İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA YÖNETMELİK - EUROCODE 8 VE TS648 - EUROCODE 3'ÜN GENEL İLKELER VE HESAP METOTLARI AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Serdar ÖZGÜL

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

ŞUBAT 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA YÖNETMELİK - EUROCODE 8 VE TS648 - EUROCODE 3'ÜN GENEL İLKELER VE HESAP METOTLARI AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Serdar ÖZGÜL
(501011129)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Şubat 2006

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI**
Diğer Jüri Üyeleri **Doç. Dr. Cavidan YORGUN**
Prof. Dr. Gülay ALTAY (B.Ü)

ŞUBAT 2006

ÖNSÖZ

Çalışmalarım süresince fikirlerinden ve tecrübelerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Nesrin Yardımcı'ya saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Eğitim hayatım boyunca bana maddi manevi her türlü desteği esirgemeyen aileme, ayrıca tezi bitirmemde emeği geçen arkadaşlarım G. Ören, F. Şengör, A. Ecer, N.Tüfekçi, M. Tataroğlu, U.H. Kevenoğlu ve ismini yazamadığım arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tezi babama ithaf ediyorum.

Aralık 2005 Serdar ÖZGÜL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ **i**
İÇİNDEKİLER **ii**
KISALTMALAR **vi**
TABLO LİSTESİ **vii**
ŞEKİL LİSTESİ **viii**
SEMBOL LİSTESİ **ix**
ÖZET **xii**
SUMMARY **xiii**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Çalışmanın Amacı 1

2. TEMEL İLKELER VE UYULACAK KRİTERLER **2**
2.1. Temel İlkeler 2
2.1.1. Eurocode 8'in Temel İlkeleri 2
2.1.2. A.B.Y.Y.H.Y'nin Temel İlkeleri 2
2.2. Uyulacak Kriterler 3
2.2.1 Eurocode 8'de Uyulacak Kriterler 3
2.2.2 A.B.Y.Y.H.Y'de Uyulacak Kriterler 3
2.3. Alınacak Temel Önlemler 4
2.3.1 Tasarımda Temel Önlemler 4
2.4. Zemin Koşulları 5
2.4.1 Eurocode 8'e Göre Zemin Koşulları 5
2.4.2 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Zemin Koşulları 6
2.4.3 Sıvılaşma Potansiyelinin İrdelenmesi 8
2.5. Sismik Hareket 8
2.5.1 Eurocode 8'e Göre Sismik Hareket 8
2.5.2 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Deprem Hareketi 13
2.5.3 Eurocode 8'e Göre Deprem Hareketinin Alternatif Tanımları 15
2.5.4 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Deprem Hareketinin Alternatif Tanımları 16
2.5.5 Eurocode 8'e Göre Deprem Hareketinin Diğer Yüklerle Komb. 16
2.5.6 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Deprem Hareketinin Diğer Yüklerle Komb. 18

3. YAPILAR İÇİN GENEL KURALLAR **19**
3.1. Eurocede 8'e Göre Kurallar 19
3.1.1. Depreme Dayanıklı Yapıların Karakteristikleri 19
3.1.2. Yapısal Düzgünlük 20

3.1.3. Planda Düzenlilik Kriterleri 20
3.1.4. Düşey Doğrultuda Düzenlilik Kriterleri 21
3.2. A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Düzensiz Binaların Tanımı 22
3.2.1. Planda Düzensizlik Durumları 22
3.2.2. Düşeyde Düzensizlik Durumları 23
3.2.3. Düzensiz Binalara İlişkin Koşullar 24
3.3 Yapısal Analiz 24
3.3.1 Eurocode 8'e Göre Modelleme ve Analiz Metotları 24
3.3.2 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Yapısal Analiz ve Analiz Yöntemleri 31
3.3.3 Yapısal Olmayan Elemanlar 39
3.4 Güvenlik Yeterlilikleri 42
3.4.1 Eurocode 8'e Göre Taşıma Sınır Durumu 42
3.4.2 Kullanılabilirlik Sınır Durumu 43
3.4.3 A.B.Y.Y.H.Y İkinci Mertebe Etkileri 44
3.4.4 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Deprem Derzleri 44

4. ÇELİK YAPILARLA İLGİLİ BELİRLİ KURALLAR 46
4.1 Eurocode 8 46
4.1.1 Tanımlar 46
4.1.2 Tasarım Kavramları 46
4.1.3 Malzemeler 47
4.1.4 Yapı Tipleri ve Davranış Faktörleri 47
4.2. A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Çelik Yapılar İçin Kurallar 51
4.2.1 Elastik Deprem Yüklerinin Azaltılması: Dep. Yükü Azaltma Katsayısı 51
4.2.2 Taşıyıcı Sistemlerin Süneklik Düzeyine İlişkin Genel Koşullar 51
4.2.3 Karma Taşıyıcı Sistemlere İlişkin Koşullar 52
4.2.4 Düğüm Noktası Mafsallı Sistemlere İlişkin Koşullar 52
4.3. Eurocode 8 İçin Yapısal Analiz 53
4.3.1 Tasarım Kriterleri Ve Enerji Yutucu Bölgeler İçin Ayrıntılı Kurallar 53
4.3.2 Eurocode 8'e Göre Bütün Yapı Tipleri İçin Ayrıntılı Kurallar 53
4.3.4 Moment Aktaran Çerçeveler İçin Ayrıntılı Kurallar 55
4.3.5 Merkezi Güçlendirilmiş Çerçeveler İçin Ayrıntılı Kurallar 57
4.3.6 Dış Merkez Güçlendirilmiş Çerçeveler İçin Ayrıntılı Kurallar 58
4.3.7 Konsol Veya Ters Pandül Yapılar İçin Ayrıntılı Kurallar 60
4.3.8 İkili Yapılar İçin Ayrıntılı Kurallar 60
4.3.9 Karma Yapılar İçin Ayrıntılı Kurallar 60
4.3.10 Dizayn ve Yapı Kontrolü 60
4.4 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Çelik Yapılar Hakkında Kurallar 61
4.4.1 Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Sınıflandırılması 61
4.4.2. Emniyet Gerilmeleri, Yük ve Malzeme Güvenlik Katsayıları 62
4.4.3 Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeveler 62

4.4.4 Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çaprazlı Perdeler 64
4.4.5 Süneklik Düzeyi Normal Çerçeveler 65
4.4.6 Süneklik Düzeyi Normal Çelik Çaprazlı Perdeler 65

5. EUROCODE 3'E GÖRE YAPILARIN BOYUTLANDIRILMASI 66
5.1 Genel 66
5.2 Kullanılabilirlik Limit Durumu 66
5.2.1 Sehim Limit Değerleri 67
5.3 Taşıma Sınır Durumu 68
5.3.1 Genel 68
5.3.2 Çerçeve Tasarımı 68
5.3.3 Yorulma Etkilerinin Kontrolü 69
5.3.4 İç Kuvvetler ve Momentlerin Hesabı 69
5.4 Enkesitlerin Sınıflandırılması 70
5.4.1 Enkesit Sınıfları 70
5.4.2 Elastik Global Analiz Kullanıldığında Enkesit Gereksinimleri 70
5.4.3 Sınıf 4 Enkesitler İçin Efektif Kesit Özellikleri 72
5.4.4 Enine Kuvvetlerin Gövde Üzerinde Etkisi 73
5.5 Kesitlerin Dayanımı 73
5.5.1 Genel 73
5.5.2 Kesit Özellikleri 73
5.5.3 Çekme Durumu 77
5.5.4 Basınç Durumu 77
5.5.5 Eğilme Momenti Durumu 78
5.5.6 Kesme Durumu 79
5.5.7 Kesmeli Eğilme Durumu 80
5.5.8 Normal Kuvvet Eğilme Durumu 80
5.5.9 Moment, Kesme ve Eksenel Kuvvet Durumu 83
5.5.10 gövdedeki Enine Kuvvetler 84
5.6 Elemanın Burkulma Dayanımı 85
5.6.1 Basınç Elemanı 85
5.6.2 Kirişlerin Yanal Burulmalı Burkulması 88
5.6.3 Eğilme ve Eksenel Çekme 88
5.6.4 Eğilme Eksenel Basınç 89
5.7 Kesme Burkulması Dayanımı 91
5.7.1 Tasarım 91
5.7.2 Basit Post-Kritik Metot 91
5.7.3 Çekme Alanı Metodu 93
5.7.4 Kesme Kuv. Eğ. Momenti ve Eksenel Kuv. Birbirleri ile Etkileşimi 96

6. TS 648 ÇELİK YAPILANIN BOYUTLANDIRILMASI **99**
6.1 Malzeme Özellikleri 99
6.2 Yük Kabulleri ve Yükleme Halleri 99
6.2.1 Yükleme Hali 100
6.2.2 Faydalı Enkesit Alanı 100
6.3 Tahkikler 101
6.3.1 Yapılması Gereken Tahkikler 101
6.4 Çekmeye Çalışan Çubuklar İçin Boyutlandırma Kuralları 102
6.4.1 Emniyet Gerilmesi 102
6.5 Basınca Çalışan Çubuklar İçin Boyutlandırma Kuralları 102
6.6 Eksenel Basınç ve Eğilmeye Çalışan Çubuklar 104
6.7 Stabilite Tahkikleri 107
6.7.1 Yanal Burkulma 107
6.7.2 Yanal Burkulma Emniyet Gerilmesi 107
6.8 Gövdeli Kirişlerde Başlıklar 108
6.8.1 Berkitmesiz Başlıklar 108
6.8.2 Berkitmeli Başlıklar 109
6.8.3 Yatay ve Düşey Berkitmeler 109

7. ÖRNEK YAPININ KARŞILAŞTIRMALI DEPREM ANALİZİ **111**
7.1 Yapının Tanımlanması 111

8. SONUÇ **113**
8.1 Eurocode 8 ile A.B.Y.Y.H.Y'nin Karşılaştırılması 113
8.2 Eurocode 3 ile TS 648'in Karşılaştırması 114

KAYNAKLAR **116**

EKLER **117**

ÖZGEÇMİŞ **158**

KISALTMALAR

A.B.Y.Y.H.Y : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar hakkında Yönetmelik
TS : Türk Standartı

TABLO LİSTESİ

No		Sayfa
Tablo 2.1.	Zemin Grupları ……....	6
Tablo 2.2.	Yerel Zemin Sınıfları……..……..	7
Tablo 2.3.	Zemin Parametreleri……..	10
Tablo 2.4.	k_{d1}, k_{d2} Değer Tablosu ……..	12
Tablo 2.5.	Bina Önem Faktörü…….….....	12
Tablo 2.6.	Etkin Yer İvme Katsayısı…….….	12
Tablo 2.7.	Bina Önem Katsayısı……...……..	13
Tablo 2.8.	Yerel Zemin Sınıflarına Göre Spektrum Karakteristik Peryotları.	14
Tablo 2.9.	T_s, $g_{I,}$ a İlgileşim Tablosu ..……	15
Tablo 2.10.	Hareketli Yük Tiplerine Göre φ Değerleri ……..	17
Tablo 2.11.	Hareketli Yük Katılım Oranı.……	18
Tablo 3.1.	Yapısal Düzgünlük...…….…	20
Tablo 3.2.	Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulanacağı Binalar……..	31
Tablo 3.3.	Yapısal Olmayan Elemanların Davranış Faktörleri…….....	41
Tablo 3.4.	Azaltma Faktörü Değerleri…...…….……	43
Tablo 4.1.	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı...……	51
Tablo 4.2.	Seçilen Davranış Faktörüne Göre En Kesit Sınıfı.……	54
Tablo 5.1.	Yapı Çelikleri İçin Nominal Akma ve Kopma Değerleri..……	66
Tablo 5.2.	Sehim Limit Değerleri…..……..…	67
Tablo 5.3.	Kusur Faktörü Değerleri…...…….	86
Tablo 5.4.	Azaltma Faktörleri……..……...	87
Tablo 6.1.	Yapı Çelikleri İçin Nominal Akma ve Kopma Değerleri..……	99
Tablo 6.2.	Boyutlandırmaya Esas Olan En Kesitler...……	100
Tablo 8.1.	……...……	115
Tablo E3.1.	……...	121
Tablo E3.2.	……...	122
Tablo E3.3.	……...	123
Tablo E3.4.	……...	124
Tablo E3.5.	……...	126
Tablo E3.6.	……...	126

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Elastik Tepki Spektrumu 9
Şekil 2.2 : Deprem Spektrumu 14
Şekil 3.1 : Düşeyde Yapısal Düzenlilik Şartları..... 21
Şekil 3.2 : Deprem Yükünün Dışmerkezliği 29
Şekil 3.3 : Kat Kütlelerine Etkiyen Deprem Kuvvetleri..... 34
Şekil 3.4 : Kaydırılmış Kütle Merkezlerine Etkiyen Deprem Kuvveti 34
Şekil 3.5 : A2 Türü Düzensizlikte Kaydırılmış Kütle Merkezi 35
Şekil 3.6 : Asal Eksenleri Doğrultusunda Paralel Olmayan Sistemler..... 36
Şekil 4.1 : Davranış Faktörünün Yapı Tiplerine Göre Değeri 49
Şekil 4.2 : Davranış Faktörünün Yapı Tiplerine Göre Değeri 50
Şekil 4.3 : Gövde Paneli 56
Şekil 4.4 : Çekme Çaprazları 58
Şekil 4.5 : Kolonların Kirişlerden Güçlü Olması 63
Şekil 5.1 : Sehim Büyüklükleri 67
Şekil 5.2 : Maksimum Genişlik Kalınlık Oranı 71
Şekil 5.3 : Yırtılma Çizgisi..... 74
Şekil 5.4 : Basınca Çalışan İç Elemanlar 75
Şekil 5.5 : Basınca Çalışan Dış Elemanlar..... 76
Şekil 5.6 : β Değerleri 92
Şekil 5.7 : Gövde Paneli 95
Şekil 5.8 : Gövde Bitiş Paneli 96
Şekil 5.9 : Etkileşim Grafiği 97
Şekil 5.10 : Etkileşim Grafiği 98
Şekil 6.1 : M_1/M_2 Oranı 105
Şekil 6.2 : ψ Sayıları 106
Şekil 7.1 : Bina Planı 112
Şekil E3.1 : Yük Aktarımı 120

