir katta sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği yeterli ölçüde artırılarak deprem hesabı tekrarlanır.

3.2.3.4 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Deprem Derzleri

Farklı zemin oturmalarına bağlı temel öteleme ve dönmeleri ile sıcaklık değişmelerinin etkisi dışında, bina blokları veya mevcut eski binalarla yeni yapılacak binalar arasında, sadece deprem etkisi için bırakılacak derz boşluklarına ilişkin koşullar belirtilmiştir.

Daha elverişsiz bir sonuç elde edilmedikçe derz boşlukları, her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen yer değiştirmelerin mutlak değerlerinin toplamı ile, aşağıda tanımlanan α katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değerden az olmayacaktır. Göz önüne alınacak kat yer değiştirmeleri, kolon veya perdelerin bağlandığı düğüm noktalarında hesaplanan yer değiştirmelerin kat içindeki ortalamaları olacaktır. Mevcut eski bina için hesap yapılmasının mümkün olmaması durumunda eski binanın yer değiştirmeleri, yeni bina için aynı katlarda hesaplanan değerlerden daha küçük alınmayacaktır.

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

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

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

3.2.4 Genel Karşılaştırma

3.2.4.1 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 etkidiği birbirine dik iki doğrultuda düzlemsel yer değiştirmelerin meydana geleceği kabulüyle, iki boyutlu modellemeye imkan sağlamaktadır. Planda düzenlilik kriterlerinin sağlanmadığı binalarda her iki yönetmelik de yapının üç boyutlu (uzaysal) olarak modellenmesini öngörmektedirler.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, burulma etkisini hesaba katabilmek için, eşdeğer deprem yüklerinin kat kütle merkezlerine $\pm \%5$ dış merkezlikle etkiltilmesini şart koşar. Bu yükler altında analiz gerçekleştirilir ve yer değiştirmeler hesaplanır. Sonuç deplasmanlara bakılarak burulma düzensizliği olduğu tespit edilirse dışmerkezlik değeri artırılarak analiz tekrarlanır.

Eurocode 8 ise, iki boyutlu modellemede deprem yüklerini etkiterken $e_1 = \pm 0.05L_1$ rastlantısal dışmerkezliğe ek olarak, öteleme ve dönme titreşimlerini de hesaba katabilmek için bir e_2 ek dışmerkezliğin de gözönüne alınmasını şart koşar. Üç boyutlu modellemede ise kat kütle merkezine e_1 dışmerkezliğiyle etkiyen deprem kuvvetlerinden doğan momentlerin hesaba katılması yeterlidir. Eurocode 8'e göre, eğer taşıyıcı sistem elemanlarının yanal rijitlikleri simetrik dağılım gösteriyorsa ve istenmeyen dışmerkezlikten dolayı oluşan etkiler için daha kesin hesap yapılamıyorsa, oluşacak burulma etkilerini gözönüne almak için elde edilen kesit tesirleri δ katsayısı ile artırılarak yaklaşık hesap yapılabilir. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 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 dışmerkezlik değerleri artırılarak 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 değiştirmeler $(R_a)_{\text{eski}} / (R_a)_{\text{yeni}}$ oranı ile çarpılarak düzeltilir. Yani Eurocode 8'deki gibi daha analizin başında azaltılmış davranış faktörleri kullanılmaz.

3.2.4.2 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 yük 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 metotları 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 merteye etkilerinin taşıma gücü sınır durumuna etkisini kısıtlamak için ikinci merteye gösterge değeri θ , 0.10'dan küçük olmalıdır. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'de bu limit değer 0.12'dir. Göreli 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 göreli öteleme sınırları mevcuttur.

Ayrıca Eurocode 8'de analizi, gerçek deprem yükünü q , davranış faktörleri ile azaltarak yapmış olmamız nedeniyle, analiz sonucunda bulunan yer değiştirmeleri Denklem 4.17 yardımıyla deprem yükü altında gözlenen gerçek deplasmanlara dönüştürürüz. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'de böyle bir detaya değinilmez.

4. ÇELİK YAPILARIN DEPREME DAYANIKLI TASARIMI

4.1 Giriş

Çelik yapılar, genellikle düzgün eksenlere yerleştirilmiş kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve yapılardır. Bu tür taşıyıcı sistemlerde yatay rijitliği büyük olan çelik çaprazların oluşturduğu bölümler ve betonarme perdeler bulunabilir. Çelik yapı elemanları, birbirlerine kaynak, perçin veya bulonlarla bağlanır. Düşey ve yatay yükler kiriş ve kolonlarda esas olarak eğilme ve kesme kuvveti oluştururlar. Taşıyıcı, sistemin yatay rijitliği kiriş ve kolonların eğilme rijitliği ile sağlanır. Genellikle kiriş - kolon birleşim bölgelerinin rijit olduğu kabul edilir. Gerçekte ise, bu bölgelerde meydana gelen şekil değiştirmeler yer değiştirmelerde önemli artışlara sebep olur.

4.2 Taşıyıcı Sistemin Sınıflandırılması

4.2.1 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:

Enerji yutucu olmayan yapı davranışı kavramında hareket etkileri, yapı tipi ne olursa olsun malzemenin non-lineer davranışını hesaba katmadan elastik global analiz esasına göre hesaplanmıştır. Tasarım spektrumu kullanılacağı zaman; q yapı davranış faktörü 1 olarak alınır. Bu kavramı kullanılarak tasarlanan yapılar için, elemanların ve birleşimlerin dayanımları Eurocode 3'te belirtilen elastik veya plastik dayanıma uygun olacak şekilde hesaplanacaktır ve süneklilik şartlarını sağlamasına gerek yoktur.

4.2.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

A.B.Y.Y.H.Y’te taşıyıcı sistemler

a) Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler

b) Süneklik Düzeyi Normal Sistemler, şeklinde tanımlanmıştır.

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.

4.3 Yapı Tipleri ve Davranış Faktörleri

4.3.1 Eurocode 8

Davranış Faktörüne İlişkin 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 çaprazlı yapılar hariç), davranış faktörü $q=1.5$ alınabilir. Çökmeye karşı yeterli dayanımın, Eurocode 3'te yer alan tahkiklerin uygulanması ile sağlandığı kabul edilir.
- Davranış faktörünü belirlemede kullanılan parametreler:

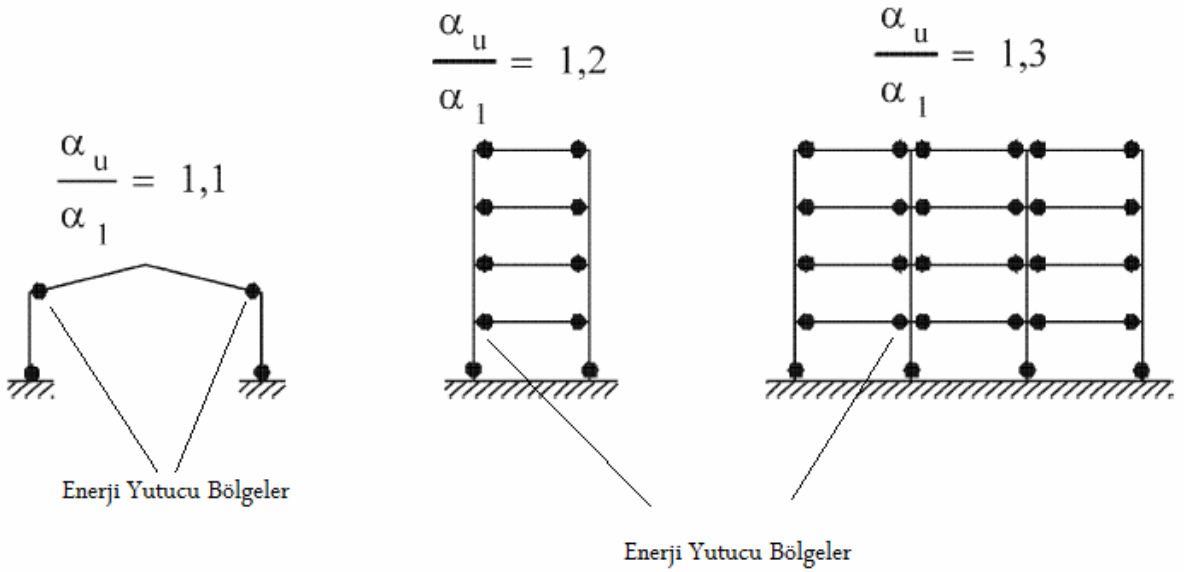
α_1 : Diğer tüm dizayn yükleri sabit kalırken, deprem yükü adım adım artırılır. En çok gerilme alan kesitte plastik moment dayanımına ulaşıldığı (plastik mafsall oluşması) andaki deprem yükü değerine bağlı olarak, α_1 yatay dizayn deprem yükü çarpanı belirlenir.

α_u : Diğer tüm dizayn yükleri sabit kalırken, deprem yükü adım adım artırılır. 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 bölgeler, kiriş-kolon birleşimlerinin hemen yanında oluşan plastik mafsallardır ve çevrimsel eğilmelerle enerji buralarda yutulur. (Şekil 4.1)

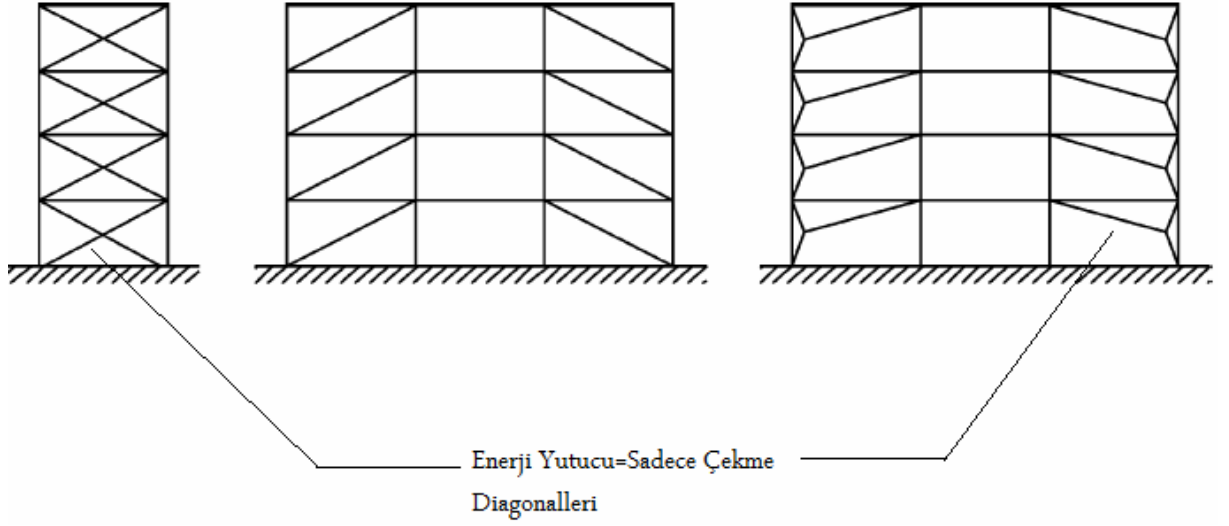


Şekil 4.1 Enerji yutma özelliğinin toplandığı alanlar

b) Merkezi Olarak Bağlanan Çapraz Çubuklar:

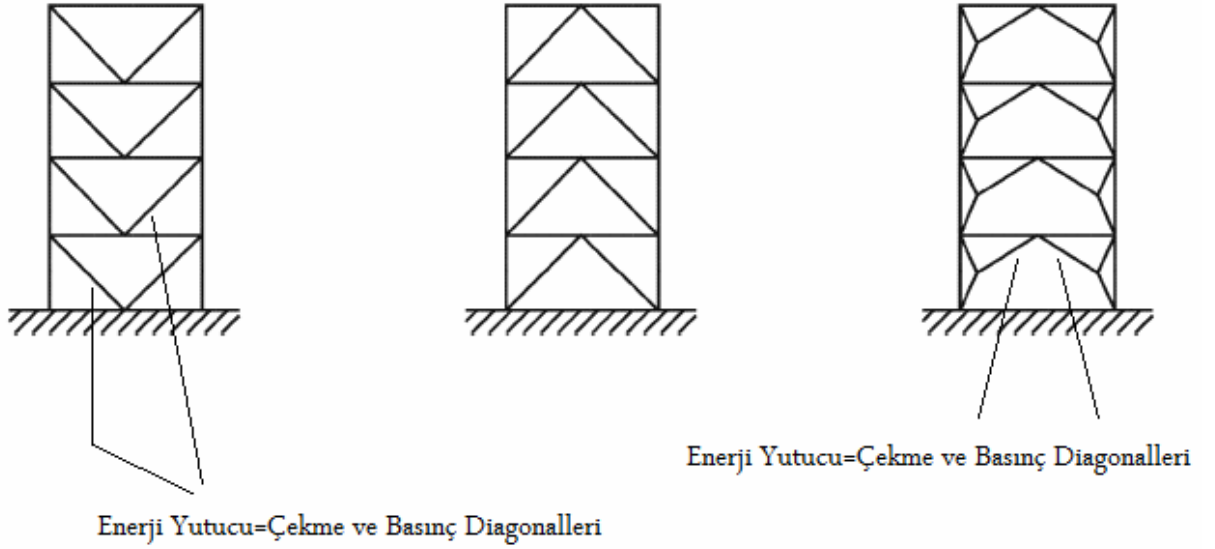
Yatay deprem kuvvetler, aksenal kuvvetlere maruz kalan elemanlar tarafından karşılanılır. Bu tip yapılarda enerji yutuculuk özelliği, çekme alan diyagonellerde toplanır. Merkezi olarak bağlanan çubuklar üçe ayrılır:

(b.1) Aktif Çekme Diyagonali Çaprazları: Yatay yükler yalnızca çekmeye çalışan diyagonaller tarafından karşılanmakta ve basınç diyagonalleri ihmal edilmektedir. (Şekil 4.2)



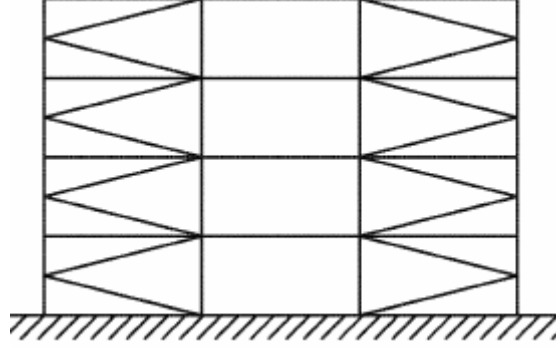
Şekil 4.2 Çekme diyagonalleri

(b.2) V Çaprazları: Yatay yükler hem çekme hem de basınç çalışan diyagonaller tarafından karşılanmaktadır. Bu diyagonallerin kesişim noktası, yatay ve sürekli bir elemanın üzerinde olmak zorundadır. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3 Çekme ve basınç diyagonalleri

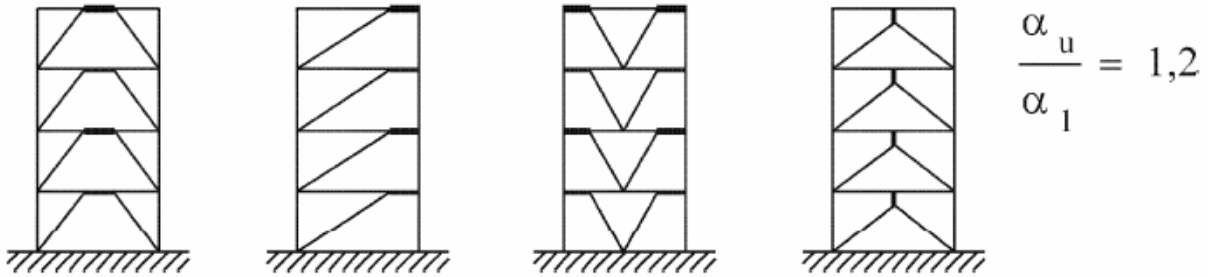
(b.3) K Çaprazları: Diagonallerin kesişim noktası kolonun üzerindedir. Bu çaprazlarda akma mekanizması kolonun da akmasını içerdiğinden, K çaprazları enerji yutucu olarak değerlendirilemez. (Şekil 4.4)



Şekil 4.4 K çaprazları

c) Dışmerkez Olarak Bağlanan Çapraz Çubuklar:

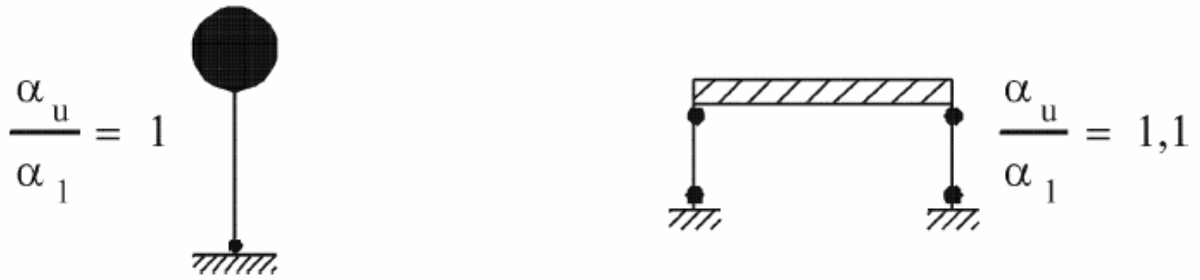
Yatay deprem yükleri, aksenal yüklü elemanlar ve düzenin dışmerkezliği ile karşılanır. Enerji, kirişlerde çevrimsel eğilme ve çevrimsel kesmeler ile yutulur. Eğilmeye çalışan elemanlarda (kirişlerde), kesme ve eğilme etkilerine dayanan akma olayı, basınç ve çekme elemanlarda sınır dayanımına ulaşılması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



Şekil 4.5 Dışmerkez bağlanmış çapraz çubuklar

d) Konsol Yapılar ve Ters Sarkaç Yapılar:

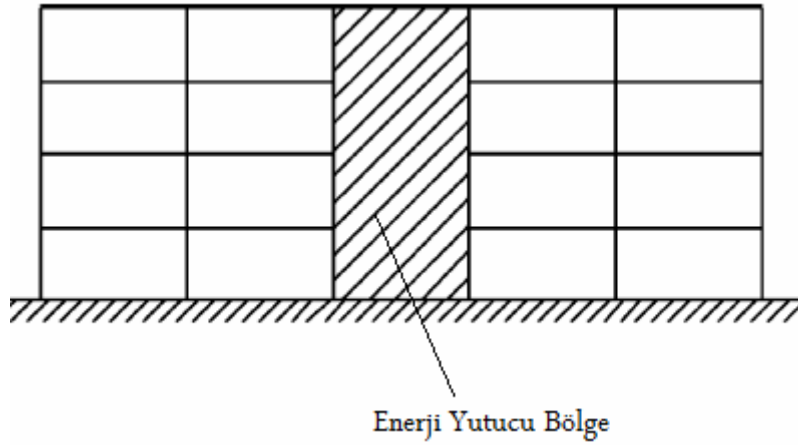
Serbest uçlu bir kolon gibi modellenebilen yapılara konsol yapılar, kütlelerinin çoğunluğu yüksek üst bölgesinde toplanan konsol kiriş yapılara da ters sarkaç denir. Enerji yutucu bölgeler, bu tip yapılarda, tabanda toplanır. (Şekil 4.6)



Şekil 4.6 Konsol ve ters sarkaç yapı modeli

e) Beton Çekirdekli veya Beton Duvarlı Yapılar:

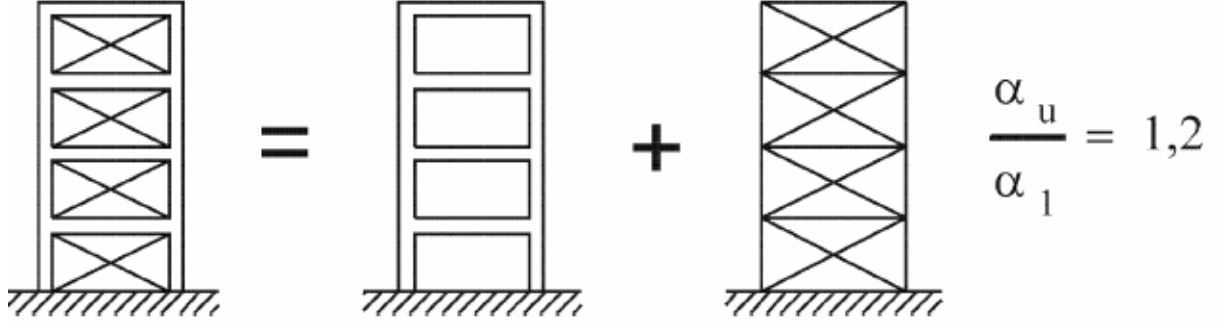
Yatay kuvvetler, bu beton çekirdek veya perdeler tarafından karşılanır. (Şekil 4.7)



Şekil 4.7 Beton duvarlı yapı modeli

f) İkili Yapılar:

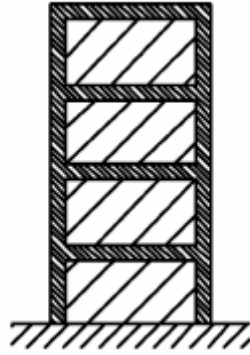
Yatay yüklerin, hem moment aktaran çerçeve, hem de aynı düzlemde bulunan çapraz bağlantı elemanları tarafından karşılandığı yapılara ikil yapılar denir. (Şekil 4.8)



Şekil 4.8 İkili yapı modeli

g) Karma Yapılar:

Çelik moment aktaran çerçeveler ile yatay yük taşıyan betonarme veya kagir dolgudan oluşan yapılardır. (Şekil 4.9)



Şekil 4.9 Karma yapı modeli

4.3.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Çelik yapıların yatay yük taşıyıcı sistemi, sadece çelik çerçeveler, çelik çaprazlı çerçeveler veya çelik çerçevelerin çelik çaprazlı çerçeveler veya betonarme perdelerle birleşiminden oluşabilir. Betonarme perdelerin kullanılması durumunda bu elemanlarla ilgili kurallara uyulması gerekir.

Çelik taşıyıcı sistemlerin yatay yük taşıyıcı sistemleri, süneklikleri esas alınarak *Süneklik Düzeyi Normal Sistem* ve *Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem* olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Bu ikisinin beraber kullanılması durumunda *Süneklik Düzeyi Bakımından Karma Sistem* ortaya çıkar.

Süneklik düzeyi yüksek olarak gözönüne alınacak taşıyıcı sistemlerde, süneklik düzeyinin her iki deprem doğrultusunda da yüksek olması zorunludur. Süneklik düzeyi bir deprem doğrultusunda yüksek, buna dik deprem doğrultusunda normal olan sistemler, her iki doğrultuda da süneklik düzeyi normal sistemler olarak sayılacaktır.

Tablo 4.1 Çelik binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayıları

ÇELİK BİNALAR		
Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	—	4
Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	7
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	6
Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	7

Tablo 4.2 Bina türü olmayan çelik yapılar için taşıyıcı sistem davranış katsayıları

<i>YAPI TÜRÜ</i>	<i>R</i>
Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler veya dışmerkez çaprazlı çelik perdeler tarafından taşınan yükseltilmiş sıvı tankları, basınçlı tanklar, bunkerler, hazneler	4
Süneklik düzeyi normal çerçeveler veya merkezi çaprazlı 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 eleman tarafından taşınan ters sarkaç türü yapılar	2
Endüstri tipi çelik depolama ve istif rafları	4

Elastik ötesi kapasitenin hesaba katılmasını sağlayan taşıyıcı sistem davranış katsayısı tablodan görüldüğü gibi, sünek olan yapılarda daha büyük olup, buna paralel olarak daha küçük bir deprem yükünün hesaba katılmasını sağlar.

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 eğilme momentlerinin %75'inden daha fazla olmamalıdır. ($\alpha_S \leq 0.75$)

Eğer bu koşul sağlanmıyorsa, $0.75 < \alpha_S \leq 1.0$ aralığında kullanılacak R katsayısı, $R=10-4 \alpha_S$ bağıntısı ile belirlenecektir.

Süneklik düzeyi normal betonarme sistemler ile süneklik düzeyi normal kiriş ve kolonlardan oluşan çelik çerçevesiz 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 çaprazlı çelik perdeler kullanılabilir.

a) Bu tür karma sistemlerin deprem hesabında çerçeveler ve perdeler bir arada gözönüne alınacak, ancak her bir deprem doğrultusunda $\alpha_S \geq 0.40$ olacaktır.

b) Her iki deprem doğrultusunda da $\alpha_S \geq 2/3$ olması durumunda deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perde tarafından taşındığı durum için verilen R katsayısı ($R=R_{VP}$), taşıyıcı sistemin tümü için kullanılabilir.

c) $0.40 < \alpha_S < 2/3$ aralığında ise, her iki deprem doğrultusunda da taşıyıcı sistemin tümü için $R = R_{NÇ} + 1.5 \alpha_S (R_{YP} - R_{NÇ})$ bağıntısı uygulanacaktır.

Kolonları temelden ankastre ve üstten mafsallı tek katlı çerçevelerden oluşan betonarme prefabrik ve çelik binaların içinde tek asma kat yapılabilir. Ancak bu tür binaların deprem hesabında asma kat taşıyıcı sistemi, ana taşıyıcı çerçevelerle birlikte göz önüne alınacak ve bu sistem betonarme prefabrik binalarda süneklik düzeyi yüksek sistem olarak düzenlenecektir.

Bunun dışındaki, düğüm noktaları mafsallı çerçevelerden oluşan betonarme, prefabrik ve çelik çok katlı binalarda, her iki yatay doğrultuda deprem yüklerinin tamamını almak üzere, yerinde dökme betonarme veya çaprazlı çelik perdeler kullanılacaktır.

4.4 Tasarım Kuralları

4.4.1 Eurocode 8

4.4.1.1 Tasarım 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 bölümlerle birleşimleri, çevrimsel akmaların gelişmesine karşı yeterli dayanıma sahip olmalıdır.