SEMBOL LİSTESİ

a_g	: Kullanılan deprem periyodu için tasarım zemin ivmesi
$S_e(T)$	: Elastik tepki spektrumunun ordinatı
T	: Tek serbestlik dereceli lineer sistemin titreşim periyodu
B_0	: % 5 sönüm için spektral ivme artım faktörü
T_B,T_C	: Elastik tepki spektrumu platosu sınırları
T_D	: Spektrumda lineer değişimin başladığı değer
k_1,k_2	: Titreşim periyodunun T_1, T_2 'den büyük olması durumunda spektrum şeklinin etkisi
S	: Zemin parametresi
h	: Sönüm düzeltme faktörü (% 5 sönüm için h = 1 olarak kabul edilir.)
$S_d(T)$	: g ile normalize edilmiş tasarım spektrumun ordinatı
a	: Tasarım zemin ivmesi a_g ile yerçekimi ivmesi g arasındaki oran
q	: Davranış faktörü
G_{kj}	: J sabit yükünün karakteristik değeri
g_I	: Önem faktörü
A_{Ed}	: Belirli bir deprem hareketinin dönüş periyodu için tasarım değeri
P_k	: Bütün kayıplar olduktan sonra öngerilme yükünün karakteristik değeri
Y_{2i}	: Hareketli yüklerin sabit yüklere benzer kombinezon katsayıları
Q_{ki}	: Hareketli yüklerin karakteristik değerleri
Y_{Ei}	: Hareketli yüklerin kombinezon katsayısı.
E_E	: Sismik yer hareketi etkisi
E_{Edx}, E_{Edy}	: Deprem hareketinin yatay birleşenlerinden kaynaklanan hareket etkilerinin tasarım değerleri.
E_{Edz}	: Deprem hareketinin düşey birleşeninden kaynaklanan hareket etkisinin tasarım değeri
F	: Yatay deprem kuvveti
F_a	: Yapısal olmayan elemanlara etkiyen yatay deprem kuvveti
H	: Yapı yüksekliği
R_d	: Tasarım direnci
T_1	: Yapının esas titreşim periyodu
T_a	: Yapısal olmayan elemanların temel titreşim periyodu
W	: Ağırlık
W_a	: Yapısal olmayan elemanların ağırlığı
d	: Yer değiştirme
d_r	: Kat arası tasarım ötelemesi
e_1	: Kat kütlesinin nominal dışmerkezliliği
h	: Kat yüksekliği
m	: Kütle

q_a : Yapısal olmayan elemanların davranış faktörü
q_d : Yer değiştirme davranış faktörü
s : Yapının esas mod şeklindeki m kütlesinin yer değiştirmesi
z : Yapı kütlelerinin yüksekliği
g_a : Yapısal olmayan elemanların önem faktörü
q : Kat arası öteleme hassasiyet katsayısı
R_d : Birleşimlerin dayanımı
R_{fy} : Birleşim bölümünün plastik dayanımı
$E_{F,E}$: Önem faktörüyle çarpılmış deprem yüküne bağlı olan yük etkisi
α : Söz konusu E_F etkisi altında yapının en büyük etki alan enerji yutucu bölge yada i elemanının (R_{di}/ S_{di}) oranı
R_d : Enerji yutucu bölge yada i elemanının dizayn dayanımı
S_{di} : Deprem yüküne göre hesapta, bölge yada i elemanına gelen yük etkisinin dizayn değeri
N_{Sd} , M_{Sd} : Yapısal analizden elde edilen dizayn hareket etkileri,
$V_{pl,Rd}$: Dizayn dayanımları,
$V_{G,Sd}$: Sismik olmayan hareketlerden dolayı oluşan kesme kuvveti,
$V_{M,Sd}$: Kirişin A ve B uçlarındaki $M_{Rd,A}$ ve $M_{Rd,B}$ momentlerinin ters işaretli olarak uygulanmasından dolayı oluşan kesme kuvveti.
$V_{wp,Sd}$: Gövde panelinde hareket etkilerinden dolayı oluşan tasarım kesme kuvveti
$V_{wp,Rd}$: Eurocode 3'göre hesap edilen gövde paneli kesme dayanımı
$N_{Sd,G}$: Sismik dizayn yük kombinasyonunda sismik olmayan hareketlerden dolayı kolonlarda veya çaprazlarda oluşan basınç kuvveti,
$N_{Sd,E}$: Önem faktörü çarpanıyla çarpılmış dizayn deprem yüküne bağlı olarak kolonda veya çaprazda oluşan basınç kuvveti
$V_{pl,Rdi}$: i kirişinin plastik bölgesinin dizayn kesme kuvveti,
V_{sdi} : Sismik yük durumunda i kirişinin plastik bölgesinin tasarım kesme kuvveti
$M_{pl,Rdi}$: i kirişinin plastik bölgesinin dizayn eğilme momenti,
M_{Sdi} : Sismik yük durumunda i kirişinin plastik bölgesinin tasarım eğilme momenti.
E : Deprem yükü simgesi
G : Sabit yük simgesi
M_{pa} : Kolonun alt ucunda hesaplanan plastikleşme momenti
M_{pi} : Kirişin sol ucu i'de hesaplanan pozitif veya negatif plastikleşme momenti
M_{pj} : Kirişin sağ ucu j'de hesaplanan negatif veya pozitif plastikleşme momenti
$M_{pü}$: Kolonun üst ucunda hesaplanan plastikleşme momenti
Q : Hareketli yük simgesi
s_{cr} : Düzlem burkulma yükü
$N_{t.Rd}$: Kesitin tasarım çekme dayanımı
$N_{c.Rd}$: Kesitin tasarım çekme dayanımıdır
$s_{x.Ed}$: Moment ve eksenel kuvvetin bir noktaya etkimesi durumunda boyuna gerilmelerin tasarım değeri
$s_{z.Ed}$: Enine kuvvetin aynı noktaya etkimesi durumunda gerilmenin tasarım değeri

W_{com} : En dış basınç lifi için elastik bölge modülüdür.

N_{tsd} : Eksenel çekme tasarım değeri

k_T : Kesme için burkulma faktörü

$V_{bb.Rd}$: Kesme burkulma dayanımı

f : Çekme Alanı Eğim

T_{bb} : Başlangıç kesme burkulma kuvveti

$M_{Nf.Rk}$: Başlığın azaltılmış plastik moment dayanımı

s_{bem} : Sadece basınç kuvveti etkimesi halinde burkulma emniyet gerilmesi

AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA YÖNETMELİK - EUROCODE 8 VE TS648-EUROCODE 3'ÜN GENEL İLKELER VE HESAP METOTLARI AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Bir deprem ülkesi olan Türkiye'de deprem hareketinin doğru bir şekilde modellenmesi son derece önemlidir. Yapıların deprem hesabı için Bayındırlık ve İskan Bakanlığının hazırlamış olduğu Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik kullanılmaktadır. Bu tezde önce mevcut deprem yönetmeliği ile CEN'in hazırlamış olduğu Eurocode 8 teorik olarak karşılaştırılıp, daha sonra 4 katlı çelik bir yapının her iki deprem yönetmeliğine göre sayısal çözümü yapılarak elde edilen sonuçlara göre TS 648 ve Eurocode 3 uyarınca boyutlandırılıp sayısal karşılaştırılması yapılmıştır.

Teorik bakımdan karşılaştırma yapılırken her iki deprem yönetmeliği öncelikle zemin koşulları, deprem hareketinin tanımı, uyulacak kriterler gibi temel kavramlar bakımından karşılaştırılmıştır. Daha sonra yapıların depreme karşı dayanıklı tasarlanabilmesi için yapılarda uyulması gereken tasarım koşulları belirtilip, yapının analizi için kullanılabilecek çeşitli hesap metotlarına değinilmiştir. Son olarak deprem yönetmelikleri, çelik yapılar için uyulması gereken temel tasarım kuralları bakımından karşılaştırılmıştır.

Taşıma sınır durumu, kullanılabilirlik sınır durumu, kesit sınıfları, kesitin basınç dayanımı, eğilme dayanımı, burkulma dayanımı gibi yapının boyutlandırılmasına ilişkin temel kurallar Bölüm 5 ve Bölüm 6'da ayrı ayrı açıklanarak anlatılmıştır.

Yapının sayısal çözümünde Sap 2000 programı kullanılmıştır. Bina uygun bir şekilde Sap 2000 programında modellenmiş, her iki deprem yönetmeliğine uygun şekilde yapının dinamik analizi yapılarak kesit zorları elde edilmiştir. Elde edilen kesit zorlarına göre yapı TS 648 ve Eurocode 3'e göre boyutlandırılmıştır.

Sonuç bölümünde yönetmeliklerin arasındaki farklar ve benzerlikler belirtilerek, sayısal hesaplardan elde edilen bilgiler irdelenmiştir.

COMPARISON BETWEEN TURKISH CODE OF DISASTER AREA BUILDING REGULATIONS AND EUROCODE 8, AND BETWEEN TS648 AND EUROCODE 3, İN THE ASPECTS OF GENERAL PRINCIPLES AND CALCULATION METHODS

SUMMARY

It's really important to model seismic action properly in Turkey, which is in earthquake region. To make the earthquake calculations of buildings, "Regulations About The Buildings in Disaster Areas" which is prepared by "The Ministry of Public Works and Settlement" is used. In this thesis; first, current earthquake codes are compared theorically to Eurocode 8 which is prepared by CEN, then a four floor steel building analyzed numerically in respect of both earthquake codes, leading to a numerical comparison between the two dimensioning made using TS 648 and Eurocode 3.

During the theorical comparison, first the both regulations are compared about ground conditions, the definition of the seismic action and compliance criteria. Then, the designing conditions to make the buildings resistant to earthquakes are explained, mentioning various calculation methods to be used in the analysis of the building. Eventually, earthquake codes are compared according to the main design rules for the steel buildings.

The main rules related to the dimensioning of the building, like ultimate limit state, serviceability limit state, section classes, and section resistance to pressure, bending and buckling, are explained separately in Parts 5 and 6.

SAP 2000 is used in the numerical analysis of the building. It is modeled properly in SAP 2000 and section forces are obtained with the dynamic analysis of the building in respect of both earthquake codes. According to these section forces, the building is dimensioned using TS 648 and Eurocode 3.

In the resulting part, the differences and similarities between different codes are mentioned and the information coming from the calculations is discussed.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Deprem binlerce yıldır medeniyetlerin ortak kabusu olmuştur. Yüzlerce medeniyet fay hatlarındaki sarsıntılar karşısında ayakta duramamış tarih sahnesindeki yerini başka medeniyetlere bırakmıştır. Şu an üzerinde yaşamakta olduğumuz Anadolu da tarih boyunca birçok büyük depreme şahit olmuştur. Gerek kuzey Anadolu fay hattı gerekse Doğu Anadolu fay hattındaki hareketler dolayısı ile son yüzyılda binlerce vatandaşımız hayatını kaybetmişlerdir. İnsanımızın dünü unutma hastalığı nedeniyle geçmişten kendimize dersler çıkaramamışız. Yaşanan son depremler, Erzincan, Adana ve özellikle İzmit/Gölcük ve Düzce depremleri sonrasında insanımız birazda medyanın gücüyle artık durumun vahametini algılayıp depreme dayanıklı yapı yapılmasının mecburiyetini anlayabilmiştir.

Avrupa ve Amerika'da 19.yy ortalarından itibaren iyice yaygınlaşmaya başlayan yapısal çelik kullanımı ne yazık ki ülkemizde yeterli kullanım payına ulaşamamıştır. Depremde sünek davranış gösterdiği ve enerji yutma kapasite çok yüksek olduğu için çelik yapı kullanımında belirli bir artış olmuştur. Çelik yapı çözümleri, betonarme sisteme göre daha hassas ve hata kabul etmeyen bir yapısı olduğundan çelik yapı yönetmeliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Çelik yapı tasarlarken hem deprem yönetmeliğine uygun hem de çelik yapılar için yönetmeliğe uyulması gerekmektedir. Bu zorunluluktan dolayı TS648 ve ABYYHY'in uyumlu bir şekilde kullanılması gerekmektedir.Avrupa yaklaşık 1,5 asırdır yapısal çelik kullanıldığından onların gelişmiş bir çelik yapı yönetmeliği bulunmaktadır. Européen de Normalisation (CEN)in hazırlamış olduğu Eurocode 3 ve 8 bugün AB üye ülkeler arasında kullanılmaktadır.Bu çalışmadaki amacım TS648-Eurocode 3; ABYYHY-Eurocode 8'i 4 katlı çelik bir yapıda uygulayarak farklılıklarını ve benzerliklerini ortaya koymaktır.