4.4.1.2 Yapısal Elemanlara İlişkin Detay Kuralları

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

Tablo 4.3 Enkesit sınıflarına göre davranış faktörü değerleri

Davranış Faktörü q	Enkesit Sınıfı
$4 < q$	1.Sınıf
$2 < q \leq 4$	2.Sınıf
$q \leq 2$	3.Sınıf

Eurocode 3'e göre enkesit sınıfları aşağıdaki gibidir:

1.Sınıf Enkesitler: Plastik analiz gerektirdiği dönme kapasitesine sahip plastik mafsal oluşturulabilen enkesitler.

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

3.Sınıf 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.

$$R_d \geq 1.1 \gamma_{ov} R_{fy} \quad (4.1)$$

R_d : Birleşim dayanımı

R_{fy} : Birleşen bölümlerin plastik dayanımı

γ_{ov} : Limit aşımı faktörü

3) *Çekmeye Çalışan Bölümler* : Eurocode 3'ün kuralları geçerlidir.

4) *Temeller* : Temeller üzerindeki yük etkilerinin tasarım değerleri (E_{fd}) şu şekilde belirlenir:

$$E_{fd} = 1.20(E_{F,G} + \alpha E_{F,E}) \quad (4.2)$$

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

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

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

$$\alpha = R_{di}/S_{di} \quad (4.3)$$

R_{di} : Enerji yutucu bölge ya da eleman (i) nin tasarım dayanımı

S_{di} : Deprem yüküne göre hesapta, bölge ya da eleman (i) ye gelen yük etkisinin tasarım değeri

4.4.1.3 Moment Aktaran Çerçeveye İlişkin Kurallar

1) Özel Kriterler

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

2) Kirişler

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

$$M_{sd}/M_{pl,Rd} \leq 1.0 \quad (4.4)$$

$$N_{sd}/N_{pl,Rd} \leq 0.15 \quad (4.5)$$

$$(V_{G,sd} + V_{M,sd})/V_{pl,Rd} \leq 0.5 \quad (4.6)$$

N_{sd} , M_{sd} : Davranış faktörü q 'nun hesabında kullanılan yük etkileri

$N_{pl,Rd}$, $M_{pl,Rd}$, $V_{pl,Rd}$: Eurocode 3'e göre tasarım dayanımları

$V_{G,sd}$: Deprem yüküne bağlı olmayan kesme kuvveti

$V_{G,sd}$: 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 aksenal N kuvveti ve M_x , M_y eğilme momentleri dikkate alınarak en elverişsiz yükleme durumu göz önünde bulundurulur.
- Kolonlarda bitişik enkesitlerdeki eğilme momenti tasarım değerleri toplamı, kolona o noktada bağlanan kirişlerdeki dayanım momentlerinin toplamından büyük olmalıdır.
- Kolonlarının dayanımının tahkiki ve kuvvetlerin kirişlerden kolonlara geçişi Eurocode 3'teki esaslara göre belirlenir.
- Kolonların temellere birleşiminin hesabında, çerçeve çubuklarının taban ucundaki tasarım eğilme momentleri şöyle alınır:

$$M=M_{co}+1.2M_{cs} \quad (4.7)$$

M_{co} : Deprem dışı yüklere bağlı olan eğilme momenti

M_{cs} : Önem faktörü ile çarpılmış deprem yükünden kaynaklanan eğilme momenti

- Yapısal analiz sonucunda elde edilen kolon kesme kuvveti V_{sd} şu şekilde sınırlandırılır.

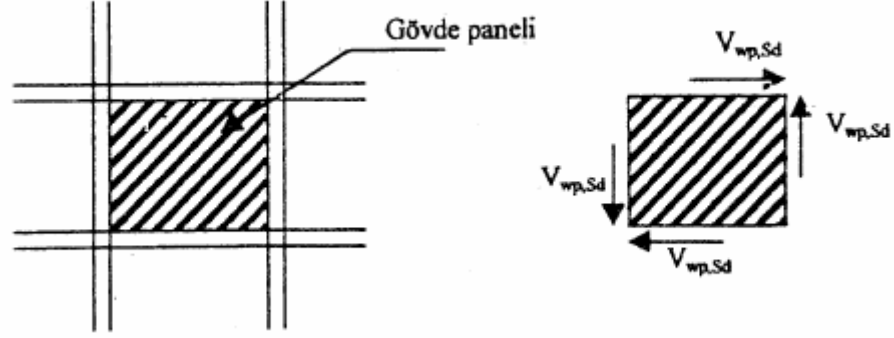
$$V_{sd}/V_{pl,Rd} \leq 0.5 \quad (4.8)$$

Şekil 4.10'da görülen kiriş – kolon birleşimindeki gövde panelleri için aşağıdaki bağıntı kullanılır:

$$V_{wp,sd}/V_{wp,Rd} \leq 1.0 \quad (4.9)$$

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

$V_{wp,Rd}$: Gövde panelinin kesme dayanımı



Şekil 4.10 Kiriş – kolon birleşimindeki gövde panelleri

3) Kirişlerin Kolonlarla Birleşimi

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

4.4.1.4 Ortak Merkezli Çapraz Çubuklara İlişkin Detay Kuralları

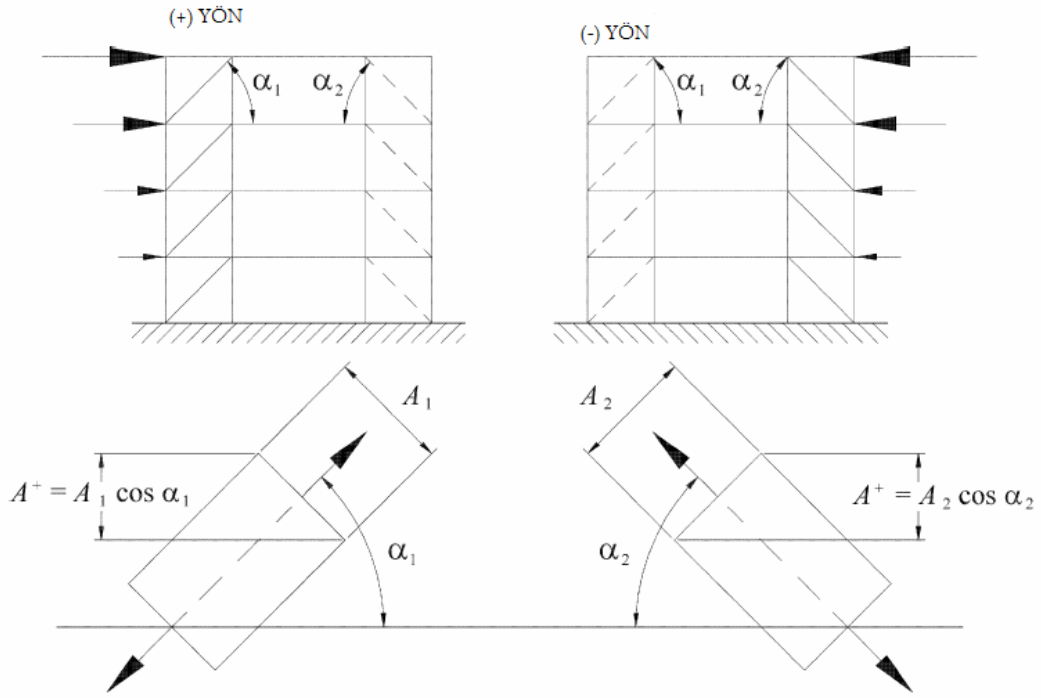
1) Özel Kriterler

Ortak merkezli çapraz çubukların yapılmasının nedeni; kiriş veya kolonların akma veya burkulmasından ve bağlantıların bozulmasından önce, çekmeye çalışan çaprazlarda akmanın başlamasının sağlanmasıdır.

Çapraz çubuk elemanları, çevrimsel yön değiştiren yükler altında, her katta ve çaprazın doğrultusunda benzer şekil değiştirme özellikleri göstermelidir. Bunun için aşağıdaki şart sağlanmalıdır.

$$\frac{|A^+ - A^-|}{A^+ + A^-} \leq 0.05 \quad (4.10)$$

A^+, A^- : Yatay deprem yükü sırasıyla pozitif veya negatif yönde etkirken, çekmeye çalışan çapraz çubukların izdüşüm alanları.



Şekil 4.11 Merkezi Çaprazlar

2) Çapraz Elemanlar

- Elastik burkulmayı önlemek için Eurocode 3, narinlik derecesini $\lambda \leq 1.5$ şeklinde sınırlandırmıştır.

- N_{sd} çekme kuvveti ve $N_{pl,Rd}$ bütün enkesitin akma dayanımı olmak üzere:

$$N_{sd} \leq N_{pl,Rd} \quad (4.11)$$

olmalıdır.

- Çaprazların herhangi bir elemanla birleşimi tümüyle dayanım şartlarını sağlamalıdır.

$$R_d \geq 1.20 N_{pl,Rdi} \quad (4.12)$$

3) Kirişler ve Kolonlar

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

$$N_{Rd}(M) \geq 1.20 \alpha N_{sd} \quad (4.13)$$

$N_{Rd}(M)$: Kiriş ya da kolonun burkulma dayanımı

N_{sd} : Düşey yükler ve deprem yükü altındaki kolon veya kirişe etki eden aksenal kuvvet

α : Çapraz çubuklu bir çerçevedeki minimum $N_{pl,Rdi} / N_{sdi}$ değeri

$N_{pl,Rdi}$: i çaprazının dayanımı

N_{sdi} : Aynı i çaprazına etki eden kuvvet

- V çaprazlarında kirişler, çapraz çubukların ortalarından verdikleri desteğe bakılmaksızın, tüm deprem dışı yüklere dayanacak şekilde tasarlanmalıdırlar.
- Temeldeki bağıntılar, kiriş ve kolon yapımındaki minimum dayanım şartını sağlamalıdırlar.

4.4.1.5 Dışmerkez Olarak Bağlanan Çapraz Çubuklara İlişkin Detay Kuralları

1) Özel Kriterler

- Dışmerkez çaprazlı çerçeveler, kirişlerin plastik eğilme ve plastik kesme mekanizmalarının oluşumuyla, enerji yutacakları göz önünde bulundurularak tasarlanır.
- Kirişlerin plastik mafsallarında veya kesme paralellerindeki akma olayı, diğer yerlerdeki akma veya göçmelerden önce gerçekleşmelidir.

2) Kirişler

Çerçeveleşmiş gövde panellerinde plastik kesme mekanizmasının oluşmasıyla enerji yutan kirişler için aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır.

$$V_{sd} / V_{Rd,w} + V_{Rd,f} \leq 1.0 \quad (4.14)$$

$$M_{sd} / M_{pl,Rd} \leq 0.70 \quad (4.15)$$

$$N_{sd} / N_{pl,Rd} \leq 0.15 \quad (4.16)$$

2) Kolonlar ve Çapraz Elemanlar

- En elverişsiz eksenel yük ve eğilme momenti kombinasyonu göz önüne alındığında, basıca çalışan kolon ve çapraz elemanlar aşağıdaki şartı sağlamalıdır.

$$N_{Rd}(M_{sd}, V_{sd}) \geq 1.20 \alpha N_{sd} \quad (4.17)$$

$N_{Rd}(M_{sd}, V_{sd})$: Kolon veya çapraz elemanın Eurocode 3'e göre dayanımı

- N_{sd} : Kolon veya çapraz elemana etki eden basınç kuvveti
- α : Çapraz çubuklardan oluşan sistemdeki minimum $V_{pl,Rdi} / V_{sdi}$ veya $M_{pl,Rdi} / M_{sdi}$ değeri
- $V_{pl,Rdi}$: i kirişinin plastik bölgesindeki kesme dayanımı
- V_{sdi} : i kirişinin plastik bölgesindeki kesme kuvveti
- $M_{pl,Rdi}$: i kirişinin plastik bölgesindeki eğilme dayanımı
- M_{sdi} : i kirişinin plastik bölgesindeki eğilme momenti

4.4.1.6 Konsol veya Ters Sarkaç Yapılara İlişkin Detay Kuralları

- Eurocode 3'teki kurallar gereği narinlik derecesi sınırlandırılır:

$$\lambda \leq 1.5$$

- Denklem 3.50'de tanımlanan kolonun görelî kat ötelemesi hassasiyet katsayısı $\theta \leq 0.20$ olarak sınırlandırılır.
- Konsol yapılarda kolonların ve kolonun temele bağlandığı taban birleşiminin tahkiki aşağıdaki gibi yapılır:

$$M_{Rd} = 1.20M_{pl,Rd} \left(1 - \frac{N_{sd}}{N_{pl,Rd}} \right) \quad (4.18)$$

4.4.1.7 Beton Çekirdekli veya Beton Duvarlı Yapılara İlişkin Detay Kuralları

Bu sistemdeki betonarme ve çelik yapılar Eurocode 8'in ilgili bölümlerine göre tahkik edilmelidir.

4.4.1.8 İkili Yapılara İlişkin Detay Kuralları

Hem momente çalışan çelik çerçeveler hem çelik çaprazlı çerçeveler birlikte olduğunda ve aynı doğrultuda hareket ettiklerinde yatay yükler, bu iki çerçevenin elastik rijitliğine bağlı olarak sönümlenir.

4.4.1.9 Karma Yapılara İlişkin Detay Kuralları

Dolgu duvarlar, çerçeve elemanın süneklik talebini artıramayacak şekilde boykesitte düzenli olarak inşa edilmelidir.

Kolonlar boyutlandırılırken çerçeve - dolgu duvar ilişkisinden kaynaklanan kesme kuvvetleri ve eğilme momentlerindeki değişiklikler hesaba katılmalıdır.

4.4.2 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

4.4.2.1 Tasarım Kriterleri

Taşıyıcı sistemin tasarımı ve kesit hesapları; yönetmelikte verilen deprem yükleri ve hesap kuralları *Emniyet Gerilmeleri Yöntemi* ile ilgili TS 648 ve TS 3357 ile *Taşıma Gücü Yöntemi* ile ilgili TS 4561'deki kurallara göre yapılmalıdır. Ancak sadece çelik çerçevelerden oluşan yatay yük taşıyıcı sistemlerde, taşıma gücü yöntemindeki sınırlı deneyimden dolayı, TS 4561'in en fazla iki katlı binalar için geçerli olduğu öngörülmüştür.

Emniyet gerilmeleri yöntemine göre yapılan kesit hesaplarında, birleşim ve ekler dışında, emniyet gerilmeleri için TS 648'deki esas ve ilave yükler için verilen yükleme durumunda izin verilen %15'lik artım, deprem durumunda en fazla %33'e çıkarılabilir.

Taşıma Gücü Yöntemi'ne göre yapılan kesit hesaplarında, deprem etkisini içeren yükleme durumları için TS 4651'deki yük katsayıları $1.0G + 1.0Q \pm 1.0E$ ve $0.9 G \pm 1.0 E$ olarak kabul edilir.

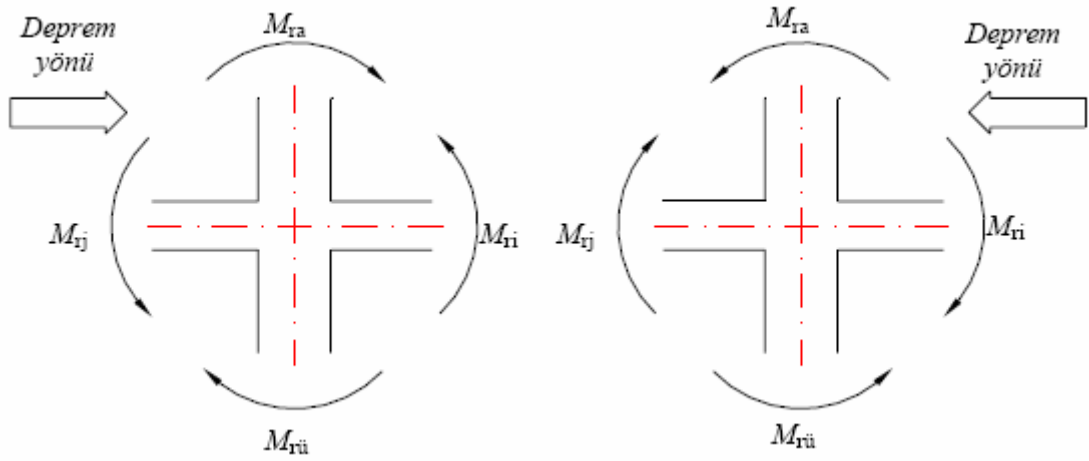
Ayrıca taşıma gücü yöntemi ile TS 4561'e göre yapılacak hesaplarda, çelik akma gerilmesi, $\gamma_{ms} = 1.15$ ve beton karakteristik dayanımı, $\gamma_{mc} = 1.5$ malzeme güvenlik katsayısı ile azaltılır. Kaynaklı birleşimlerde, depremin tekrarlı bir etki olması sebebiyle, ani güç tükenmesini önlemek için, kaynak emniyet gerilmesi veya taşıma gücü %25 oranında azaltılmalıdır.

Kesit hesapları TS 648'e göre emniyet gerilmeleri yöntemi ile yapılsa bile, yerel burkulmanın önlenmesi amacı ile, tüm çerçeve elemanlarının uygun bir süneklik seviyesine erişebilmesi için *başlık genişliği/başlık kalınlığı* (b/t_b) oranı St 37 için 17, St 52 için 14 ve *gövde derinliği/gövde kalınlığı* (d_g/t_g) oranı St 37 için 44 ve St 52 için 36 değerinden büyük olmamalıdır.

4.4.2.2 Moment Aktaran Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçevelere İlişkin Kurallar

Güçlü Kolon Koşulu: Deprem yüklerinin öngörülenin üzerine çıkması durumunda çerçevenin güç tükenmesinin kirişlerde plastik mafsall oluşumu ile meydana gelmesi için, kirişlere göre daha güçlü kolonların düzenlenmesi önemlidir. Çerçeve türü sistemlerde veya perdeli çerçeveli sistemlerin çerçevelerinde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların plastikleşme momentleri toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin plastikleşme momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır.

$$(M_{ra} + M_{rü}) \geq 1.2 (M_{ri} + M_{rj}) \quad (4.19)$$



Şekil 4.12 Moment aktaran çerçevede güçlü kolon koşulu

M_{ra} , $M_{rü}$: Sırasıyla kolonun alt ve üst ucunda hesaplanan plastikleşme momentleri

M_{ri} , M_{rj} : Sırasıyla kirişin sol ucu ile i 'de ve sağ ucu j 'de hesaplanan pozitif veya negatif plastikleşme momentleri

Bu şart, depremin her iki doğrultusu için de geçerlidir. Kolon plastikleşme momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en küçük yapan tasarım eksenel kuvvetleri göz önüne alınacaktır. Tek katlı binalarda ve çok katlı binaların en üst katındaki birleşim bölgesinde, güç tükenmesinin kolon veya kirişlerde oluşması, taşıyıcı sistemin güç tükenmesinde diğer durumlara göre daha az etkili olduğu için güçlü kolon koşulunun sağlanmasına ihtiyaç yoktur.

Sadece çelik çerçevelerden veya çelik perde (çaprazların bulunması) veya betonarme

perdelerle çelik çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın herhangi bir katında, bazı kolonların kirişlerden daha güçlü olması şartının sağlanmamasına izin verilebilir. Ancak bu ilgili katta:

$$\alpha_i = V_{is} / V_{ik} \geq 0.70 \quad (4.20)$$

şartı sağlanmalıdır.

V_{ik} : Çerçevesel veya perdeli-çerçevesel sistemlerin çerçevelerinde, binanın i'inci katındaki tüm kolonlarda göz önüne alınan deprem doğrultusunda hesaplanan kesme kuvvetlerinin toplamı

V_{is} : Çerçevesel veya perdeli-çerçevesel sistemlerin çerçevelerinde, binanın i'inci katında *Denk. 4.19*'un hem alt kattaki 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

Ancak $0.70 \leq \alpha_i \leq 1.00$ olduğu durumda, güçlü kolon şartının hem üstte ve hem de altta sağlandığı kolonlardaki kesme kuvveti ve eğilme momenti $1/\alpha_i$ oranında artırılacaktır. Böylece süneklik düzeyi yüksek çerçeve durumunda, kat etkilerinin önemli ölçüde güçlü kolonlar tarafından karşılanması sağlanmış olur.

Eğer *Denk. 4.20* şartı sağlanmıyorsa, sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşimlerinden oluşan taşıyıcı sistemlerdeki tüm çerçeveler süneklik düzeyi normal çerçeve olarak gözönüne alınmalı ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı değiştirilerek hesap tekrarlanmalıdır. Bir çelik yapıda, süneklik düzeyi normal çerçevelerin, süneklik düzeyi yüksek perdelerle kullanılması da mümkündür.

Ek ve Birleşimler: Kolonlar, çerçevenin ana taşıyıcıları olduğu için, çerçevelerin kiriş-kolon birleşimlerinde kolon sürekli olmalıdır. Kirişin, kolon kesitinin başlığına bağlanması durumunda kolon gövdesi, kiriş başlığı seviyesinde berkitme levhaları ile güçlendirilmelidir. Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde, eğilme aktaran birleşim ve eklerde kaba bulon kullanılmamalıdır. Ancak, öngermeli olarak kullanılan yüksek dayanımlı bulonlar ve ankraj bulonları bu kısıtlamanın dışındadır.

Kolonlarda eğilme momentleri kiriş seviyelerinde en büyük olduğu için, kolon ekleri kiriş-kolon birleşim yerinden, kat yüksekliğinin en az $\frac{1}{4}$ 'ü kadar uzakta yapılmalıdır. Bu eklerin küt kaynakla yapılması durumunda, kaynak ağzı açılmalı ve derine nüfuz edebilir kaynak kullanılmalıdır. Köşe kaynaklı veya öngermesiz bulonlu kiriş-kolon birleşimlerinin yük aktarma gücü, birleşime bağlanan elemanın taşıma gücünün 1.20 katından daha az olmamalıdır. Bu suretle deprem yükünün öngörülenden çok fazla olması durumunda, birleşim bölgelerinin güç tükenmesiyle sistemin yük taşıyamaz duruma gelmesi önlenmektedir.

Deprem etkisinde kiriş mesnetleri en çok zorlanan bölümleridir. Ayrıca burada, kolonla birleşim söz konusu olduğu için, eğer kirişte ek yapılması gerekli ise, bunlar kiriş-kolon birleşim yerinden en az kiriş yüksekliği kadar uzakta yapılmalıdır.

4.4.2.3 Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çaprazlı Perdelere İlişkin Kurallar

Dışmerkez yerleştirilen çaprazlarla süneklik düzeyi yüksek perde oluşturulabilir. Çapraz çubukların kiriş-kolon birleşim noktasına veya iki çapraz çubuğun bir kiriş üzerindeki ortak birleşim noktasına göre dışmerkezliği, perde kolonları arasındaki açıklığın $\frac{1}{5}$ 'i ile $\frac{1}{10}$ 'u arasında seçilecektir. Bu suretle birleşim elemanının boyu sınırlandırılmış ve bu elemanda kesme kuvvetinin etkili olması sağlanmış olur. Dışmerkez çapraz çubuklarının kirişle olan birleşim bölgesinde, kirişin yanal burkulmasının ve ayrıca yerel burkulmaların önlenmesi gerekir. Çaprazların kolonlara olan bağlantısı, kolon kesitinin başlığına yapılmalıdır. Çekme ve basınç kuvveti alacak biçimde boyutlanan çapraz çubukların çok narin olması, basınç durumunda sadece elastik burkulmanın ortaya çıkmasına ve enerji tüketiminin oluşmamasına neden olur. Bu sebepten çaprazların narinlik oranı 100 ile sınırlandırılmıştır. Çok parçalı çaprazlarda bağ levhalarının aralıkları, ardışık iki bağ levhası arasındaki tek elemanın narinlik oranı tüm çubuğun narinlik oranının 0.40 katını aşmayacak şekilde belirlenecektir. Çok parçalı çaprazın burkulmasının bağ levhasında kesme etkisi oluşturmadığının gösterilmesi halinde, bağ levhalarının aralıkları, iki bağ levhası arasındaki tek çubuğun narinlik oranı çok parçalı çubuğun etkin narinlik oranının 0.75 katını aşmayacak şekilde belirlenebilir. Binanın bir aksı üzerindeki düşey merkezi çapraz elemanlar, o aks doğrultusundaki depremde ve her bir deprem yönünde etkiyen yatay kuvvetlerin en az %30'u ve en çok %70'i basınca çalışan çaprazlar tarafından karşılanacak şekilde düzenlenecektir. - Çaprazları kolonlara ve/veya kirişlere bağlayan düğüm noktası levhaları aşağıdaki iki koşulu da sağlayacaklardır:

- Dügüm noktası levhasının düzlemi içindeki eğilme kapasitesi, dügüm noktasına birleşen çaprazın eğilme kapasitesinden daha az olmayacaktır.
- Dügüm noktası levhasının düzlem dışına burkulmasının önlenmesi amacıyla, çaprazın ucunun kiriş veya kolon yüzüne uzaklığı dügüm levhası kalınlığının iki katından daha fazla olmayacaktır. Buna uyulmadığı durumlarda, ilave berkitme levhaları kullanarak, dügüm levhasının düzlem dışına burkulması önlenecektir.

V veya ters V şeklindeki çapraz sistemlerinin sağlaması gereken ek koşullar aşağıda verilmiştir:

- Çaprazların bağlandığı kirişler sürekli olacaktır.
- Çaprazlar düşey yüklerin ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında boyutlandırılacaktır. Ancak çaprazların bağlandığı kirişler ve uç bağlantıları, çaprazların yok sayılması durumunda, kendi üzerindeki düşey yükleri güvenle taşıyacak şekilde boyutlandırılacaktır.

Kolon ekleri kolon serbest yüksekliğinin ortadaki 1/3'lük bölgesinde yapılacaktır. Kolon eklerinin eğilme dayanımı eklenen elemanlardan küçüğünün eğilme kapasitesinin %50'sinden, kesme kuvveti dayanımı ise eklenen elemanlardan küçüğünün kesme kapasitesinden daha az olmayacaktır.