2. TEMEL İLKELER VE UYULACAK KRİTERLER

2.1 Temel İlkeler

2.1.1 Eurocode 8'in Temel İlkeleri

Deprem bölgesindeki binalar aşağıdaki ilkelere uyacak şekilde uygun güvenilirlikte tasarlanmalı ve yapılmalıdır.

- Göçmeye Karşı Dayanım İlkesi: Bina genel veya yerel göçmeye dayanabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu şekilde depremde sonra yapının bütünlüğü ve artık yük taşıma kapasitesi devam etmektedir.

- Hasar Sınırlandırılması İlkesi: Yapı tasarım deprem yükünden daha fazla olması olası bir deprem yüküne dayanacak şekilde tasarlanır ve yapılır

Göçmeye karşı dayanım ilkesi ve hasar sınırlandırılması ilkesindeki güvenlik hedefleri yapı çeşitlerine göre belirlenir. Yapıları önem kategorilerine ayırarak değişik güvenlik dereceleri elde edilir. Her önem derecesine karşı gelecek γ_I önem faktörü kullanılır. Değişik güvenlik dereceleri kullanılan deprem hareketi düzenlenerek elde edilir. [1]

2.1.2 A.B.Y.Y.H.Y'nin Temel İlkeleri

Yönetmeliğin amacı, deprem yer hareketine maruz kalacak bina ve bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı için gerekli minimum koşulları tanımlamaktır. Depreme dayanıklı bina tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir. Yönetmelikte esas alınan tasarım depremi, orta şiddetteki depreme karşı gelmektedir. Bina önem katsayısı I = 1 olan binalar için, tasarım depreminin 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10'dur. [2]

2.2 Uyulacak Kriterler

2.2.1 Eurocode 8'de Uyulacak Kriterler

Taşıma Sınır Durumu: Yapının göçmesiyle veya insanların güvenliğini tehlikeye atacak değişik tiplerdeki yapısal hasarlarla ilgili durumdur. Yapısal sistem belirtilen dayanım ve süneklik koşullarına sahip olmalıdır. Yapının dayanımı ve sünekliği, lineer olmayan davranışın kullanımına bağlı olarak değişir. Yapının Dayanımı ve sünekliği arasındaki ilişki "q" davranış faktörü olarak karakterize edilmiştir. Enerji yutucu olmayan yapılarda, histerik çevrimler sonucu enerji yutumunun olmadığı yapılarda davranış faktörü q = 1 olarak alınır. Enerji yutucu yapılarda davranış faktörü q > 1 olarak alınır. Yapının tümünün deprem hareketine göre kayma ve devrilme güvenliği sağlanmalıdır ve temel elemanlarının ve zeminin, deprem etkisinin üstyapı elemanlarına etkisi sonucu oluşabilecek etkilere karşı dayanımı yeterli olmalıdır.

İkinci mertebe etkileri göz önüne alınmalıdır. Deprem hareketi altında yapısal olmayan elemanların yapıya ve insanlara zarar verme riski olmamalıdır.

Kullanılabilirlik Sınır Durumu: Yapının belirtilen kullanım gereksinimlerini karşılayamadığını ifade eden sınır durumudur. Kabul edilmeyecek zararlara karşı deformasyon limitlerini sağlayarak uygun güvenlik derecesi elde edilmelidir. Ayrıca toplum için öneme sahip olan yapıların deprem etkisi altında fonksiyonlarını ve hayati işlemlerini sürdürebilmeleri için yeterli rijitliğe ve dayanıma sahip olmalıdır. [1]

2.2.2 A.B.Y.Y.H.Y'de Uyulacak Kriterler

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 uyulmalıdır.[2]

2.3 Alınacak Temel Önlemler

2.3.1 Tasarımda Temel Önlemler

Eurocode 8'e Göre Tasarımda Temel Önlemler:

Tasarımda alınacak önlemler aşağıdaki sıralanmıştır.

- Yapı planda ve boy kesitte basit ve düzenli olarak tasarlanmalıdır. Eğer mecbur kalınırsa yapı dinamik olarak bağımsız ünitelere bölünebilir.
- Tüm yapının sünek davranması için gevrek kırılmanın ve stabil olmayan mekanizma oluşumunun önlenmesi gereklidir. Enerji yutucu olmayan yapısal elemanların istenilen sıralı dayanımlarını sağlamak ve gevrek kırılmayı önlemek için kapasite tasarım yöntemine 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 birleşimlerin 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.
- Üstyapı etkilerini düzgün dağılı şekilde zemine aktarabilecek rijitlikte olmalıdır.
- Yapıda genel olarak tek tip temel kullanılmalıdır. Eğer dinamik olarak bağımsız birimler varsa burada farklı temel tipi kullanılabilir.[1]

A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Tasarımda Temel Önlemler:

Düzensiz binaların tasarımından ve yapımından kaçınılmalıdır. Taşıyıcı sistem planda simetrik veya simetriğe yakın düzenlenmeli ayrıca burulma düzensizliğine olabildiğince yer verilmemelidir. Bu bağlamda, perde vb rijit taşıyıcı sistem elemanlarının binanın burulma rijitliğini arttıracak biçimde yerleştirilmesine özen gösterilmelidir. 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. Yönetmeliğin ilgili bölümünde tanımlanan (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]

2.4 Zemin Koşulları

2.4.1 Eurocode 8'e Göre Zemin Koşulları

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 ($\gamma_I = 1,0$) zemin araştırması ihmal edilebilir. Buna göre ve bazı kesin sonuçlara göre deprem hesabında zemin B sınıfı olarak kabul edilebilir.

Zemin Sınıfları:

Yerel zemin koşullarının deprem hareketi üzerine etkisi göz önüne alınarak 3 çeşit zemin sınıfı tanımlanmıştır.

- A Sınıfı Zemin: Kesme dalga hızı 800 m/sn olan kaya veya diğer jeolojik oluşumlardır. Yüzeyinden itibaren en fazla 5 m zayıf zemin tabakası olabilir.

  Çok kalın rijit birikinti, kum, çakıl veya konsolide olmuş kil tabakaları ihtiva eden zemin türüdür. Mekanik özellikleri derinlik arttıkça artar ve kesme dalga hızı en az 400 m/sn. dir.

- B Sınıfı Zemin: Kalınlığı onlarca metreden yüzlerce metreye kadar değişebilen orta sıklıkta kum, çakıl veya orta rijitlikte kilden oluşan zemin sınıfıdır. 10 m.'de kesme hızı en az 200 m/sn. 50 m.'de de en az 350 m/sn. dir.

- C Sınıfı Zemin: Yumuşak kohezyonlu tabakalar içerebilen veya içermeyen gevşek kohezyonsuz kum birikintili zemin sınıfıdır. Kesme hızı 70 m.ye kadar 200 m/sn.nin altındadır.

  Yumuşaktan orta rijitlikteki kohezyonlu kum birikintilerinin hakim olduğu zemin sınıfıdır. [1]

2.4.2 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Zemin Koşulları

Yerel zemin koşullarının belirlenmesi için esas alınacak zemin grupları Tablo 2.1'de, yerel zemin sınıfları ise Tablo 2.2'de verilmiştir. Tablo 2.1'deki zemin parametrelerine ilişkin değerler, zemin gruplarının belirlenmesinde yol göstermek üzere verilen standart değerlerdir.

Tablo 2.1 Zemin Grupları

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Standart Penetrasyon (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (Kpa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
A	**1.** Masif volkanik kayaçlar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayaçlar, sert çimentolu tortul kayaçlar	---	---	> 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 kayaçlar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayaçlar	---	---	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.** Yumusak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayaçlar ve çimentolu tortul kayaçlar	---	---	< 500	500-700
	2. Orta sıkı kum, çakıl	10--30	35-65	---	200-400
	3. Katı kil ve siltli kil	8--16	---	100-200	200-300
D	**1.** Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları	---	---	---	< 200
	2. Çok sıkı kum, çakıl	< 10	< 35	---	< 200
	3. Sert kil ve siltli kil	< 8	---	< 100	< 200

Tablo 2.2 Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 2.1'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h)
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

Aşağıda belirtilen binalarda, gerekli saha ve laboratuvar deneylerine dayanan zemin araştırmalarının yapılması, ilgili raporların düzenlenmesi ve proje dokümanlarına eklenmesi zorunludur. Raporlarda Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'ye göre tanımlanan zemin grupları ve yerel zemin sınıfları açık olarak belirtilecektir.

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

Yukarıda açıklananların kapsamı dışında kalan diğer binalar için ise, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, zemin gruplarının ve yerel zemin sınıflarının Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 deki tanımlara göre belirlenmesini sağlayacak yerel bilgilerin ya da gözlem sonuçlarının deprem hesap raporlarında belirtilmesi veya bu konuda yayınlanmış kaynaklara referans verilmesi zorunludur. Ayrıca birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, Tablo 2.1'de (C) ve (D) gruplarına giren zeminlerde, deprem yükleri altında kazıkların yatay yataklanma parametreleri ile yatay ve eksenel yük taşıma güçlerinin belirlenmesi, saha ve laboratuar deneylerini içeren zemin araştırmalarına göre yapılacaktır.

2.4.3 Sıvılaşma Potansiyelinin İrdelenmesi

Bütün deprem bölgelerinde, yeraltı su seviyesinin zemin yüzeyinden itibaren 10 metre içinde olduğu durumlarda, Tablo 2.1'de (D) grubuna giren zeminlerde sıvılaşma potansiyeli'nin bulunup bulunmadığının, saha ve laboratuar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi ve sonuçların belgelenmesi zorunludur. [2]

2.5 Sismik Hareket

2.5.1 Eurocode 8'e Göre Deprem Hareketi

Bölgesel hasarlara göre ulusal komiteler tarafından bölgeler çeşitli deprem bölgelerine bölünür. Her deprem bölgesindeki hasar sabit olarak kabul edilir.

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

Tasarım yer ivmesi ulusal komiteler tarafından her deprem bölgesi için 475 yıllık dönüş periyodu olan bir deprem seçilerek bulunur. Bu hesapta yapı önem katsayısı γ_I = 1,0 olarak seçilir.

Tasarım yer ivmesi a_g'nin 0,1 g'den küçük olduğu bölgeler düşük sismisiteli deprem bölgeleridir. Bu bölgelerde bazı yapı tipleri ve kategorileri için basitleştirilmiş veya azaltılmış tasarım yöntemleri kullanılabilir. Tasarım yer ivmesinin 0,04 g'den düşük olduğu bölgelerde Eurocode şartlarına uymak gerekli değildir.[1]

Deprem Hareketinin Temel Tanımı:

Verilen bir noktadaki deprem hareketi genellikle elastik zemin ivme tepki spektrumu ile temsil edilir. Buna elastik tepki spektrumu denir. Yatay deprem hareketi aynı tepki spektrumu içinde gösterilebilen birbirinden bağımsız ve ortogonal iki bileşene sahiptir. Eğer özel çalışmalar yapılarak deprem hareketinin düşey bileşeni gösterilmemişse, düşey bileşen ordinatlarda aşağıdaki azaltmalar yapılarak tepki spektrumunda yatay deprem hareketi olarak gösterilebilir.

- T, titreşim periyodu 0,15 sn.den küçükse ordinat 0,70 ile çarpılır.
- T, titreşim periyodu 0,50 sn.den büyükse ordinat 0,50 ile çarpılır.
- T, titreşim periyodu 0,50 sn. ile 0,15 sn arasındaysa ordinat lineer interpolasyonla bulunur.

Bazı özel durumlarda arazideki deprem hasarını uygun bir biçimde tanımlayacak 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 yapısından dolayı oluşabilecek etkilerde göz önüne alınmalıdır. Deprem hareketinin gösterimi için güç spektrumu veya zaman-tarih yöntemi de kullanılabilir.[1]

Elastik Tepki Spektrumu:

Şekil 2.1'de gösterilen elastik tepki spektrumu kullanılan deprem periyodu için aşağıdaki ifadeler yardımıyla tanımlanır.

$$0 \le T \le T_B \quad : S_e(T) = a_g.S\left[1 + \frac{T}{T_B}(h.B_o - 1)\right] \qquad \textbf{(2.1)}$$

$$T_B \le T \le T_C \quad : S_e(T) = a_g.S.h.B_o \qquad \textbf{(2.2)}$$

$$T_C \le T \le T_D \quad : S_e(T) = a_g.S.h.B_o\left[\frac{T_C}{T}\right]^{k1} \qquad \textbf{(2.3)}$$

$$T_D \le T \quad : S_e(T) = a_g.S.h.B_o\left[\frac{T_C}{T_D}\right]^{k1}.\left[\frac{T_D}{T}\right]^{k2} \qquad \textbf{(2.4)}$$

$S_e(T)$: Elastik tepki spektrumunun ordinatı

T : Tek serbestlik dereceli lineer sistemin titreşim periyodu

a_g : Kullanılan deprem periyodu için tasarım zemin ivmesi

B_0 : % 5 sönüm için spektral ivme artım faktörü

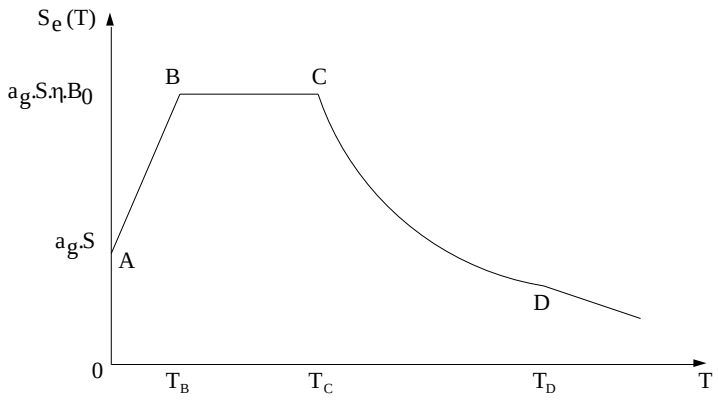
T_B,T_C : Elastik tepki spektrumu platosu sınırları

T_D : Spektrumda lineer değişimin başladığı değer

k_1,k_2 : Titreşim periyodunun T_1, T_2 'den büyük olması durumunda spektrum şeklinin etkisi

S : Zemin parametresi

h : Sönüm düzeltme faktörü (% 5 sönüm için $h = 1$ olarak kabul edilir.)