4.4.2.4 Süneklik Düzeyi Normal Çerçevelere İlişkin Kurallar

Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kolonları için verilen koşullar, süneklik düzeyi normal çerçevelerin kolonları için de gereklidir. Süneklik düzeyi normal çerçevelerin moment aktaran kiriş-kolon birleşimlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler altında gerekli gerilme kontrolleri yapılacaktır. Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerde kolon ve kiriş ekleri için istenen şartlar, süneklik düzeyi normal çerçeveler için de aynen geçerlidir.

4.4.2.5 Süneklik Düzeyi Normal Çelik Çaprazlı Perdelerle İlişkin Kurallar

Çatı ve düşey düzlem çapraz sistemlerinin tüm basınç elemanlarında narinlik oranı (çubuk burkulma boyu/atalet yarıçapı) $4.0\sqrt{E_s / \sigma_a}$ sınır değerini aşmayacaktır. Çok parçalı çaprazlarda, TS648'in bağ levhalarına ilişkin kuralları geçerlidir. Her çubukta en az iki bağ levhası kullanılacaktır. Sadece çekme kuvveti taşıyacak şekilde hesaplanan çaprazlarda narinlik oranı 250'yi aşmayacaktır. Çaprazların birleşim detaylarında, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler hakkında gerekli gerilme kontrolleri yapılmalıdır. Ayrıca birleşimin taşıma kapasitesi, aşağıda tanımlanan iç kuvvetlerden küçük olanın da sağlayacaktır:

- Çaprazın aksenal kuvvet (çekme veya basınç) kapasitesi.
- Arttırılmış yüklemelerden meydana gelen çapraz aksenal kuvveti.
- Düğüm noktasına birleşen diğer elemanlar tarafından söz konusu çaprazla aktarılabilecek en büyük kuvvet.

4.5 Genel Karşılaştırma

İlk bölümde yapının, elemanlarının sünek davranışlarından ve plastik mekanizmaların oluşmasından kaynaklanan doğrusal olmayan dayanımı da hesaba katılmak üzere ivme spektrumundan elde edilen deprem etkisinin bir davranış faktörü ile azaltıldığı görülmüştü.

Eurocode 8'de elastik tepki spektrumunu ifade eden denklemler, q davranış faktörüne bölünür ve azaltılmış tasarım spektrum denklemleri elde edilir. Buna göre $q > 1$ ise malzemenin doğrusal olmayan dayanımı hesaba katılmaktadır ve yapısal elemanlar üzerinde enerji yutucu (sünekliğin toplandığı) bölgeler bulunmaktadır. Eğer $q = 1$ ise malzemenin doğrusal olmayan 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_u / α_1). Eurocode 8'de çeşitli taşıyıcı sistem tipleri için tanımlanan q davranış faktörleri, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliktekilere göre %10 - 30 oranında daha az, yani daha emniyetli taraftadırlar. Ayrıca yapıda boykesitte düzensizlik olması durumunda bu q değerleri %20 oranında azaltılır ve çelik elemanın enkesit tiplerine göre de davranış faktörü değerlerine kısıtlamalar getirilir.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te 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 karşın $R = 3 - 4$ gibi davranış katsayısı değerleri önerilmiş ve deprem yükü azaltılmıştır. Buna karşılık birinci ve ikinci deprem bölgelerinde süneklik düzeyi yüksek sistemlerin kullanılması şart koşulmuştur.

Eurocode 8'de ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'de taşıyıcı sistem elemanları için verilen sünek tasarım kuralları arasında da farklılıklar göze çarpmaktadır. Eurocode 8, kesitlerde taşıma gücü hesabını esas alarak, elemanlarda plastik mafsallı oluştuğunda plastik moment dayanımı ve dönme kapasitesinin azalmamasını garanti etmek üzere iç kuvvetlere sınırlamalar getirir. Ayrıca kolonlardaki, kiriş - kolon birleşimlerinin ve 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.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te ise, sadece süneklik düzeyi yüksek 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. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ise, tüm deprem bölgelerinde kaynak emniyet gerilmesini %25 oranında azaltır.

Her iki yönetmelik de sünek elemanların birleşimlerinde yüksek mukavemetli .öngerilmeli bulonların kullanılmasını şart koşmaktadır.

5. ÖRNEK YAPININ KARŞILAŞTIRMALI DEPREM ANALİZİ

Bu bölümde örnek bir yapı üzerinde, eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak, Eurocode 8 ile Afet bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik arasındaki farklar incelenecektir.

5.1 Yapısal Özellikler

Örnek yapı 600 m² alanlı, 8 katlı bir hastane binasıdır. Her kat X yönünde 20m. uzunluğunda 6 akstan, Y yönünde 30 m. uzunluğunda 5 akstan oluşmaktadır. Bina yüksekliği, her kat 3m. olmak üzere toplam 24 m'dir.

Taşıyıcı sistem kiriş elemanları IPB 300 (HEB 300), kolon elemanları ise IPBV 320 (HEM 320) yapı çeliği seçilmiştir.

Döşeme 15 cm. kalınlığında betonarme döşeme seçilmiştir. Ancak döşemede kompozit sistem hesabı yapılmadığından SAP 2000 ile tasarım yapılırken döşeme, rijit diyafram olarak kabul edilmemiştir.

Yapının dış çevre duvarları 20 cm. kalınlığında gaz beton ile örülmüştür.

Yapının döşemesi seramik kaplı, çatısı ise kiremit kaplıdır.

5.2 Diğer Özellikler

Örnek yapı 1. derece deprem bölgesinde bulunmakla birlikte, gevşek kum zemine oturmaktadır. Bu koşulları seçmemizin nedeni deprem yüklerinin binaya en elverişsiz şartlarda etki etmesini sağlamaktır.

5.3 Eurocode 8

5.3.1 Yapıya Etkiyen Yükler

Döşemenin kalınlığı 15cm., betonun birim hacim ağırlığı 2.5 t/m³ kabul edilirse;

Döşemeden gelen sabit yükler

$$0.15 \times 2.5 \times 30 \times 20 \times 0.102 = 2205.8 \text{ kN. olarak hesaplanır.}$$

60 cm. × 25cm.'lik bie gaz betonun ağırlığı 3 kg. olarak kabul edilirse;

Duvardan gelen sabit yükler:

$$\frac{100 \times 3 \times 3}{0.6 \times 0.25 \times 1000 \times 0.102} = 58.82 \text{ kN. olarak hesaplanır.}$$

IPBV 320 tipinde bir çelik taşıyıcı elemanın birim ağırlığı 245 kg/m kabul edilirse;

Kolondan gelen sabit yükler:

$$\frac{245 \times 3 \times 30}{1000 \times 0.102} = 216.18 \text{ kN. olarak hesaplanır.}$$

IPB 300 tipinde bir çelik taşıyıcı elemanın birim ağırlığı 117 kg/m kabul edilirse;

Kirişlerden gelen sabit yükler:

$$\frac{117 \times 270}{1000 \times 0.102} = 309.71 \text{ kN. olarak hesaplanır.}$$

Normal katlardaki sabit yükler = Döşeme + Duvar + Kolon + Kiriş = 2790.51 kN.

Çatı katındaki sabit yükler = Döşeme + Kiriş = 2515.51 kN.

Normal katlardaki hareketli yükler = $0.3 \times 600 \times 2 = 360$ kN.

Çatı katındaki hareketli yükler = $0.3 \times 600 \times 1.5 = 270$ kN.

Normal katları toplam ağırlığı = $2790.51 + 360 = 3150.51$ kN.

Çatı katının toplam ağırlığı = $2515.51 + 270 = 2785.51$ kN.

Yapının Toplam ağırlığı = $(3150.51 \times 7) + 2785.51 = 24839.08$ kN.

Normal katların kütlesi = $3150.51 / 9.81 = 321.15$ kNs² / m

Çatı katının kütlesi = $2785.51 / 9.81 = 283.95$ kNs² / m

5.3.2 Yapının Tasarım Spektrumunun Hesaplanması

Döşemelerden kirişlere aktarılan sabit ve hareketli yükler ile kiriş ve kolonların kendi ağırlıklarından gelen yükler binaya etkitildikten sonra katların kütleleri de binanın kütle merkezine yerleştirilir.

Bu işlemlerden sonra SAP 2000 programı yardımıyla X ve Y doğrultularında binanın doğal titreşim periyotları hesaplanır.

$$T_1(X)=1.91235 \text{ s.}$$

$$T_1(Y)=1.72232 \text{ s.}$$

Yukarıdaki parametrelerin normalden büyük değerler almasının nedeni yapının döşemelerine rijit diyafram atanmamasıdır. Aynı yapının döşemesine rijit diyafram atanarak çözümü yapılmış ve T değerleri yaklaşık 0.874 s. bulunmuştur. Bu değer, eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan titreşim periyodu değerine oldukça yakındır (0.867 s.).

Eurocode 8'e göre C grubu zemin için tasarım spektrumu parametreleri aşağıdaki gibidir:

$$s = 0.9 \quad \beta = 2.5 \quad k_1 = 1 \quad k_2 = 2 \quad T_B(s) = 0.2 \quad T_B(s) = 0.8$$

$$k_{d1} = 2/3 \quad k_{d2} = 5/3 \quad q = 5$$

$$S_d(X) = 0.4 \times 0.9 \times \left(\frac{2.5}{5}\right) \left(\frac{0.8}{1.91235}\right)^{2/3} \geq 0.2 \times 0.4$$

$$S_d(X) = 0.1 \geq 0.08$$

$$S_d(Y) = 0.4 \times 0.9 \times \left(\frac{2.5}{5}\right) \left(\frac{0.8}{1.72232}\right)^{2/3} \geq 0.2 \times 0.4$$

$$S_d(X) = 0.108 \geq 0.08$$

5.3.3 Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesaplanması

Eşdeğer kat yüklerini hesaplayabilmek için önce taban kesme kuvvetlerini hesaplamak gerekmektedir. X ve Y doğrultularında taban kesme kuvvetleri aşağıdaki gibidir:

$$F_{bx} = S_{dx}(T) \times W = 0.1 \times 24893.08 = 2483.91 \text{ kN.}$$

$$F_{by} = S_{dy}(T) \times W = 0.108 \times 24893.08 = 2682.62 \text{ kN.}$$

Tablo 5.1 X ve Y doğrultularındaki eşdeğer deprem yükleri

Kat	h_i (m)	w_i (kN)	$w_i h_i$ (kNm)	$w_i h_i / \sum w_i h_i$	F_{ix} (kN)	F_{iy} (kN)
1	3.00	3150.51	9451.53	0.028512	70.82	76.49
2	3.00	3150.51	18903.06	0.057024	141.64	152.97
3	3.00	3150.51	28354.59	0.085535	212.46	229.46
4	3.00	3150.51	37806.12	0.114047	283.28	305.94
5	3.00	3150.51	47257.65	0.142559	354.10	382.43
6	3.00	3150.51	56709.18	0.171071	424.92	458.92
7	3.00	3150.51	66160.71	0.199583	495.75	535.41
8	3.00	2785.51	66852.24	0.201669	500.93	541.00

5.3.4 Dışmerkezliliklerin Hesaplanması

Kat kütle dağılımının düzgün olmamasını gözönüne almak için eşdeğer deprem yükleri yapıya \pm %5 dışmerkezlikle etkitilir.

$$X \text{ doğrultusundaki dışmerkezlilik : } e_x = 0.05 \times 30 = 1.5 \text{ m.}$$

$$Y \text{ doğrultusundaki dışmerkezlilik : } e_y = 0.05 \times 20 = 1.0 \text{ m.}$$

Yukarıda bulunan dışmerkezlilikler, eşdeğer deprem yükleriyle çarpılarak her kata momentler etkitilir.

Tablo 5.2 Dışmerkezlilikler nedeniyle oluşan momentler

Kat	M_{ix} (kNm)	M_{iy} (kNm)
1	106.23	76.49
2	212.46	152.97
3	318.69	229.46
4	424.92	305.94
5	531.15	382.43
6	637.38	458.92
7	743.63	535.41
8	751.40	541.00

5.3.5 Ek Dışmerkezlilik Etkilerinin Hesaplanması

Eurocode 8, öteleme ve dönme titreşimlerini gözönüne almak için bir ek dışmerkezliğin daha tanımlanmasını öngörmüştür. Bu ek dışmerkezlilik, Denk. 3.22 ve 3.23 ile verilmiştir. Bu denklemlere göre binanın kütle merkezi ile rijitlik merkezinin aynı noktada bulunması halinde e_2 ek dışmerkezliğinin gözönüne alınmasına gerek yoktur. Örnek binanın kütle merkezi ile rijitlik merkezi aynı noktada bulunduğu için e_2 ek dışmerkezliği gözönüne alınmamıştır.

5.3.6 Yük Kombinasyonlarının Tanımlanması

Denk. 3.26'ya göre yükleme kombinasyonları aşağıdaki gibi seçilmiştir.

1. Kat için : $1 G + 0.5 Q \pm 1.4 E$

Diğer katlar için : $1 G + 0.8 Q \pm 1.4 E$

5.3.7 Yapının Deplasmanları ve Burulma Düzensizliği Kontrolleri

Hesaplanan kuvvetler ve momentler yukarıdaki kombinasyonlarla etkitildikten sonra yapıda gözlenen maksimum ve minimum yer değiştirmeler ile burulma düzensizliği kontrolleri Tablo 5.3'de gösterilmiştir.

Bu tablodan iki sonuç çıkarılabilir:

1-Yapıda burulma düzensizliği mevcuttur.

2-Y doğrultusundaki yüklemelerden dolayı oluşan yatay yer değiştirmeler, X doğrultusundakilerden daha büyük olmasına karşın burulma düzensizliği yüzünden oluşan momentler X doğrultusunda daha büyük çıkmaktadır. Bunun nedeni Y doğrultusundaki dışmerkezliğin X doğrultusuna göre % 50 küçük olmasıdır.

Bunların dışında tabloda görünmeyen bir ayrıntı daha açıklanmalıdır. Sabit yükler ve hareketli yüklerin kombinasyonuna katılım katsayıları ne kadar değişirse değişsin, yapının yatay yer değiştirmelerine etkisi ihmal edilebilecek kadar az olmaktadır. Bunun nedeni sabit ve hareketli yüklerin yapıya sadece düşey doğrultuda etkimeler; buna karşılık düşey yüklerin yatay yer değiştirmeye katkılarının çok sınırlı olmasıdır. Bu gözlemin gerçekliği, sonuçlar Türk Deprem Yönetmeliği ile incelendiğinde daha açık görülecektir.

Tablo 5.3 Eurocode 8'e göre çözülen sistemin sonuç değerleri

Kat	Yük Kombinasyonu	Maksimum Yer Değiştirme (m)	Minimum Yer Değiştirme (m)	Ortalama Yer Değiştirme (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı	Dışmerkezlik Artırma Katsayısı	Yeni Dışmerkezlik (m)	Yeni Moment (kNm)
1	XPDP1	0,014	0,002	0,008	1,708	2,025	3,038	215,121
2	XPDP2	0,037	0,006	0,022	1,704	2,017	3,025	428,466
3	XPDP2	0,062	0,011	0,037	1,703	2,013	3,020	641,618
4	XPDP2	0,086	0,015	0,050	1,702	2,013	3,019	855,177
5	XPDP2	0,106	0,019	0,062	1,703	2,014	3,021	1069,700
6	XPDP2	0,123	0,021	0,072	1,704	2,016	3,025	1285,226
7	XPDP2	0,014	0,023	0,079	1,705	2,019	3,028	1501,224
8	XPDP2	0,143	0,025	0,084	1,705	2,020	3,030	1517,633
1	XPDN1	0,009	0,004	0,007	1,404	1,369	2,053	145,389
2	XPDN2	0,025	0,011	0,018	1,400	1,361	2,042	289,182
3	XPDN2	0,042	0,018	0,030	1,399	1,359	2,039	433,156
4	XPDN2	0,058	0,025	0,041	1,399	1,359	2,038	577,439
5	XPDN2	0,072	0,031	0,051	1,399	1,360	2,040	722,291
6	XPDN2	0,083	0,035	0,059	1,400	1,361	2,042	867,717
7	XPDN2	0,091	0,039	0,065	1,401	1,363	2,044	1013,481
8	XPDN2	0,096	0,041	0,068	1,401	1,364	2,045	1024,553
1	XNDP1	-0,014	-0,002	-0,008	1,709	2,028	3,042	215,416
2	XNDP2	-0,037	-0,006	-0,022	1,704	2,017	3,025	428,447
3	XNDP2	-0,062	-0,011	-0,037	1,703	2,013	3,020	641,618
4	XNDP2	-0,086	-0,015	-0,050	1,702	2,013	3,019	855,194
5	XNDP2	-0,106	-0,019	-0,062	1,703	2,014	3,021	1069,700
6	XNDP2	-0,123	-0,021	-0,072	1,704	2,016	3,025	1285,244
7	XNDP2	-0,135	-0,023	-0,079	1,705	2,019	3,028	1501,242
8	XNDP2	-0,143	-0,025	-0,084	1,705	2,019	3,029	1517,107
1	XNDN1	-0,009	-0,004	-0,007	1,405	1,371	2,056	145,612
2	XNDN2	-0,025	-0,011	-0,018	1,400	1,361	2,042	289,166
3	XNDN2	-0,042	-0,018	-0,030	1,399	1,359	2,039	433,156
4	XNDN2	-0,058	-0,025	-0,041	1,399	1,359	2,038	577,439
5	XNDN2	-0,072	-0,031	-0,051	1,399	1,360	2,040	722,291
6	XNDN2	-0,083	-0,035	-0,059	1,400	1,361	2,042	867,717
7	XNDN2	-0,091	-0,039	-0,065	1,401	1,363	2,044	1013,496
8	XNDN2	-0,096	-0,041	-0,068	1,401	1,363	2,044	1024,119

Kat	Yük Kombinasyonu	Maksimum Yer Değiştirme (m)	Minimum Yer Değiştirme (m)	Ortalama Yer Değiştirme (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı	Dışmerkezlilik Artırma Katsayısı	Yeni Dışmerkezlilik (m)	Yeni Moment (kNm)
1	YPDP1	0,018	0,010	0,014	1,272	1,123	1,123	85,888
2	YPDP2	0,044	0,026	0,035	1,267	1,114	1,114	170,457
3	YPDP2	0,070	0,041	0,055	1,266	1,112	1,112	255,216
4	YPDP2	0,094	0,054	0,074	1,266	1,114	1,114	340,785
5	YPDP2	0,115	0,066	0,090	1,269	1,118	1,118	427,709
6	YPDP2	0,132	0,075	0,104	1,272	1,124	1,124	515,989
7	YPDP2	0,144	0,082	0,113	1,275	1,130	1,130	604,783
8	YPDP2	0,150	0,085	0,118	1,276	1,131	1,131	611,907
1	YPDN1	0,018	0,010	0,014	1,267	1,114	1,114	85,229
2	YPDN2	0,044	0,026	0,035	1,262	1,106	1,106	169,129
3	YPDN2	0,070	0,041	0,056	1,261	1,104	1,104	253,230
4	YPDN2	0,094	0,055	0,074	1,262	1,105	1,105	338,128
5	YPDN2	0,115	0,067	0,090	1,264	1,110	1,110	424,348
6	YPDN2	0,132	0,076	0,104	1,267	1,115	1,115	511,903
7	YPDN2	0,144	0,083	0,113	1,270	1,121	1,121	599,945
8	YPDN2	0,150	0,086	0,118	1,271	1,122	1,122	606,946
1	YNDP1	-0,018	-0,010	-0,014	0,273	1,125	1,125	86,015
2	YNDP2	-0,044	-0,025	-0,035	1,267	1,114	1,114	170,457
3	YNDP2	-0,070	-0,041	-0,055	1,266	1,112	1,112	255,221
4	YNDP2	-0,094	-0,054	-0,074	1,267	1,114	1,114	340,790
5	YNDP2	-0,115	-0,066	-0,090	1,269	1,118	1,118	427,709
6	YNDP2	-0,132	-0,075	-0,104	1,272	1,124	1,124	515,994
7	YNDP2	-0,144	-0,082	-0,113	1,275	1,130	1,130	604,764
8	YNDP2	-0,150	-0,085	-0,118	1,276	1,131	1,131	611,692
1	YNDN1	-0,018	-0,010	-0,014	1,268	1,116	1,116	85,354
2	YNDN2	-0,044	-0,026	-0,035	1,262	1,106	1,106	169,129
3	YNDN2	-0,070	-0,041	-0,056	1,261	1,104	1,104	253,235
4	YNDN2	-0,094	-0,055	-0,074	1,262	1,105	1,105	338,132
5	YNDN2	-0,115	-0,067	-0,091	1,264	1,110	1,110	424,353
6	YNDN2	-0,132	-76,000	-0,104	1,267	1,115	1,115	511,908
7	YNDN2	-0,144	-0,083	-0,113	1,270	1,120	1,120	599,927
8	YNDN2	-0,150	-0,086	-0,118	1,271	1,122	1,122	606,738

5.4 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

5.4.1 Yapıya Etkiyen Yükler

Döşemenin kalınlığı 15cm., betonun birim hacim ağırlığı 2.5 t/m³ kabul edilirse;

Döşemeden gelen sabit yükler

$$0.15 \times 2.5 \times 30 \times 20 \times 0.102 = 2205.8 \text{ kN. olarak hesaplanır.}$$

60 cm. × 25cm.'lik bir gaz betonun ağırlığı 3 kg. olarak kabul edilirse;

Duvardan gelen sabit yükler:

$$\frac{100 \times 3 \times 3}{0.6 \times 0.25 \times 1000 \times 0.102} = 58.82 \text{ kN. olarak hesaplanır.}$$

IPBV 320 tipinde bir çelik taşıyıcı elemanın birim ağırlığı 245 kg/m kabul edilirse;

Kolondan gelen sabit yükler:

$$\frac{245 \times 3 \times 30}{1000 \times 0.102} = 216.18 \text{ kN. olarak hesaplanır.}$$

IPB 300 tipinde bir çelik taşıyıcı elemanın birim ağırlığı 117 kg/m kabul edilirse;

Kirişlerden gelen sabit yükler:

$$\frac{117 \times 270}{1000 \times 0.102} = 309.71 \text{ kN. olarak hesaplanır.}$$

Normal katlardaki sabit yükler = Döşeme + Duvar + Kolon + Kiriş = 2790.51 kN.

Çatı katındaki sabit yükler = Döşeme + Kiriş + %30 Kar Yüğü = 2650.51 kN.

Normal katlardaki hareketli yükler = 0.3 × 600 × 3.5 = 630 kN.

Çatı katındaki hareketli yükler = 0.3 × 600 × 1.5 = 270 kN.

Normal katları toplam ağırlığı = 2790.51 + 630 = 3420.51 kN.

$$\begin{aligned} \text{Çatı katının toplam ağırlığı} &= 2650.51 + 270 = 2920.51 \text{ kN.} \\ \text{Yapının Toplam ağırlığı} &= (3420.51 \times 7) + 2920.51 = 26864.08 \text{ kN.} \\ \text{Normal katların kütlesi} &= 3420.51 / 9.81 = 348.67 \text{ kNs}^2 / \text{m} \\ \text{Çatı katının kütlesi} &= 2920.51 / 9.81 = 297.71 \text{ kNs}^2 / \text{m} \end{aligned}$$

5.4.2 Yapının Tasarım Spektrumunun Hesaplanması

Döşemelerden kirişlere aktarılan sabit ve hareketli yükler ile kiriş ve kolonların kendi ağırlıklarından gelen yükler binaya etkitildikten sonra katların kütleleri de binanın kütle merkezine yerleştirilir.

Bu işlemlerden sonra SAP 2000 programı yardımıyla X ve Y doğrultularında binanın doğal titreşim periyotları hesaplanır.

$$T_1(X) = 1.91235 \text{ s.}$$

$$T_1(Y) = 1.72232 \text{ s.}$$

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te verilen tasarım spektrum parametreleri:

$$\text{1.derece deprem bölgesi için etkin yer ivmesi katsayısı} : A_0 = 0.4$$

$$\text{Bina önem katsayısı} : I = 1.5$$

$$\text{Z}_4 \text{ yerel zemin sınıfı için spektrum karakteristik periyotları} : T_A = 0.20 \text{ s. } T_B = 0.90 \text{ s.}$$

$$\text{Taşıyıcı sistem davranış katsayısı} : R = 8$$

5.4.3 Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesaplanması

Binaya etki eden toplam kesme kuvvetleri hesaplanmadan önce spektral ivme katsayısı hesaplanır.

$$A(T_1)_X = 0.4 \times 1.5 \times 1.368 = 0.8208$$

$$A(T_1)_Y = 0.4 \times 1.5 \times 1.487 = 0.8922$$

Toplam kesme kuvvetleri aşağıdaki gibidir:

$$V_{tx} = 26864.08 \times 0.8208 / 8 = 2756.25 \text{ kN.}$$

$$V_{ty} = 26864.08 \times 0.8922 / 8 = 2996.02 \text{ kN.}$$

Tablo 5.4 X ve Y doğrultularındaki eşdeğer deprem yükleri

Kat	h_i (m)	w_i (kN)	$w_i h_i$ (kNm)	$w_i h_i / \sum w_i h_i$	F_{ix} (kN)	F_{iy} (kN)
1	3.00	3420.51	10261.53	0.02871	79.13	86.02
2	3.00	3420.51	20523.06	0.05742	158.26	172.03
3	3.00	3420.51	30784.59	0.08613	237.40	258.05
4	3.00	3420.51	41046.12	0.11484	316.53	344.06
5	3.00	3420.51	51307.65	0.14355	395.66	430.08
6	3.00	3420.51	61569.18	0.17226	474.79	516.09
7	3.00	3420.51	71830.71	0.20100	553.93	596.17
8	3.00	2920.51	70092.24	0.19610	540.52	587.52

5.4.4 Dışmerkezliklerin Hesaplanması

Kat kütle dağılımının düzgün olmamasını gözönüne almak için eşdeğer deprem yükleri yapıya \pm %5 dışmerkezlikle etkitilir.

$$X \text{ doğrultusundaki dışmerkezlik : } e_x = 0.05 \times 30 = 1.5 \text{ m.}$$

$$Y \text{ doğrultusundaki dışmerkezlik : } e_y = 0.05 \times 20 = 1.0 \text{ m.}$$

Yukarıda bulunan dışmerkezlikler, eşdeğer deprem yükleriyle çarpılarak her kata momentler etkitilir.