Şekil 2.1 Elastik Tepki Spektrumu

Tablo 2.3'te 3 zemin sınıfı A,B,C için B_0, T_B, T_C, T_D, k_1, k_2, S parametreleri verilmiştir.

Tablo 2.3 Zemin Parametreleri

Zemin Sınıfı	S	B_0	k_1	k_2	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	2,5	1,0	2,0	0,10	0,40	3,0
B	1,0	2,5	1,0	2,0	0,15	0,60	3,0
C	0,9	2,5	1,0	2,0	0,20	0,80	3,0

Bu değerler tepki spektrumunun ordinatının tüm periyot değerlerini aşması ihtimali %50 olacak şekilde seçilmiştir.

Özel bir çalışma yapılmadıkça 5–20 m. alüvyon katmanı ile kaplanmış olan A sınıfı zemin grubu için, zemin parametresi 1,4 alınarak B sınıfı zemin gibi hesaplanması uygundur. 3 zemin sınıfına uymayan yerlerde spektrumun tanımlanması için özel bir çalışma yapılması gerekmektedir. Yüksek plastisite indisine sahip olan ve fazla su içeren en az 10 m. kalınlığında yumuşak kil veya silt katmanları içeren C sınıfı zeminlere özel olarak dikkat edilmelidir. Bu tür zemin sınıfları düşük kesme dalga hızına, düşük iç sönüme ve anormal boyutta değişen lineer davranışa sahiptir. Bu yüzden burada alışılmışın dışında deprem kuvveti artımı ve yapı ile zemin etkileşim etkileri olur. Bunu dikkate almak için bu bölgelerde de özel çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Sönüm düzeltme faktörü değeri aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$h = \sqrt{\frac{7}{2+x}}^{3} \quad 0.7 \qquad \textbf{(2.5)}$$

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

Maksimum Zemin Yer Değiştirmesi:

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

$$d_g = [0,05]a_g.S.T_C.T_D \qquad \textbf{(2.6)}$$

Tasarım Spektrumu:

Yapı Sistemlerinin deprem etkilerine karşı lineer olmayan bölgedeki kapasitesi genellikle lineer elastik davranışa göre daha düşük tasarım kuvvetlerine olanak sağlar.

Tasarımda lineer olmayan yapısal analiz kullanmak yerine, lineer hesapta elemanların veya çeşitli mekanizmaların sünek davranışından 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. Aynı zamanda k_{d1} ve k_{d2} üstelleri de kullanılır. q davranış faktörü, yapının % 5 viskoz sönüm 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.

$$0 \le T \le T_B \qquad S_d(T) = a.S\left[1 + \frac{T}{T_B}\left(\frac{B_0}{q} - 1\right)\right] \qquad \textbf{(2.7)}$$

$$T_B \le T \le T_C \qquad S_d(T) = a.S.\frac{B_0}{q} \qquad \textbf{(2.8)}$$

$$T_C \le T \le T_D \qquad S_d(T) = a.S.\frac{B_0}{q}.\left[\frac{T_C}{T}\right]^{k_{d1}} \quad , \; S_d(T) \geq [0,20]a \qquad \textbf{(2.9)}$$

$$T_D \le T \qquad S_d(T) = a.S.\frac{B_0}{q}.\left[\frac{T_C}{T_D}\right]^{k_{d1}}.\left[\frac{T_D}{T}\right]^{k_{d2}} \quad , \; S_d(T) \geq [0,20]a \qquad \textbf{(2.10)}$$

Burada;

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

a : tasarım zemin ivmesi a_g ile yerçekimi ivmesi g arasındaki oran

q : davranış faktörü

k_{d1}, k_{d2} : Titreşim periyodunun T_C, T_D değerlerinden büyük olması durumunda kullanılan tasarım spektrumunun şekil etkisi.

Zemin sınıflarına göre k_{d1}, k_{d2} değerleri aşağıdaki gibidir.[1]

Tablo 2.4 k_{d1}, k_{d2} Değer Tablosu

Zemin Sınıfı	k_{d1}	k_{d2}
A	[2/3]	[5/3]
B	[2/3]	[5/3]
C	[2/3]	[5/3]

Bina Önem Faktörü:

Geri dönüşüm periyotu 475 yıl olan deprem için bina önem faktörleri tablo 2.5'teki gibidir.

Tablo 2.5 Bina Önem Faktörü

Önem kategorisi	Yapılar	Önem Faktörü (γ_I)
I	Depremde yapısal bütünlüğü hayati öneme sahip yapılar : Hastaneler, İtfaiye, Nükleer Santraller	1,4
II	Depremde ortaya çıkacak sonuçlar itibariyle önemli olan yapılar: Okul, toplantı salonları vs.	1,2
III	Normal sıradan binalar	1
IV	Toplum güvenliği için az öeneme sahip yappılar	0,8

2.5.2 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Deprem Hareketi

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan ve tanım olarak %5 sönüm oranı için elastik Tasarım İvme Spektrumu'nun yerçekimi ivmesi **g**'ye bölünmesine karşı gelen Spektral İvme Katsayısı, **A**(T), Denk.(2.11) ile verilmiştir.

$$A(T) = A_o \, I \, S(T) \qquad \textbf{(2.11)}$$

Etkin Yer İvmesi Katsayısı:

Denk.(2.11)'de yer alan Etkin Yer İvmesi Katsayısı, A_o ,Tablo 2.6'da tanımlanmıştır.

Tablo 2.6 Etkin Yer İvmesi Katsayısı

Deprem Bölgesi	A_0
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

Bina Önem Katsayısı:

Bina Önem Katsayısı, I ,Tablo 2.7'de tanımlanmıştır.

Tablo 2.7 Bina Önem Katsayısı

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

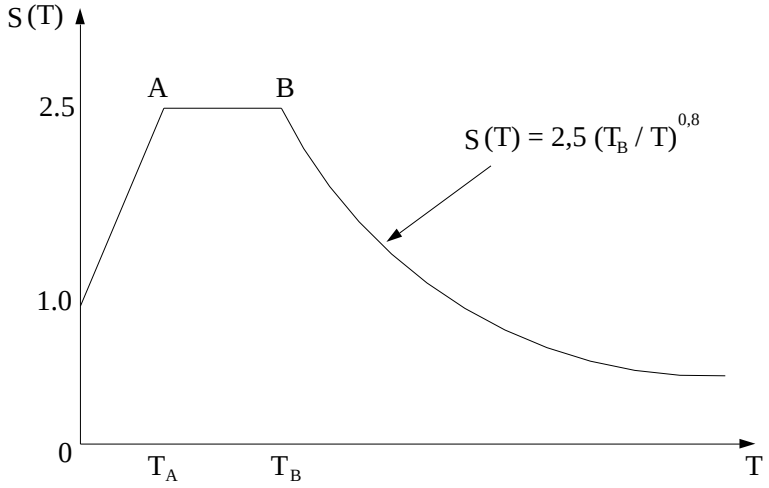
Spektrum Katsayısı:

Şekil 2.2'de gösterilen spektrum katsayısı, S(T), yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T'ye bağlı olarak (Denk 2.12) ile hesaplanacaktır

$$0 \le T \le T_A \qquad S(T) = 1 + 1.5\frac{T}{T_A} \qquad \textbf{(2.12)}$$

$$T_A \le T \le T_B \qquad S(T) = 2.5 \qquad \textbf{(2.13)}$$

$$T_B \le T \qquad S(T) = 2,5\left(\frac{T}{T}\right)^{0,8} \qquad \textbf{(2.14)}$$



Şekil 2.2 Deprem Spektrumu

Denk.(2.12)'deki spektrum karakteristik periyotları, yerel zemin sınıfları'na bağlı olarak Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8 Yerel Zemin Sınıflarına Göre Spektrum Karakteristik Periyotları

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

Özel Tasarım İvme Spektrumları:

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları göz önüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilir. Ancak, bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için, Tablo 2.7'deki ilgili karakteristik periyotlar göz önüne alınarak Denk. (2.11)'den bulunacak değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır.[2]

2.5.3 Eurocode 8'e Göre Deprem Hareketinin Alternatif Tanımları

Güç Spektrumu Tanımlaması

Deprem hareketi, zemin yüzeyinin verilen noktasında, belirli bir zaman aralığında, ivmelenmenin güç spektral yoğunluk fonksiyonu gibi rasgele bir fonksiyonla tanımlanabilir. Güç spektrumu elastik tepki spektrumu ile uyumlu olmalıdır. Uyumluluk, elastik tepki spektrumunun 0,2 sn.- 3,5 sn. arasında % ±10 toleransa uyan güç spektrumu ile rasgele seçilmiş tek serbesiyet dereceli sistemin maksimum

tepki dağılımlarından elde edilen kırılma değerinin %50'sine ulaşması durumunda bahsedilebilir.

Deprem hareketi, keyfi seçilen x, y ortogonal yatay eksenleri ve bunlara dik z düşey eksen boyunca aynı anda etkiye 3 bağımsız işlem olarak düşünülebilir.

Zaman-Tanım Tanımlaması:

Deprem hareketi, yer ivmesi zaman-tanım ve bununla ilgili büyüklüklerle ifade edilir. Eğer uzaysal model gerekli ise sismik hareketin eş zamanlı olarak çalışan 3 akselogram tarafından ivme kayıtlarının alınmış olması gerekir. Aynı akselogram yatay doğrultuda eş zamanlı olarak kullanılamaz.

Uygulamanın doğasına ve gerçek bilgilerin elde edilebilmesine bağlı olarak deprem hareketi yapay akselogramlar veya kaydediciler kullanılarak tanımlanabilir.

Yatay Akselogramlar:

Yatay akselogramlar elastik tepki spektrumuna uyumlu olacak şekilde türetilmiştir. Akselogram zamanı a_g yer ivmesinden kaynaklanan diğer büyüklüklerle uyumlu olmalıdır. Eğer özel bir veri yoksa deprem merkezindeki bölgelerde akselogramın sabit zamanı T_s, $g_{I,}\ a$ değeri ile Tablo 2.9 kullanılarak ilgileşim yapılmalıdır.

Tablo 2.9 T_s, $g_{I,}\ a$ ilgileşim tablosu

$\gamma_I.\alpha$	0,10	0,20	0,30	0,40
T_s	[10]s	[15]s	[20]s	[25]s

Deprem Yükünün Uzaysal Tanımı:

Özel karakteristiklerinden dolayı tüm mesnet noktalarında aynı hareketi göstermeyen yapılar için deprem hareketi 3 boyutlu olarak modellenir. Bu uzaysal model deprem hareketin temel tanımı için kullanılan elastik spektruma uygun olmalıdır.[1]

2.5.4 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Deprem Hareketinin Alternatif Tanımları

Zaman-Tanım Alanında Hesap:

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 alınacaktır.

- 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 olmayacaktır.

- Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerleri, bütün periyotlar için, **A**(T) spektral ivme katsayısı değerlerinin **g** ile çarpımının %90'ından az olmayacaktır. Ancak, zaman tanım alanında doğrusal elastik hesap yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri Denk.(2.13) ile hesaplanacaktır.

$$S_{pa}(T_r) = \frac{A(T_r).g}{R_a(T_r)} \qquad \textbf{(2.15)}$$

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]

2.5.5 Eurocode 8'e Göre Deprem Hareketinin Diğer Yüklerle Kombinezonu

Deprem hareketindeki E_d dizayn değeri aşağıdaki ilgili hareketlerin kombinezonu şeklinde hesaplanacaktır.

$$\sum G_{kj} + g_I.A_{Ed} + P_k + \sum y_{2i}.Q_{ki} \qquad \textbf{(2.16)}$$

Burada;

G_{kj} : J sabit yükünün karakteristik değeri

g_I : Önem faktörü

A_{Ed} : Belirli bir deprem hareketinin dönüş periyodu için tasarım değeri

P_k : Bütün kayıplar olduktan sonra öngerilme yükünün karakteristik değeri

y_{2i} : Hareketli yüklerin sabit yüklere benzer kombinezon katsayıları

Q_{ki} : Hareketli yüklerin karakteristik değerleri

Deprem yükünün hesabında yerçekimi yükleri aşağıdaki kombinezona göre kullanılacaktır[6]

$$\sum G_{kj} + \sum y_{Ei}.Q_{ki} \qquad \textbf{(2.17)}$$

y_{Ei} : Hareketli yüklerin kombinezon katsayısı.

y_{Ei} Hareketli yük kombinezon katsayısı deprem anında $y_{2i}.Q_{ki}$ yükünün yapının tamamına etkimediği olasılığı nedeniyle göz önüne alınır. Bu katsayılar rijit olmayan birleşimlerin kütle katılım oranlarını da düşürürler.

$y_{Ei} = j \ .y_{2i}$ bu formülde kullanılan j değerleri Tablo 2.10'te verilmiştir.

Tablo 2.10 Hareketli Yük Tiplerine Göre j Değerleri

Hareketli Yükün Tipi	Katın Kullanımı	Katın Yeri	φ
A-C Kategorisindeki Yapılar	Birbirinden Bağımsız Olarak Kullanılanlar	En Üst Kat Diğer Katlar	1,0 0,5
A-C Kategorisindeki Yapılar	Birbiri ile Bağlantılı Oralak Kullanılanlar	En Üst Kat Bağlantılı kullanılan Katlar Diğer Katlar	1,0 0,8 0,5
D-F Kategorisindeki Yapılar			1,0

Eurocode 1 part 1.2'de hareketli yükler çeşitli kategorilere ayrılmıştır. Bu kategoriler; [7]

- A Kategorisi: Evler veya barınmak için yapılmış binalar
  - Evler ve resident binalardaki odalar
  - Hastanelerdeki odalar veya bölümler
  - Yurt veya otellerdeki yatak odaları
  - Mutfaklar ve tuvaletler
- B Kategorisi: Ofis Alanları
- C Kategorisi: İnsanların toplandığı alanlar (A,B,D,E de tanımlanan yapılar haricindeki yapılar)
  - C1 Okullar, kafeler, restoranlar, okuma salonları, resepsiyonlar
  - C2 Sandalyeleri sabitlenmiş Alanlar: Kiliseler, tiyatrolar, sinema salonları, toplantı ve konferans salonları vs.
  - C3 İnsanların hareketini engelleyecek bir şeyin olmadığı yapılar: Müzeler, sergi salonları vs.
  - C4 Fiziksel aktivitelerin olabileceği yapılar: Dans ve jimnastik salonları
  - C5 Fazla kalabalığa hassas yapılar: Konser Salonları, spor sahaları, teraslar

- D Kategorisi: Alışveriş Alanları
    - D1: Perakende satışların yapıldığı alanlar
    - D2: Depo, ambar, büyük alışveriş merkezlerinin olduğu yapılar
- E Kategorisi: Malların depo edileceği yapılar.

2.5.6 A.B.Y.Y.H.Y Göre Deprem Hareketinin Diğer Yüklerle Kombinezonu

Emniyet Gerilmeleri Yöntemi'ne göre yapılan kesit hesaplarında, birleşim ve ekler dışında, emniyet gerilmeleri için TS-648'deki EİY yükleme durumunda izin verilen %15 arttırım, deprem durumunda en fazla %33'e çıkarılabilir.

Taşıma Gücü Yöntemi'ne göre yapılan kesit hesaplarında, deprem etkisini içeren yükleme durumları

$$1.0\ G + 1.0\ Q \pm 1.0\ E \qquad \textbf{(2.18)}$$

veya daha elverişsiz sonuç vermesi durumunda,

$$0.9\ G \pm 1.0\ E \qquad \textbf{(2.19)}$$

Şeklinde olacaktır. Depremde hareketinde kat ağırlıklarını hesaplarken hareketli yüklerin katılım oranları Tablo 2.11'de verilmiştir.

Tablo 2.11 Hareketli yük katılım oranı

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, Antrepo vb.	0,8
Okul, ögrenci yurdu, spor tesisi, konser salonu vb	0,6
Konut, işyeri, otel, hastane	0,3

Yapının deprem yükü analizinde kar yüklerinin %30'u sabit olarak alınacaktır

3 YAPILAR İÇİN GENEL KURALLAR

3.1 Eurocode 8'e Göre Kurallar

E_E: Sismik yer hareketi etkisi

E_{Edx}, E_{Edy}: Deprem hareketinin yatay birleşenlerinden kaynaklanan hareket etkilerinin tasarım değerleri.

E_{Edz}: Deprem hareketinin düşey birleşeninden kaynaklanan hareket etkisinin tasarım değeri

F: Yatay deprem kuvveti

F_a: Yapısal olmayan elemanlara etkiyen yatay deprem kuvveti

H: Yapı yüksekliği

R_d: Tasarım direnci

T_1: Yapının esas titreşim periyodu

T_a: Yapısal olmayan elemanların temel titreşim periyodu

W: Ağırlık

W_a: Yapısal olmayan elemanların ağırlığı

d: Yer değiştirme

d_r: Kat arası tasarım ötelemesi

e_1: Kat kütlesinin nominal dışmerkezliliği

h: Kat yüksekliği

q_a: Yapısal olmayan elemanların davranış faktörü

q_d: Yer değiştirme davranış faktörü

s: Yapının esas mod şeklindeki m kütlesinin yer değiştirmesi

z: Yapı kütlelerinin yüksekliği

g_a: Yapısal olmayan elemanların önem faktörü

q: Kat arası öteleme hassasiyet katsayısı

3.1.1 Depreme Dayanıklı Yapıların Karakteristikleri

Yapının depremde hasar görmemesi için tasarımda çeşitli kavramlar dikkate alınmalıdır. Bunlar;

- yapısal basitlik
- düzgünlük ve simetri
- benzeşme
- çift yönlü dayanım ve rijitlik
- burulma dayanımı ve rijitliği
- kat seviyesinde diyafram davranış
- temel uygunluğu

3.1.2 Yapısal Düzgünlük

Depreme uygun tasarım yapmak için yapılar düzenli ve düzensiz olarak ayırt edilmelidir. Bu ayırım deprem tasarımındaki çeşitli bakış açılarıyla yapılabilir.

- Yapısal model basitleştirilmiş düzlemsel veya uzaysal olabilir
- Analiz metodu basitleştirilmiş modal veya multi-modal olabilir.
- q davranış faktörünün değeri düşeydeki belirsizliğe göre azalabilir.

Tasarımda yapısal bakımdan düzensizliklerde planda ve düşey doğrultudaki düzensizlik karakterlerini Tablo 3.1'e göre ayrı ayrı göz önüne almak gerekmektedir.

Tablo 3.1 Yapısal Düzgünlük

Zemin Sınıfı		İzin Verilen Basitleştirilme		Davranış Faktörü
Planda	Düşey Doğ.	Model	Analiz	
Evet	Evet	Düzlemsel	Basitleştirilmiş	Mevcut
Evet	Hayır	Düzlemsel	Multi-Modal	Azaltılmış
Hayır	Evet	Uzaysal	Multi-Modal	Mevcut
Hayır	Hayır	Uzaysal	Multi-Modal	Azaltılmış

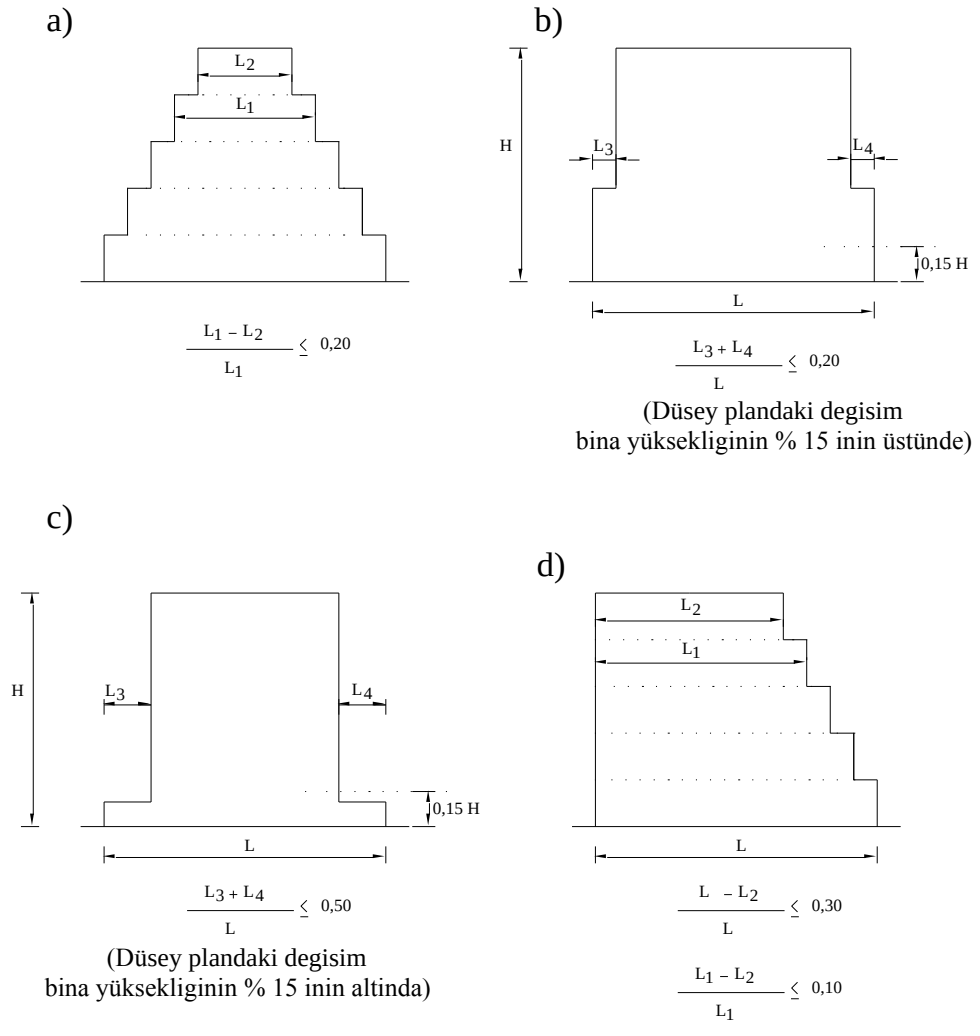
3.1.3 Planda Düzensizlik Kriterleri

Binanın yapısı kütle dağılımı ve yanal rijitlik bakımından binanın dik eksenlerine göre yaklaşık olarak simetrik olmalıdır. Plan düzeni kesif olmalıdır. Binanın şekli H, I, X gibi bölünmüş şeklilerle benzememelidir. Binadaki girintilerin ve girişlerin bir doğrultudaki toplam uzunluğu binanın o doğrultudaki uzunlukları toplamının %25 ini

aşmamalıdır. Döşemelerin düzlem içi rijitlikleri düşey doğrultudaki elemanların yanal rijitliklerine göre yeteri kadar yüksek olmalıdır. Böylelikle döşemedeki deformasyonun yatay yük dağılımına etkisi çok küçük olur. Deprem kuvvetinin dağılımında, herhangi bir kata uygulanan dışmerkezliliğin maksimum değeri ortalama kat ötelemesinin değerinin % 20 sinden fazla olmamalıdır.

3.1.4 Düşey Doğrultuda Düzenlilik Kriterleri

Yatay yüklere karşı koyan sistemlerin hepsi, çekirdekler, perdeler ve çerçeveler temellerden binanın tepesine kadar herhangi bir süreksizlik olmadan devam edecektir. Her kattaki kat kütleleri ve yanal rijitlik zemin kattan son kata kadar ani değişiklikler olmadan ya sabit olarak devam etmelidir ya da tedrici azalarak değişmelidir. Çerçeveli yapılarda analiz sonucunda gerekli olan kat dayanım oranı bitişik katlar arasında orantısız olarak değişmemelidir. Düşey değişken kesitli binalarda aşağıdaki önlemler alınmalıdır.



Şekil 3.1 Düşeyde Yapısal Düzenlilik Şartları

- Eksenel simetrisi korunan düşey değişken kesitli binalarda plandaki herhangi bir kesit ile bir önceki kesit arasındaki oran % 20'den fazla olamaz (Şekil 3.1.a,b bakınız)
- 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.(Şekil 3.1.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'undan fazla olamaz. (Şekil 3.1.d)

3.2 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Düzensiz Binaların Tanımı

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 ise aşağıda verilmiştir.

3.2.1 Planda Düzensizlik Durumları

Planda oluşan düzensizlik durumları A tipi düzensiz binalar olarak tanımlanır. Planda 4 tip düzensizlik durumu tanımlanmıştır.

A1 - Burulma Düzensizliği:

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi}'nin 1.2'den büyük olması durumudur.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2 \qquad \textbf{(3.1)}$$

Göreli kat ötelemelerinin hesabı, ± %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak yapılacaktır.

A2 – Döşeme Süreksizlikleri:

Herhangi bir kattaki döşemede

- Merdiven ve asansör boşlukları dâhil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,

- Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,
- Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumudur.

A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması:

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumudur.

A4 – Taşıyıcı Elemanlarının Eksenlerinin Paralel Olmaması Durumu :

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, göz önüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumudur.

3.2.2 Düşeyde Düzensizlik Durumları

B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanı'nın, bir üst kattaki etkili kesme alanı'na oranı olarak tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci}'nin 0.80'den küçük olması durumu.

$$\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80 \quad \textbf{(3.2)}$$

Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \quad \textbf{(3.3)}$$

B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat):

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama göreli kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki}'nin 1.5'tan fazla olması durumu.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort} > 1.5 \quad \textbf{(3.4)}$$

Göreli kat ötelemelerinin hesabı, ± %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak yapılacaktır.