Tablo 5.5 Dışmerkezlilikler nedeniyle oluşan momentler

Kat	M_{ix} (kNm)	M_{iy} (kNm)
1	118.695	86.020
2	237.390	172.030
3	356.100	258.050
4	474.795	344.060
5	593.490	430.080
6	712.185	516.090
7	830.895	596.170
8	810.780	587.520

5.4.5 Yük Kombinasyonlarının Tanımlanması

Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre yapılan analizde iki çeşit yük kombinasyonu tanımlanmıştır:

1) $1G + 1Q \pm 1E$

2) $0.9G \pm 1E$

5.4.6 Yapının Deplasmanları ve Burulma Düzensizliği Kontrolleri

Hesaplanan kuvvetler ve momentler yukarıdaki kombinasyonlarla etkitildikten sonra yapıda gözlenen maksimum ve minimum yer değiştirmeler ile burulma düzensizliği Tablo 5.6 da gösterilmektedir.

Bu tablodan çıkan sonuçlar Tablo 5.3' deki sonuçlar ile aynıdır.

Tablo 5.6 dikkatle incelendiğinde sabit yüklerin katsayısının 1'den, 0.9'a inmesi ya da hareketli yüklerin hesaba katılmaması yapının yer değiştirmesine katkı yapmamaktadır.

Tablo 5.6 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre çözülen sistemin sonuç değerleri

Kat	Yük Kombinasyonu	Maksimum Yer Değiştirme (m)	Minimum Yer Değiştirme (m)	Ortalama Yer Değiştirme (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı	Dışmerkezlik Artırma Katsayısı	Yeni Dışmerkezlik (m)	Yeni Moment (kNm)
1	XPDP1	0,011	0,002	0,006	1,711	2,033	3,049	241,275
2	XPDP1	0,030	0,005	0,017	1,705	2,019	3,028	479,182
3	XPDP1	0,049	0,009	0,029	1,703	2,015	3,023	717,565
4	XPDP1	0,068	0,012	0,040	1,703	2,014	3,021	956,251
5	XPDP1	0,084	0,015	0,049	1,703	2,015	3,022	1195,849
6	XPDP1	0,097	0,017	0,057	1,704	2,017	3,025	1436,371
7	XPDP1	0,107	0,019	0,063	1,705	2,018	3,028	1677,044
8	XPDP1	0,113	0,020	0,066	1,704	2,017	3,025	1635,146
1	XPDN1	0,007	0,003	0,005	1,407	1,375	2,062	163,198
2	XPDN1	0,020	0,009	0,014	1,401	1,363	2,044	323,495
3	XPDN1	0,033	0,014	0,024	1,400	1,361	2,041	484,517
4	XPDN1	0,046	0,020	0,033	1,399	1,360	2,040	645,764
5	XPDN1	0,057	0,024	0,041	1,400	1,361	2,041	807,496
6	XPDN1	0,066	0,028	0,047	1,400	1,362	2,042	969,736
7	XPDN1	0,072	0,031	0,051	1,401	1,363	2,044	1132,141
8	XPDN1	0,076	0,032	0,054	1,400	1,361	2,042	1103,699
1	XNDP1	-0,011	-0,002	-0,006	1,711	2,033	3,049	241,275
2	XNDP1	-0,030	-0,005	-0,017	1,705	2,019	3,028	479,182
3	XNDP1	-0,490	-0,009	-0,029	1,703	2,015	3,023	717,565
4	XNDP1	-0,068	-0,012	-0,040	1,703	2,014	3,021	956,251
5	XNDP1	-0,084	-0,015	-0,049	1,703	2,015	3,022	1195,849
6	XNDP1	-0,097	-0,017	-0,057	1,704	2,017	3,025	1436,371
7	XNDP1	-0,107	-0,019	-0,063	1,705	2,018	3,028	1677,044
8	XNDP1	-0,113	-0,020	-0,066	1,704	2,017	3,025	1635,146
1	XNDN1	-0,007	-0,003	-0,005	1,407	1,375	2,062	163,198
2	XNDN1	-0,020	-0,009	-0,014	1,401	1,363	2,044	323,495
3	XNDN1	-0,033	-0,014	-0,024	1,400	1,361	2,041	484,517
4	XNDN1	-0,046	-0,020	-0,033	1,399	1,360	2,040	645,764
5	XNDN1	-0,057	-0,024	-0,041	1,400	1,361	2,041	807,496
6	XNDN1	-0,066	-0,028	-0,047	1,400	1,362	2,042	969,736
7	XNDN1	-0,072	-0,031	-0,051	1,401	1,363	2,044	1132,141
8	XNDN1	-0,076	-0,032	-0,054	1,400	1,361	2,042	1103,699

Kat	Yük Kombinasyonu	Maksimum Yer Değiştirme (m)	Minimum Yer Değiştirme (m)	Ortalama Yer Değiştirme (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı	Dışmerkezlilik Artırma Katsayısı	Yeni Dışmerkezlilik (m)	Yeni Moment (kNm)
1	YPDP1	0,018	0,010	0,014	1,272	1,123	1,123	85,888
2	YPDP2	0,044	0,026	0,035	1,267	1,114	1,114	170,457
3	YPDP2	0,070	0,041	0,055	1,266	1,112	1,112	255,216
4	YPDP2	0,094	0,054	0,074	1,266	1,114	1,114	340,785
5	YPDP2	0,115	0,066	0,090	1,269	1,118	1,118	427,709
6	YPDP2	0,132	0,075	0,104	1,272	1,124	1,124	515,989
7	YPDP2	0,144	0,082	0,113	1,275	1,130	1,130	604,783
8	YPDP2	0,150	0,085	0,118	1,276	1,131	1,131	611,907
1	YPDN1	0,018	0,010	0,014	1,267	1,114	1,114	85,229
2	YPDN2	0,044	0,026	0,035	1,262	1,106	1,106	169,129
3	YPDN2	0,070	0,041	0,056	1,261	1,104	1,104	253,230
4	YPDN2	0,094	0,055	0,074	1,262	1,105	1,105	338,128
5	YPDN2	0,115	0,067	0,090	1,264	1,110	1,110	424,348
6	YPDN2	0,132	0,076	0,104	1,267	1,115	1,115	511,903
7	YPDN2	0,144	0,083	0,113	1,270	1,121	1,121	599,945
8	YPDN2	0,150	0,086	0,118	1,271	1,122	1,122	606,946
1	YNDP1	-0,018	-0,010	-0,014	0,273	1,125	1,125	86,015
2	YNDP2	-0,044	-0,025	-0,035	1,267	1,114	1,114	170,457
3	YNDP2	-0,070	-0,041	-0,055	1,266	1,112	1,112	255,221
4	YNDP2	-0,094	-0,054	-0,074	1,267	1,114	1,114	340,790
5	YNDP2	-0,115	-0,066	-0,090	1,269	1,118	1,118	427,709
6	YNDP2	-0,132	-0,075	-0,104	1,272	1,124	1,124	515,994
7	YNDP2	-0,144	-0,082	-0,113	1,275	1,130	1,130	604,764
8	YNDP2	-0,150	-0,085	-0,118	1,276	1,131	1,131	611,692
1	YNDN1	-0,018	-0,010	-0,014	1,268	1,116	1,116	85,354
2	YNDN2	-0,044	-0,026	-0,035	1,262	1,106	1,106	169,129
3	YNDN2	-0,070	-0,041	-0,056	1,261	1,104	1,104	253,235
4	YNDN2	-0,094	-0,055	-0,074	1,262	1,105	1,105	338,132
5	YNDN2	-0,115	-0,067	-0,091	1,264	1,110	1,110	424,353
6	YNDN2	-0,132	-76,000	-0,104	1,267	1,115	1,115	511,908
7	YNDN2	-0,144	-0,083	-0,113	1,270	1,120	1,120	599,927
8	YNDN2	-0,150	-0,086	-0,118	1,271	1,122	1,122	606,738

Kat	Yük Kombinasyonu	Maksimum Yer Değiştirme (m)	Minimum Yer Değiştirme (m)	Ortalama Yer Değiştirme (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı	Dışmerkezlik Artırma Katsayısı	Yeni Dışmerkezlik (m)	Yeni Moment (kNm)
1	XPDP2	0,011	0,002	0,006	1,710	2,030	3,046	241,009
2	XPDP2	0,030	0,005	0,017	1,705	2,019	3,028	479,182
3	XPDP2	0,049	0,009	0,290	1,703	2,015	3,023	717,565
4	XPDP2	0,068	0,012	0,040	1,703	2,014	3,021	956,251
5	XPDP2	0,084	0,015	0,049	1,703	2,015	3,022	1195,849
6	XPDP2	0,097	0,017	0,057	1,704	2,017	3,025	1436,346
7	XPDP2	0,107	0,019	0,063	1,705	2,018	3,028	1677,071
8	XPDP2	0,113	0,020	0,066	1,704	2,017	3,026	1635,617
1	XPDN2	0,007	0,003	0,005	1,406	1,373	2,060	162,976
2	XPDN2	0,020	0,009	0,014	1,401	1,363	2,044	323,495
3	XPDN2	0,033	0,014	0,024	1,400	1,361	2,041	484,517
4	XPDN2	0,046	0,020	0,033	1,399	1,360	2,040	645,764
5	XPDN2	0,057	0,024	0,041	1,400	1,361	2,041	807,496
6	XPDN2	0,066	0,028	0,047	1,400	1,362	2,042	969,715
7	XPDN2	0,072	0,031	0,051	1,401	1,363	2,044	1132,163
8	XPDN2	0,076	0,032	0,054	1,400	1,362	2,043	1104,087
1	XNDP2	-0,011	-0,002	-0,006	1,708	2,026	3,040	240,516
2	XNDP2	-0,030	-0,005	-0,017	1,705	2,019	3,028	479,209
3	XNDP2	-0,049	-0,009	-0,290	1,703	2,015	3,022	717,510
4	XNDP2	-0,068	-0,012	-0,040	1,703	2,014	3,021	956,227
5	XNDP2	-0,084	-0,015	-0,049	1,703	2,015	3,022	1195,849
6	XNDP2	-0,097	-0,017	-0,057	1,704	2,017	3,025	1436,321
7	XNDP2	-0,107	-0,019	-0,063	1,705	2,018	3,027	1676,964
8	XNDP2	-0,113	-0,020	-0,066	1,705	2,019	3,028	1636,584
1	XNDN2	-0,007	-0,003	-0,005	1,404	1,370	2,055	162,597
2	XNDN2	-0,020	-0,009	-0,014	1,401	1,363	2,044	323,495
3	XNDN2	-0,033	-0,014	-0,024	1,400	1,361	2,041	484,517
4	XNDN2	-0,046	-0,020	-0,033	1,990	1,360	2,040	645,744
5	XNDN2	-0,057	-0,024	-0,041	1,400	1,361	2,041	807,496
6	XNDN2	-0,066	-0,028	-0,047	1,400	1,362	2,042	969,694
7	XNDN2	-0,072	-0,031	-0,051	1,401	1,362	2,044	1132,052
8	XNDN2	-0,076	-0,032	-0,054	1,401	1,363	2,044	1104,904

Kat	Yük Kombinasyonu	Maksimum Yer Değiştirme (m)	Minimum Yer Değiştirme (m)	Ortalama Yer Değiştirme (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı	Dışmerkezlik Artırma Katsayısı	Yeni Dışmerkezlik (m)	Yeni Moment (kNm)
1	YPDP2	0,014	0,008	0,011	1,268	1,116	1,116	96,015
2	YPDP2	0,035	0,021	0,028	1,263	1,108	1,108	190,591
3	YPDP2	0,056	0,033	0,044	1,262	1,106	1,106	285,314
4	YPDP2	0,075	0,044	0,059	1,263	1,107	1,107	380,870
5	YPDP2	0,091	0,053	0,072	1,265	1,111	1,111	477,815
6	YPDP2	0,105	0,061	0,083	1,268	1,116	1,116	575,980
7	YPDP2	0,114	0,066	0,090	1,270	1,120	1,120	667,573
8	YPDP2	0,119	0,068	0,094	1,270	1,120	1,120	658,072
1	YPDN2	0,014	0,008	0,011	1,273	1,125	1,125	96,768
2	YPDN2	0,035	0,020	0,028	1,268	1,117	1,117	192,100
3	YPDN2	0,056	0,032	0,044	1,267	1,114	1,114	287,581
4	YPDN2	0,075	0,043	0,059	1,268	1,116	1,116	383,903
5	YPDN2	0,091	0,053	0,072	1,270	1,120	1,120	481,608
6	YPDN2	0,105	0,060	0,082	1,273	1,125	1,125	580,580
7	YPDN2	0,114	0,065	0,090	1,275	1,129	1,129	672,950
8	YPDN2	0,119	0,068	0,093	1,275	1,129	1,129	663,437
1	YNDP2	-0,014	-0,008	-0,011	1,269	1,119	1,119	96,235
2	YNDP2	-0,035	-0,021	-0,028	1,263	1,108	1,108	190,591
3	YNDP2	-0,056	-0,033	-0,044	1,262	1,106	1,106	285,327
4	YNDP2	-0,075	-0,044	-0,059	1,263	1,107	1,107	380,890
5	YNDP2	-0,091	-0,053	-0,072	1,265	1,111	1,111	477,821
6	YNDP2	-0,105	-0,061	-0,083	1,268	1,116	1,116	575,987
7	YNDP2	-0,114	-0,066	-0,090	1,270	1,120	1,120	667,620
8	YNDP2	-0,119	-0,069	-0,094	1,269	1,119	1,119	657,526
1	YNDN2	-0,014	-0,008	-0,011	1,274	1,128	1,128	96,990
2	YNDN2	-0,035	-0,020	-0,028	1,268	1,117	1,117	192,100
3	YNDN2	-0,056	-0,032	-0,044	1,267	1,114	1,114	287,588
4	YNDN2	-0,075	-0,043	-0,059	1,268	1,116	1,116	383,909
5	YNDN2	-0,091	-0,053	-0,072	1,270	1,120	1,120	481,615
6	YNDN2	-0,105	-0,060	-0,082	1,273	1,125	1,125	580,587
7	YNDN2	-0,114	-0,065	-0,090	1,275	1,129	1,129	672,997
8	YNDN2	-0,119	-0,068	-0,093	1,275	1,128	1,128	662,886

5.5 Genel Karşılaştırma

Yapılan analizler sonucunda Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, yapıya daha büyük deprem yüklerinin etkimesini gerektirmektedir.