B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği:

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya kirişlere oturtulması durumudur.[2]

3.2.3 Düzensiz Binalara İlişkin Koşullar

A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu binalarda, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanacaktır.

B1 türü düzensizliğinin bulunduğu binalarda, göz önüne alınan i'inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise, η_{ci}'nin hesabında dolgu duvarları göz önüne alınmayacaktır. $0.60 \leq (\eta_{ci})_{min} < 0.80$ aralığında sistem davranış katsayısı, $1.25\ (\eta_{ci})_{min}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanacaktır. Ancak hiçbir zaman $\eta_{ci} < 0.60$ olmayacaktır. Aksi durumda, zayıf katın dayanımı ve rijitliği arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

B3 türü düzensizliğin bulunduğu binalara ilişkin koşullar aşağıda belirtilmiştir:

- Bütün deprem bölgelerinde, 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 göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır.[2]

3.3 Yapısal Analiz

3.3.1 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 göz önüne alındığında uygun bir şekilde hesaplanabilir.

Yapının genel olarak yatay diyaframlarla birbirine bağlanmış yata ve düşey yük taşıyıcı sistemlerden 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.

Tesadüfî Burulma Etkileri: Hesaplanan gerçek dışmerkezliliklere ek olarak kütle merkezinin yerinin belirsizliği ve deprem hareketinin uzaysal değişimini göz önünde bulundurmak için her katta hesaplanan kütle merkezinin nominal yerine her bir doğrultuda tesadüfi dışmerkezlilik ilave edilir.

$e_{1i} = \pm 0{,}05\ L_i$ **(3.5)**

e_{1i}: i katının kütle merkezinin nominal yerine uygulanacak tesadüfi dışmerkezlilik. Bu dışmerkezlilik 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
- Multi-Modal tepki Spektrumu Analizi (Bu metot bütün yapı tipleri için uygulanabilmektedir.)

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

Basitleştirilmiş Modal Tepki Spektrum Analizi:

Basitleştirilmiş Modal tepki spektrumu kullanabilmek için daha önce bahsedilen yatayda ve düşeyde düzenlilik şartlarını sağlaması gerekmektedir. Ayrıca binanın etkin titreşim periyodu T_1 her iki doğrultuda da;

$T \leq \begin{cases} 4T_c \\ 2.0 \text{ sn.} \end{cases}$ şartını sağlamalıdır. **(3.6)**

Taban Kesme Kuvveti:

Taban kesme kuvveti F_b hesaplanan doğrultuda denk. 3.7 deki gibi hesaplanır.

$F_b = S_d(T_1) * W$ **(3.7)**

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

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

W: Binanın deprem yükünde kullanılacak ağırlığı

$$W_i = g_i + \varphi_{Ei} * q_i \quad \textbf{(3.8)}$$

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

$$T_1 = C_t * H^{3/4} \quad \textbf{(3.9)}$$

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 etkitilirler.

Yatay deprem kuvveti $F_i = F_b \dfrac{s_i W_i}{\sum s_j W_j}$ olarak dağıtılır. **(3.10)**

Burada F_i: Her kata karşı 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 edilirler.

$$F_i = F_b \frac{z_i W_i}{\sum z_j W_j} \quad \textbf{(3.11)}$$

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

Burulma Etkileri:

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

$$d = 1 + 0,6 * \frac{x}{L_e} \qquad \textbf{(3.12)}$$

Burada x, elemanın bina merkezine deprem hareketi doğrultusundaki dik uzaklığıdır.

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

Multi Modal Tepki Spektrum Analizi:

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

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

$$F_{bk} = S_d(T_k).m_k.g \qquad \textbf{(3.13)}$$

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.

$$k \geq 3\sqrt{n} \quad \text{ve} \quad T_k \leq 0,20\text{sn}. \qquad \textbf{(3.14)}$$

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.

$$T_i \leq 0,9T_j \quad \textbf{(3.15)}$$

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

$$E_E = \sqrt{\sum E^2_{Ei}} \quad \textbf{(3.16)}$$

E_E : Deprem hareketinin etkisi (Kuvvet ve yer değiştirme)

E_{Ei} : i titreşim modundaki deprem hareketinin etkisi

Eğer modlar birbirinden bağımsız değillerse 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_{1i} burulma momentini de içerecek statik yüklerin analizinin zarfı olarak incelenebilir.

$$M_{1i} = e_{1i}.F_i \quad \textbf{(3.17)}$$

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

e_{1i} : "i" katının tesadüfî dışmerkezliği

F_i : "i" katına etkiyen yatay kuvvet

Burulma Etkileri için 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 dışmerkezlik göz önüne alınarak etkidiği kabul edilir. Bu dışmerkezliğin minimum değeri aşağıda verilmiştir.

$$e_2 = 0,1.(L+B).\sqrt{10.e_0/L} \leq 0,1.(L+B) \text{ ve} \quad \textbf{(3.18)}$$

$$e_2 = \frac{1}{2e_0}\left[s^2 - e_0^2 - r^2 + \sqrt{(s^2 + e_0^2 - r^2)^2 + 4e_0^2 r^2}\right] \quad \textbf{(3.19)}$$

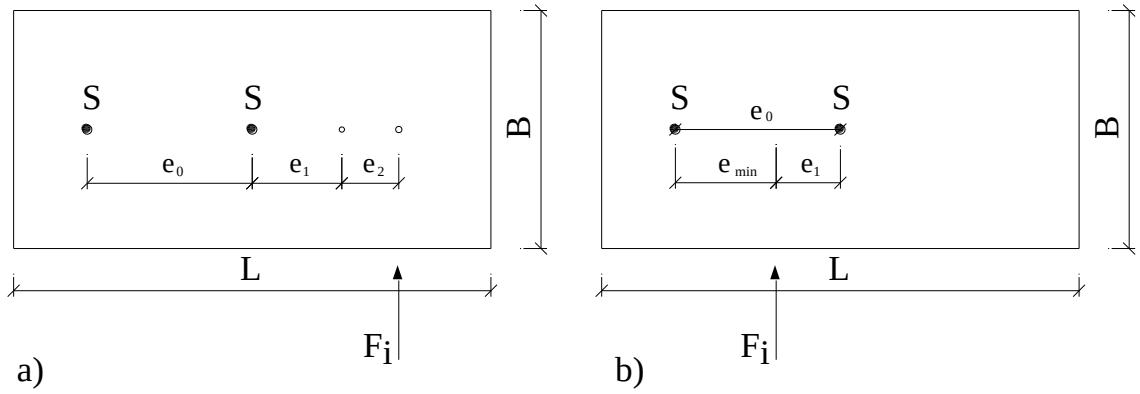
e_2 : Eşzamanlı çevrimsel ve burulma titreşimlerini hesaba katmak için göz önüne alınan dışmerkezlik

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 $r^2 > 5(l_s^2 + e_0^2)$ olduğu durumlarda ihmal edilebilir. Bu durumda F_i deprem kuvveti dışmerkezliğin maksimum ve minimum olduğu durumda hesaplanarak burulma etkileri bulunabilir.



Şekil 3.2 Deprem Yükün Dışmerkezliği a) maksimum, b) minimum

$$M_i = F_i e_{max} = F_i(e_o + e_1 + e_2) \quad \textbf{(3.20)}$$

$M_i = F_i e_{max} = F_i(e_o - e_1)$ olarak hesaplanır. **(3.21)**

Alternatif Analiz Metotları:

Yapının alternatif analiz metotları ile analizinin yapıldığı durumlarda, yapının daha öce 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 multi-modal analiz sonucunda bulunan kesme kuvvetinin %80'inden az olmayacaktır.
- Alternatif analiz metotlarında elde edilen kesme kuvvetleri toplamı herhangi bir doğrultuda multi-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 skokastik 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 akselogram değerleri Fourier serisine çevrilir. Yapının tepkisi, frekans alan girilerinin harmonik bileşenlerinin kendi frekans tepki matrisi ve fonksiyonlarının birleştirilmesi ile elde edilir. Elastik hareket etkileri çeşitli akselogramların tepe noktalarının ortalamasına göre tanımlanır.

Deprem Hareketi Bileşenlerinin Birleştirilmesi:

—Deprem Hareketinin Yatay Bileşeni:

Deprem hareketin 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.

$$E_{Edx} + 0,30E_{Edy} \quad \textbf{(3.22)}$$

$$0,30E_{Edx} + E_{Edy} \quad \textbf{(3.23)}$$

Kombinasyonları yapılarak hesaba katılır.

—Deprem Hareketinin Düşey Bileşeni:

Deprem hareketinin düşey bileşeni aşağıdaki durumlarda göz önüne alınmalıdır.

- Yatay veya yaklaşık olarak yatay olan yapıların açıklığı 20m'den fazla olduğunda
- Yatay veya yaklaşık olarak yatay olan öngermeli elemanlar olduğunda

- Yatay veya yaklaşık olarak yatay olan konsollar olduğunda
- Kolonların kiriş üzerine bindiği durumlarda

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

Elemana etkiyen yatay ve düşey deprem etkilerinin kombinasyonu;

$$0,30E_{Edx} + 0,30E_{Edy} + E_{Edz} \quad \textbf{(3.24)}$$

$$E_{Edx} + 0,30E_{Edy} + 0,30E_{Edz} \quad \textbf{(3.25)}$$

$$0,30E_{Edx} + E_{Edy} + 0,30E_{Edz} \quad \textbf{(3.26)}$$

Yer Değiştirme Analizi:

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

$$d_s = q_d.d_e.g_I \quad \textbf{(3.27)}$$

3.3.2 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 Yükü yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanı Hesap yöntemidir. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi diğer yöntemlere göre daha basit bit 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 Yükü Yöntemini Tablo 3.2'ye göre sınırlandırmıştır.

Tablo 3.2 Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulanacağı Binalar

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı
1,2	A1 Türü burulma düzensizliği olmayan, varsa her bir katta $\eta_{bi} \leq 2,0$ koşulunun sağlayan binalar	$H_N \leq 25$ m.
1,2	A1 Türü burulma düzensizliği olmayan, varsa her bir katta $\eta bi \leq 2,0$ koşulunun sağlayan ve ayrıca B2 türü düzensizliği olmayan binalar	$H_N \leq 60$ m.
3,4	Tüm Binalar	$H_N \leq 75$ m.

Analiz Yöntemleri:

—Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi: Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yükü (taban kesme kuvveti), V_t, Denk.(3.15) ile belirlenecektir.

$$V_t = WA(T_1)/Ra(T1)^3 \quad 0{,}10A_0.I.W \qquad \textbf{(3.28)}$$

Binanın birini doğal titreşim periyodu denklem (3.29)'a göre hesaplanır.

$$T_1 = C_t * H^{3/4} \qquad \textbf{(3.29)}$$

$$w_i = gi + nq_i \qquad \textbf{(3.30)}$$

C_t değeri yapı tiplerine göre aşağıdaki değerleri alır.

C_t = 0,080 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. Binanın doğal titreşim periyodu daha kesin bir hesap yapılmadıkça (Rayleigh metodu ile denklem (3.30)'da) gösterildiği gibi hesaplanacak ve denklem (3.29)'dan elde edilen değer 1,0 sn'den büyük olması durumunda kesin hesapla elde edilecek değerin 1,30 katı ile sınırlandırılacaktır.

$$T_1 = 2P\left[\sum_i^N (m_1 d_n^2) / \sum_i^N (F_n d_n)\right]^{1/2} \qquad \textbf{(3.31)}$$

Burada $m_1 = w_1/g$ i'inci katın kütlesini belirtmektedir.

Katlara Etkiyen Deprem Yüklerinin Belirlenmesi: Denklem (3.28)'den elde edilen deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak yazılabilir.

$$V_t = DF_N + \sum_{i=1}^{N} F_i \qquad \textbf{(3.32)}$$

$H_N > 25$ m. için binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N'in değeri, denklem (3.29)'da hesaplanan T_1'e bağlı olarak aşağıdaki gibi belirlenecektir. $H_N \leq 25\,\text{m}$ olan binalar için $\Delta F_N = 0$ alınacaktır

$$\Delta F_N = 0,07 T_1 V_t \leq 0,2 V_t \qquad \textbf{(3.33)}$$

Toplam Eşdeğer Deprem Yükü N'inci kat dahil olmak üzere bina katlarına

$$F_i = V_t \frac{W_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} W_j H_j} \qquad \textbf{(3.34)}$$

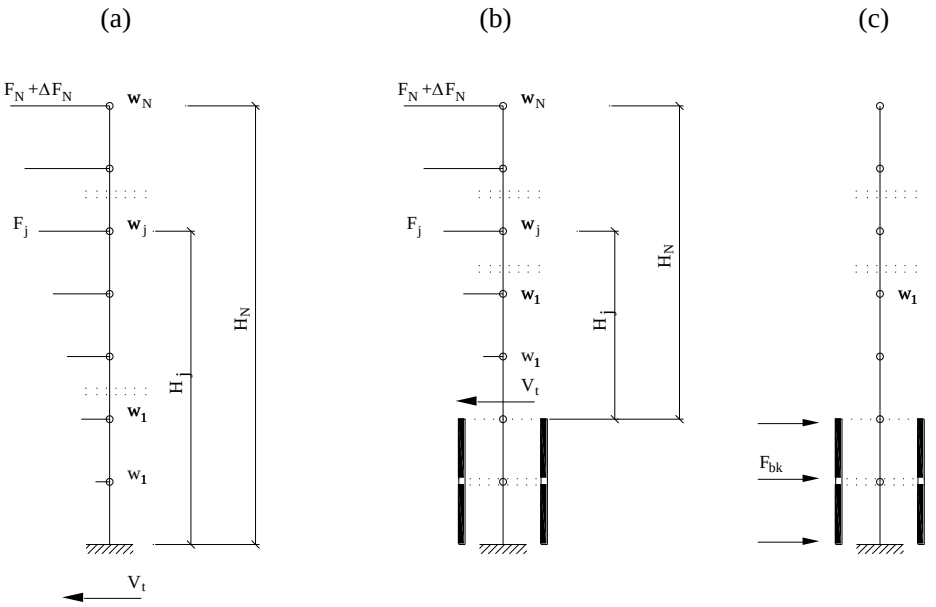
denklemine göre dağıtılır.

Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin 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.

Üstteki katlara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün ve eşdeğer kat deprem yüklerinin belirlenmesinde, bodrumdaki rijit çevre perdeleri göz önüne alınmaksızın Tablo 2.7'den 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 göz önüne alınacaktır. Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında da, fiktif yüklerin belirlenmesi için sadece üstteki katların ağırlıkları kullanılacaktır (Şekil 3.3.b)

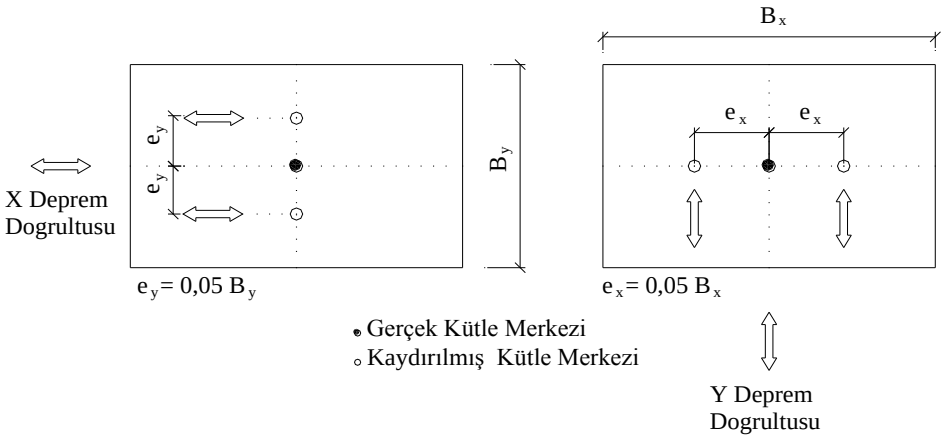
Rijit bodrum katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesabında, sadece bodrum kat ağırlıkları göz önüne alınacak ve bu katlar için hesap üstteki katlardan bağımsız olarak yapılacaktır. Binanın bu bölümünde doğal titreşim periyodu hesaplanmaksızın Spektrum Katsayısı olarak S(T) = 1 alınacaktır. Her bir bodrum katına etkiyen eşdeğer deprem yükünün hesabında, spektral ivme değeri ile bu katın ağırlığı doğrudan çarpılacak ve elde edilen elastik yükler, $R_a(T) = 1.5$ katsayısına bölünerek azaltılacaktır (Şekil 3.3.c)

$$F_{bk} = A_0 I w_{bk} / 1,5 \qquad \textbf{(3.35)}$$



Şekil 3.3 Kat Kütlelerine Etkiyen Deprem Kuvvetleri

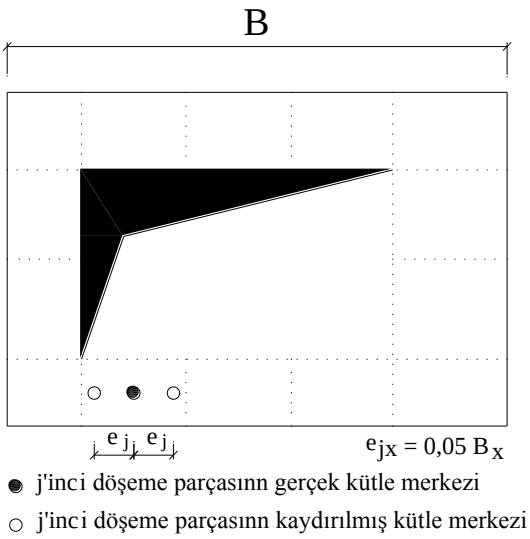
Deprem Hareketinin Bileşenleri: Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme bileşeni ile düşey eksen etrafındaki dönme, bağımsız statik yer değiştirme bileşenleri olarak göz önüne alınırlar. Her katta belirlenen eşdeğer deprem yükleri kat kütle merkezine ve ayrıca ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile, kaydırılmış kütle merkezlerine tekil yatay yükler olarak uygulanacaktır. Kaydırılmış kütle merkezleri, gerçek kütle merkezinin göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun ± %5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalardır. (Şekil3.4)



Şekil 3.4 Kaydırılmış kütle merkezlerine etkiyen deprem kuvveti.

A2 türü düzensizliğin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin yatay düzlemdeki şekil değiştirmelerinin göz önüne alınmasını sağlayacak yeterlikte bağımsız statik yer değiştirme bileşeni hesapta göz önüne alınır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her

katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelerin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun ± %5'i kadar kaydırılır. (Şekil3.5)



Şekil 3.6 A2 Türü Düzensizlikte Kaydırılmış Kütle Merkezi

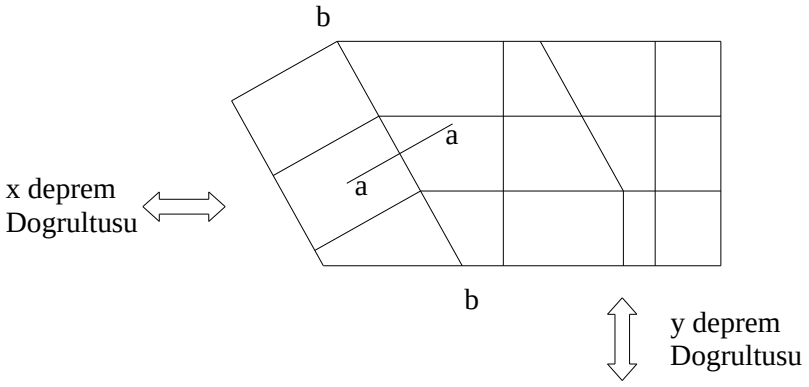
Binanın herhangi bir i'inci katında, A1 türü düzensizliğin bulunması durumunda, $1,2 < h_{bi} \leq 2,0$ olmak koşulu ile yukarıdaki tanımlara göre bu kata uygulanan ± %5 ek dışmerkezlik, her iki deprem doğrultusu için denklem.(3.36)'da verilen D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülür.

$$D_i = (h_{bi} / 1,2)^2 \qquad \textbf{(3.36)}$$

Asal Eksenleri Deprem Doğrultularına Paralel Olmayan Taşıyıcı Sistem Elemanlar: A4 türü düzensizliğin bulunduğu binalarda, elemanların asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler Denklem (3.37 ve 3.38)'e göre elde edilir.(Şekil 3.6)

$$B_a = \pm B_{ax} + 0,30 B_{ay} \qquad \textbf{(3.37)}$$

$$B_a = \pm 0,30 B_{ax} + B_{ay} \qquad \textbf{(3.38)}$$



Şekil 3.5 Asal Eksenleri Doğrultusuna 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 r'inci titreşim modunda göz önüne alınacak ivme spektrumu ordinatı aşağıdaki denklemdeki gibi belirlenir.

$$S_{pa}(T_r) = A(T_r).g / R_a(T_r) \qquad \textbf{(3.39)}$$

Elastik tasarım ivme spektrumunun özel olarak belirlenmesi durumunda, yukarıdaki denklemde $A(T_r).g$ yerine, ilgili özel spektrum ordinatı göz önüne alınır.

Göz önüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri: Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta aşağıda tanımlanan kaydırılmış kütle merkezlerinin her birinde, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır. Kat kütleleri, her katın kütle merkezinde ve ayrıca ek dışmerkezlik etkisi'nin hesaba katılabilmesi amacı ile, kaydırılmış kütle merkezlerinde tanımlanacaktır. Kaydırılmış kütle merkezleri, gerçek kütle merkezinin göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun ± %5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalardır (Şekil 3.4). Ancak herhangi bir i'inci katın kütle eylemsizlik momenti, m_{qi}, kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafında hesaplanır.

A2 düzensizlik türü olan döşeme süreksizliğinin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin kendi düzlemleri içindeki şekil değiştirmelerinin göz önüne alınmasını sağlayacak yeterlikte dinamik serbestlik derecesi göz önüne alınır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelerin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun ± %5'i kadar kaydırılırlar (Şekil 3.5).

Bu tür binalarda, sadece ek dışmerkezlik etkilerinden oluşan iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri Eşdeğer Deprem Yüküne göre de hesaplanabilir.

Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı: Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, Y, göz önüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının, aşağıdaki denklemlerde belirtildiği üzere, hiçbir zaman bina toplam kütlesinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenir. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkin kütlesi, bina toplam kütlesinin %5'inden büyük olan bütün titreşim modları göz önüne alınır.

$$\sum_{r=1}^{Y} M_{xr} = \sum_{r=1}^{Y} \left[\sum_{i=1}^{N} (m_i F_{xir}) \right]^2 / M_r \geq 0{,}90 \sum_{i=1}^{N} m_i \qquad \textbf{(3.40)}$$

$$\sum_{r=1}^{Y} M_{yr} = \sum_{r=1}^{Y} \left[\sum_{i=1}^{N} (m_i F_{yir}) \right]^2 / M_r \geq 0{,}90 \sum_{i=1}^{N} m_i \qquad \textbf{(3.41)}$$

Modal kütle M_r'ın ifadesi, kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalar için aşağıda verilmiştir

$$M_r = \sum_{i=1}^{N} \left(m_i F_{xir}{}^2 + m_i F_{yir}{}^2 + m_{qi} F_{qir}{}^2 \right) \qquad \textbf{(3.42)}$$

Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binaların hesabında, sadece bodrum katların üstündeki katlarda etkin olan titreşim modlarının göz önüne alınması yeterlidir. Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılacak hesapta, bodrumdaki rijit çevre perdeleri göz önüne alınmaksızın seçilecek davranış katsayısı R kullanılır ve sadece üstteki katların kütleleri göz önüne alınır.

Mod Katkılarının Birleştirilmesi: Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yer değiştirme ve göreli 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:

$T_s < T_r$ olmak üzere, göz önüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_s / T_r < 0.80$ 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 ilgileşim katsayılarının hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınır.

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, mod birleştirme yöntemi ile elde edilen bina toplam deprem yükü V_{tB}'nin, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine göre hesaplanan bina toplam deprem yükünün V_t'ye oranının aşağıda tanımlanan β değerinden küçük olması durumunda ($V_{tB} < \beta\ V_t$), Mod Birleţtirme Yöntemine göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri, aşağıdaki B_D oranına göre büyütülür.

$$B_D = (\beta\ V_t / V_{tB})\ B_B \qquad \textbf{(3.43)}$$

B_B: Mod birleştirme yönteminde mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi bir büyüklük.

B_D: B_B büyüklüğüne ait büyütülmüş değer.

A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda yukarıdaki denklemde β =1.00, bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda ise β =0.90 alınır.

—Alternatif Analiz Metotları:

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.
- Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerleri, bütün periyotlar için, A(T) spektral ivme katsayısı değerlerinin g ile çarpımının %90'ından az olamaz. Ancak, zaman tanım alanında doğrusal elastik hesap yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri Denklem(3.38) 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.

—Yer Değiştirme:

Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması: Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden göreli kat ötelemesi, Δ_i, aşağıdaki formüle göre elde edilecektir.

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

d_i =Yönetmeliğe göre gelen yatay yükün yarattığı öteleme

Burada d_i ve d_{i-1} , binanın i'inci ve (i -1)'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesaptan elde edilen yatay yer değiştirmeleri göstermektedir. Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde, denklem (3.43) ile hesaplanan göreli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(D_i)_{max}$ aşağıdaki koşulların elverişsiz olanını sağlamalıdır.

$$(D_i)_{max} / h_i \leq 0,0035 \quad \textbf{(3.45)}$$

$$(D_i)_{max} / h_i \leq 0.02 / R \quad \textbf{(3.46)}$$

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), elde edilen göreli kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesapla doğrulanmalıdır.

3.3.3 Yapısal Olmayan Elemanlar

—Eurocode 8'e Göre Yapısal Olmayan Elemanlar:

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 edilen uygun bir tepki spektrumu kullanılmalıdır.

Yapısal Olmayan Elemanların Analizi:

Yapısal olmayan elemanlara etkiyen deprem etkileri;

$$F_a = (S_a . W_a . g_a) / q_a \quad \textbf{(3.47)}$$

Burada;

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 elemanın ağırlığı

g_a : Yapısal olmayan elemanın önem faktörü

q_a : Elemanın davranış faktörü

S_a deprem sabiti de aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_a = a.3.[1+ Z/H]/\left(1+ (1- T_a / T_1)^2\right) \quad \textbf{(3.48)}$$

a : Tasarım yerçekimi ivmesi a_g ile yerçekimi ivmesi "g" oranı

T_a : Yapısal olmayan elemanın titreşim periyodu

Z: Yapısal olmayan elemanın tabandan yüksekliği

H: Binanın toplam yüksekliği

Önem Faktörü ve Davranış Faktörü:

Yapısal olmayan elemanların önem faktörü g_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 3.3 de verilmiştir.