Ancak Eurocode 8'e göre eşdeğer deprem yükleri analize dahil edilirken 1.4 katsayısıyla çarpılmalıdır. Bu yüzden Eurocode 8 kriterleriyle ortaya çıkan yapısal deplasmanlar, Türk Deprem Yönetmeliği'nden daha büyüktür. Dolayısıyla Eurocode 8, daha güvenli tarafta kalmaktadır.

KAYNAKLAR

Eurocode 8, prEN 1998-1 : 2003, Design of Structures for Earthquake Resistance, Comité Européen Normalisation, Brussels.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, (2007), İnşaat Mühendisleri İstanbul Şubesi, İstanbul.

Eurocode 1, (1991), Basis of Design and Actions on Structures, Comité Européen Normalisation, Brussels.

Eurocode 3, (1993), Design of Steel Structures, Comité Européen Normalisation, Brussels.

TS 648, (1980), Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 498, (1987), Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Celep, Z. ve Kumbasar, N.,(2000), Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.

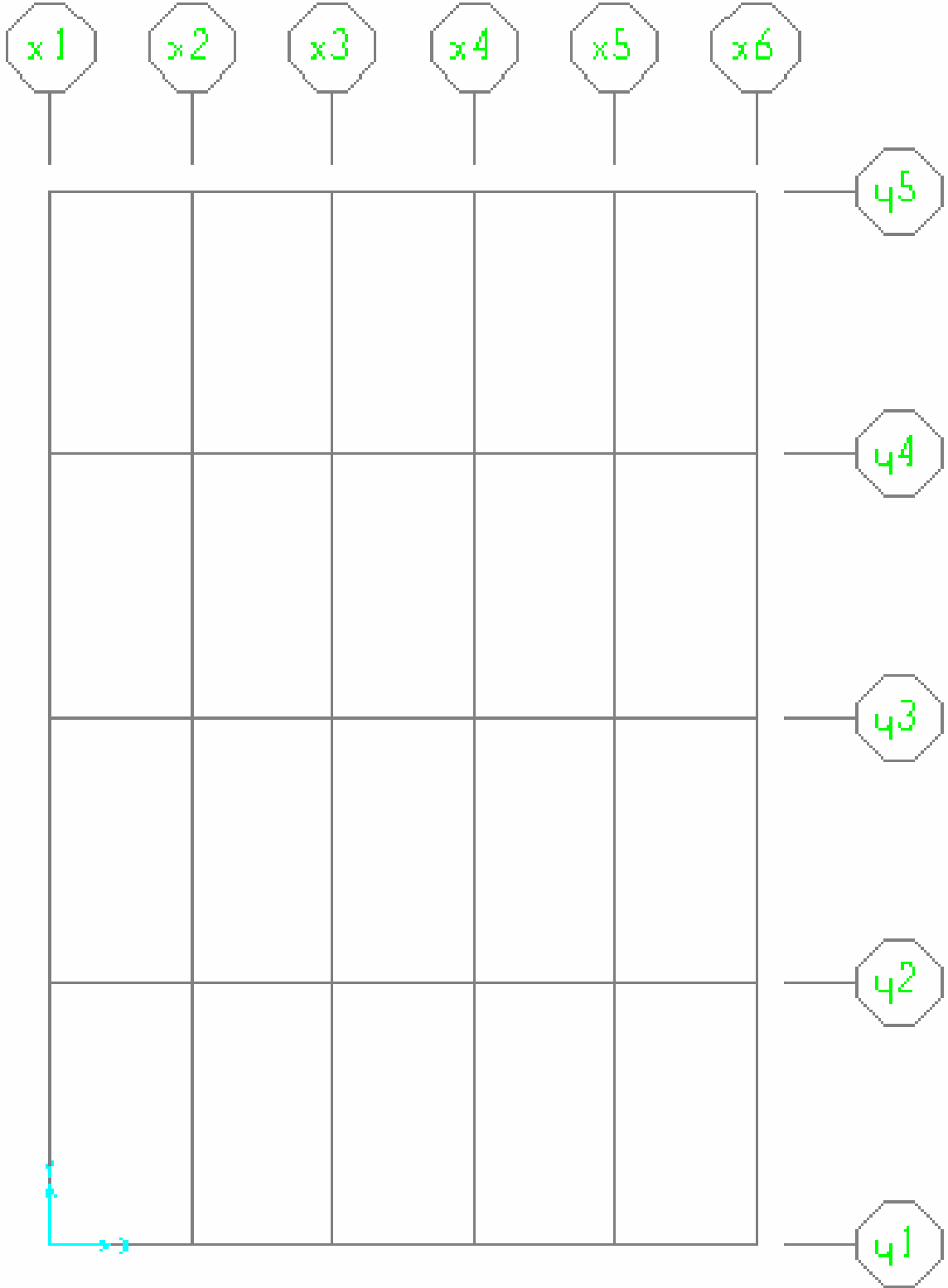
EKLER

Ek 1 Örnek yapının X – Y kesitinden çizimi

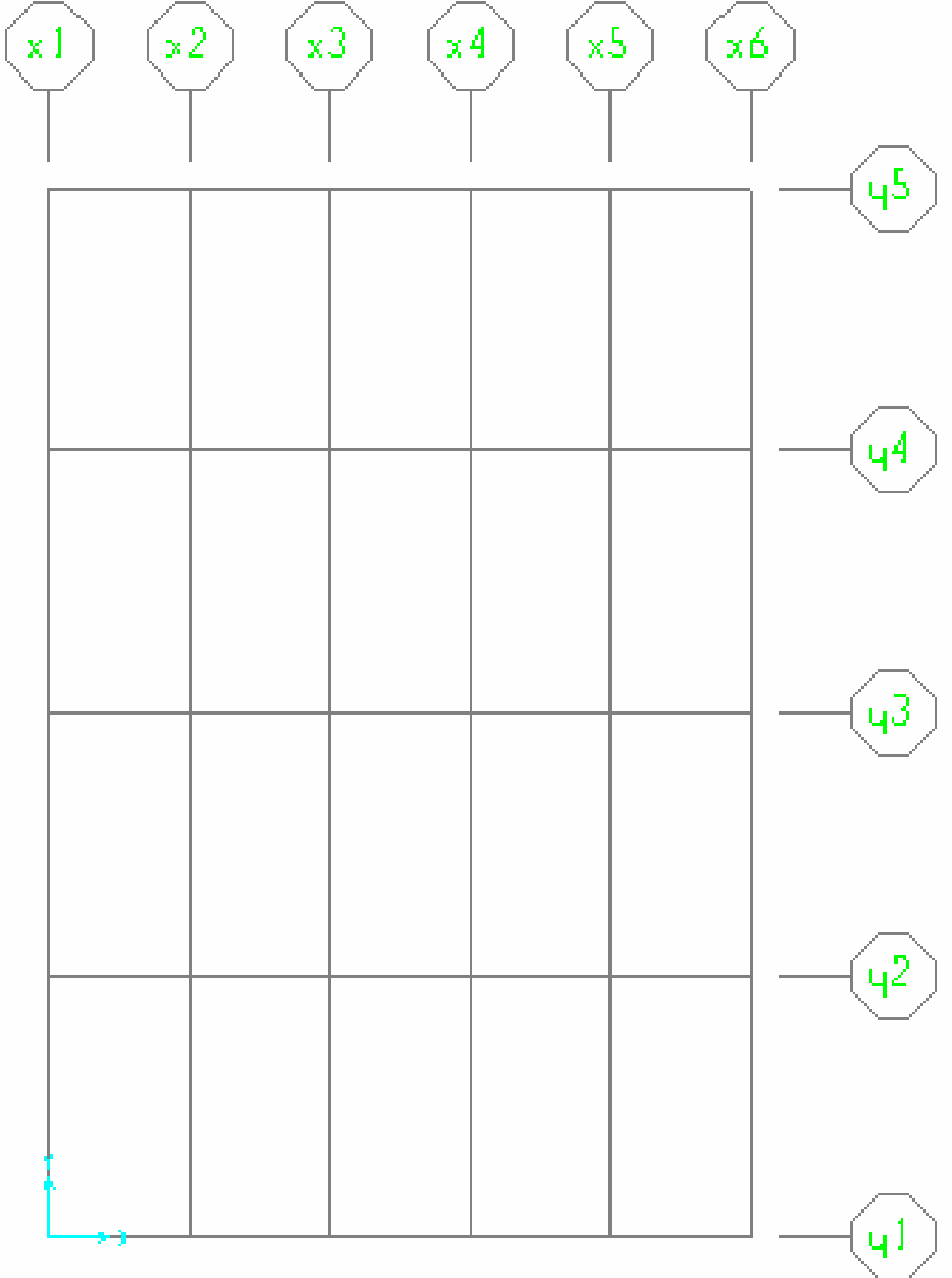
Ek 2 Örnek yapının X – Z kesitinden çizimi

Ek 3 Yükleme kombinasyon tabloları

ÖRNEK YAPININ X - Z KESİTİNDEN ÇİZİMİ



ÖRNEK YAPININ X - Y KESİTİNDEN ÇİZİMİ



Ek 3 Yükleme kombinasyonu tabloları

Yük İsmi	Yükleme Doğrultusu	Yükleme Cinsi
EXP	X Yönünde	Pozitif
EXN	Y Yönünde	Negatif
EYP	X Yönünde	Pozitif
EYN	Y Yönünde	Negatif

Yükleme İsmi	Yükleme Şekli (AB.Y.Y.H.Y. 2007)
XPDP1	$G + Q + EXP$
XPDN1	$G + Q + EXN$
XNDP1	$G + Q - EXP$
XNDN1	$G + Q - EXN$
YPDP1	$G + Q + EYP$
YPDN1	$G + Q + EYN$
YNDP1	$G + Q - EYP$
YNDN1	$G + Q - EYN$
XPDP2	$0.9 G + EXP$
XPDN2	$0.9 G + EXN$
XNDP2	$0.9 G - EXP$
XNDN2	$0.9 G - EXN$
YPDP2	$0.9 G + EYP$
YPDN2	$0.9 G + EYN$
YNDP2	$0.9 G - EYP$
YNDN2	$0.9 G - EYN$

Yükleme İsmi	Yükleme Şekli (Eurocode 8)
XPDP1	$G + 0.5 Q + 1.4 EXP$
XPDN1	$G + 0.5 Q + 1.4 EXN$
XNDP1	$G + 0.5 Q - 1.4 EXP$
XNDN1	$G + 0.5 Q - 1.4 EXN$
YPDP1	$G + 0.5 Q + 1.4 EYP$
YPDN1	$G + 0.5 Q + 1.4 EYN$
YNDP1	$G + 0.5 Q - 1.4 EYP$
YNDN1	$G + 0.5 Q - 1.4 EYN$
XPDP2	$G + 0.8 Q + 1.4 EXP$
XPDN2	$G + 0.8 Q + 1.4 EXN$
XNDP2	$G + 0.8 Q - 1.4 EXP$
XNDN2	$G + 0.8 Q - 1.4 EXN$
YPDP2	$G + 0.8 Q + 1.4 EYP$
YPDN2	$G + 0.8 Q + 1.4 EYN$
YNDP2	$G + 0.8 Q - 1.4 EYP$
YNDN2	$G + 0.8 Q - 1.4 EYN$

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	15.04.1979
Doğum Yeri	Aydın
Lise	1993-1997 Antalya Karatay Lisesi
Lisans	2000-2001 Süleyman Demirel Üniversitesi İşletme Fakültesi 2001-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2006-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı Kurumlar

2006-2008	İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yapı İşleri Müdürlüğü
2008-	Antalya Büyükşehir Belediyesi Yatırımlar Şube Müdürlüğü