Tablo 3.3 Yapısal Olmayan Elemanların Davranış Faktörleri

Yapısal Olmayan Elemanın Tipi	q_a
Konsol Parapetler ve Süslemeler İşaret ve Reklam Panoları Yüksekliklerinin yarıdan fazlası yatay çaprazlar olmadan ayakta duran bacalar direkler ve tanklar	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'e 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 etkiyen eşdeğer deprem yükleri, S(T) = 1.0 alınarak spektral ivme katsayısının ilgili elemanın toplam ağırlığı ile çarpılmasından elde edilir. Hesaplanan deprem yükü, yatay veya düşey doğrultuda, en elverişsiz iç kuvvetleri verecek yönde ilgili elemanın ucuna etki ettirilecektir.

Mekanik ve Elektrik Donanıma Etkiyen Deprem Yükleri:

Binalardaki mekanik ve elektrik donanımların ve bunların bina taşıyıcı sistem elemanlarına bağlantılarının hesabında kullanılacak yatay deprem yükleri

$$f_e = w_e A_0 I(1+ H_i / H_N) \qquad \textbf{(3.49)}$$

Formülü ile verilmiştir. Ancak, w_e ile gösterilen mekanik veya elektrik donanım ağırlıklarının binanın herhangi bir i'inci katındaki toplamının 0.2 w_i'den büyük olması durumunda, donanımların ağırlıklarının ve binaya bağlantılarının rijitlik özellikleri, bina taşıyıcı sisteminin deprem hesabında göz önüne alınacaktır.

Kalorifer brülör ve kazanları, acil yedek elektrik sistemleri ve yangın söndürme sistemleri ile dolgu duvarlarına bağlanan donanımlar ve bunların bağlantılarında Denklem (3.48) ile hesaplanan deprem yükünün iki katı alınacaktır.

3.4 Güvenlik Yeterlilikleri

3.4.1 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.[8]

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

$$E_d \leq R_d \qquad \textbf{(3.50)}$$

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

$R_d = R\left\{\frac{f_k}{g_M}\right\}$, malzemenin kısmi güvenlik faktörü g_M 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- D etkileri) bütün katlar için aşağıdaki şartları sağlıyorsa dikkate alınmazlar.

$$q = \frac{P_{tot}.d_r}{V_{tot}.h} \leq 0{,}10 \qquad \textbf{(3.51)}$$

q: 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

Eğer $0{,}1 < q \leq 0{,}2$ olması durumunda 2. mertebe etkileri, deprem etkilerinin 1/(1- q) faktörü ile çarpılarak arttırılmasıyla yaklaşık olarak hesaba katılmış olur. q 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 yükler 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.

3.4.2 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.[5]

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

$$d_r / n \leq [0,004]h \qquad \textbf{(3.52)}$$

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

$$d_r / n \leq [0,006]h \qquad \textbf{(3.53)}$$

n : Kullanılabilirlik limit durumu için düşük geri dönüşüm periyotlu depremler için azaltma katsayısı. Azaltma katsayısı binanın önem kategorisine göre de değişiklik gösterir.

Tablo 3. 4 Azaltma Faktörü Değerleri

Önem Kategorisi	I	II	III	IV
Azaltma Katsayısı (ν)	2,5	2,5	2,5	2,5

3.4.3 A.B.Y.Y.H.Y 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, q_i'nin aşağıda verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilir.

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

$$q_i = \frac{(D_i)_{ort} \sum_{j=1}^{N} W_j}{V_i h_i} \leq 0{,}12 \qquad \textbf{(3.54)}$$

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

3.4.4 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:[1]

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.

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

4.ÇELİK YAPILAR İLE İLGİLİ BELİRLİ KURALLAR

4.1 Eurocode 8 İçin

4.1.1 Tanımlar

Bu bölümde kullanılan terimlerin anlamları aşağıda verilmiştir.

- Ankastre yapı: Yapı serbest ucu olan bir kolon olarak modellenmiştir.
- Ters Pandül Yapı: Ağırlığının büyük bir kısmı yapının üst kısmında olan ankastre yapılardır.
- İkili Yapı: Aynı düzlem içinde yapıya gelen yatay yüklerin belli bir kısmının moment çerçeveleri tarafından belli bir kısmının da güçlendirilmiş çerçeveler tarafından karşılandığı yapılardır.
- Karma Yapı: Moment taşıyıcı çelik çerçevelerden ve yatay yük taşıyıcı betonarme veya dolu tuğla elemanlardan oluşan yapılardır.[8]

4.1.2 Tasarım Kavramları

Depreme dayanıklı çelik yapılar aşağıdaki kavramlardan birisi ile tasarlanacaktır..

- Enerji Yutucu Yapı Davranışı
- Enerji Yutucu Olmayan Yapı Davranışı

Enerji yutucu yapı davranışı kavramında yapının deprem etkisine karşı dayanımı, yapının elastik sınırının dışında hesaplanmıştır. Tasarım spektrumu kullanılacağı zaman; q yapı davranış faktörü 1'den büyük alınır. q değeri yapı tipine göre değişmektedir.

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 süneklik şartlarını sağlamasına gerek yoktur.

4.1.3 Malzemeler

Çelik kesitler kaynak ve bulonlar, bundan sonra aksi belirtilmedikçe Eurocode 3'te belirtilen şartlara uyacaktır.

Enerji yutucu bölgede aşağıdaki kurallar uygulanacaktır.

- Bulonlu birleşimlerde, kapasite tasarımının gereklerine uymak için 8.8 veya 10.9 sınıfı yüksek mukavemetli bulonlar kullanılmalıdır. 12.9 sınıfı bulonlar yalnızca kesme birleşimlerinde kullanılmasına izin verilmiştir.
- Yapının inşasında kullanılan malzemenin akma sınırı değeri ile kullanılan çeliğin çekme dayanımı değeri belirtilmelidir.

4.1.4 Yapı Tipleri ve Davranış Faktörleri

Yapı Tipleri:

Çelik yapılar deprem hareketindeki davranışına göre aşağıdaki yapı tiplerinden biriyle yapılacaktır.

- Moment Aktaran Çerçeve**:** Yatay yükler altında, özellikle bükülme etkilerine karşı koyan yapılardır. Bu tip yapılarda, enerji yutucu bölge kolon-kiriş birleşimlerinin yanında oluşan plastik mafsallardadır ve enerji bu bölgelerdeki çevrimsel eğilmelerle yutulur.
- Merkezi Güçlendirilmiş Çerçeve (MGÇ) **:**Yatay yükler, çoğunlukla eksenel yükler altındaki elemanlar tarafından taşınan yapılardır. Bu tip yapılarda, enerji yutucu bölge çekme diyagonallerinde bulunur. Merkezi güçlendirilmiş çerçeveler 3'e ayrılır.
  - Aktif Çekme Çaprazları**:** Yatay yükler, sadece çekmeye çalışan diyagonaller tarafından karşılanır. Basınca çalışan diyagonaller ihmal edilir.
  - V- Çaprazları**:** Yatay yükler, hem çekmeye ve hem basınca çalışan diyagonaller tarafından karşılanır. Bu diyagonallerin birleşim noktası, yatayda ve sürekli olan bir eleman üzerinde olmak zorundadır.
  - K-Çaprazları**:** Diyagonalin kesişim noktası kolon üzerinde bulunmaktadır. K çaprazlarının akma mekanizması kolonların akmasını da içerdiğinden bu çaprazlar enerji yutucu olarak düşünülmemelidir.
- Dış Merkezli Güçlendirilmiş Çerçeve (DMGÇ) **:** Yatay yükler, eksenel yük alan elemanlar ve güçlendirme sisteminin dış merkezliliği ile karşılanır. Enerji, kirişler üzerindeki eğilme yada kesme çevrimleriyle karşılanır. Dış

merkezli güçlendirilmiş çerçeveler yalnızca çekmeye veya basınca çalışan elemanların sınır dayanımlarına ulaşmadan önce, eğilme elemanlarında eğilme veya kesmeden dolayı oluşan akma oluşuyorsa, enerji yutucu olarak sınıflandırılabilirler,

- Konsol Yapılar veya Ters Pandül Yapılar**:** 3.1.2'de tanımlanan bu tür yapılarda enerji yutucu bölge tabanda toplanır.
- Beton Çekirdekli veya Betonarme Perdeli Yapılar: Yatay yükler beton çekirdek veya beton duvarlar tarafından karşılanan yapılardır.

Davranış Faktörü :

Yapı davranış faktörü q, yapı türlerine göre Şekil 4,1'de verilen değerleri alır

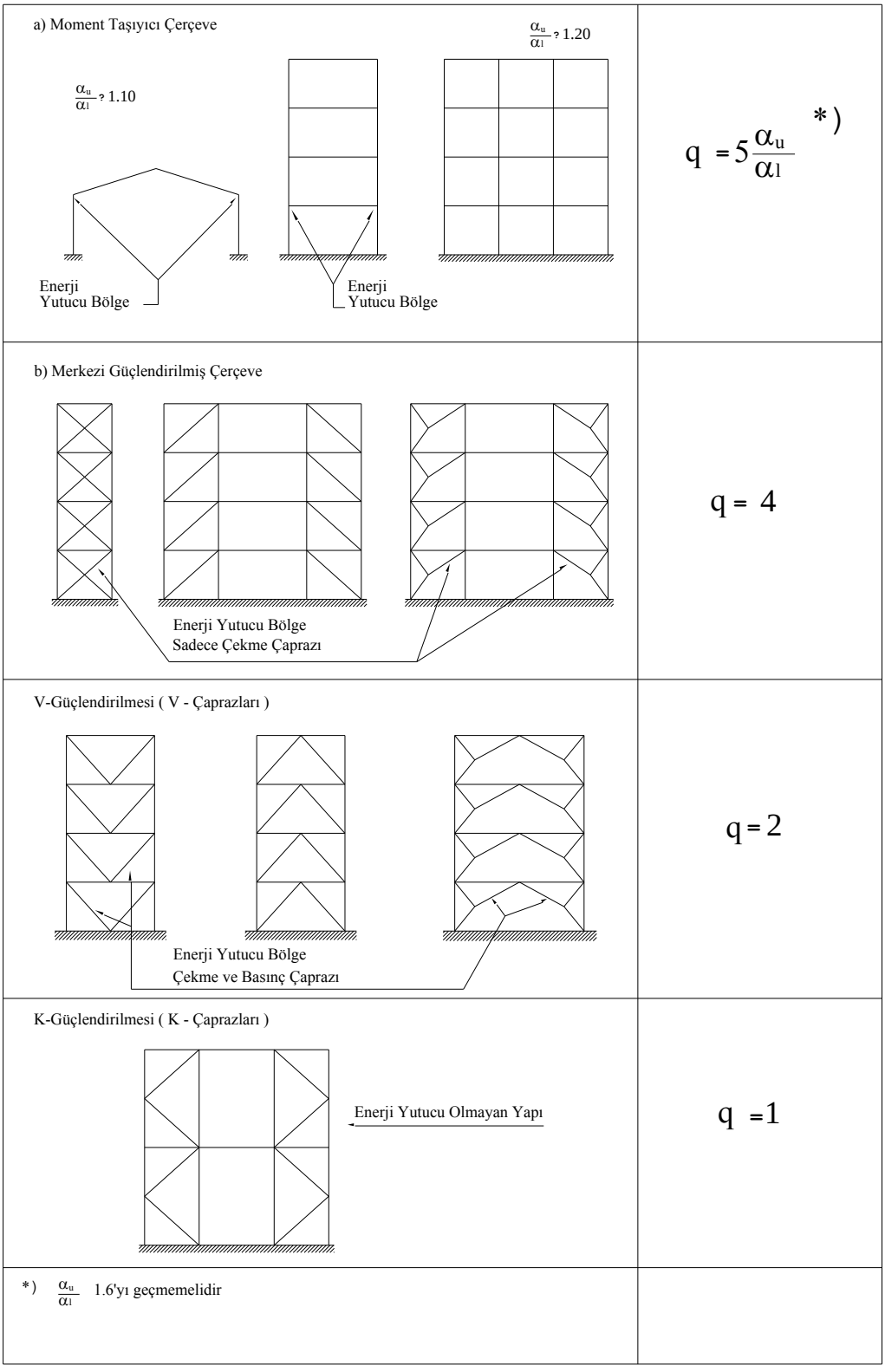
- Eğer yapı boy kesitte düzensiz ise Şekil 4.1'de verilen q değerleri %20 oranında azaltılmalıdır. Ama q değerinin 1'den küçük olmaması gerekmektedir.
- Deprem riski düşük olan bölgelerde, haddelenmiş profillerle veya haddelenmiş profillere benzer kaynaklı profillerle yapılmış düzenli yapılarda (Şekil 4.1'e bakınız.) q davranış faktörü, 3.5'te verilen kuralları dikkate almadan K-Güçlendirilmiş (K-Çaprazlı) yapılar hariç 1.5 alınabilir. Çökmeye karşı yeterli dayanımın Eurocode 3'te yer alan kontrollerin uygulanması ile sağlandığı kabul edilir.

Şekil 4.1'de kullanılan parametreler

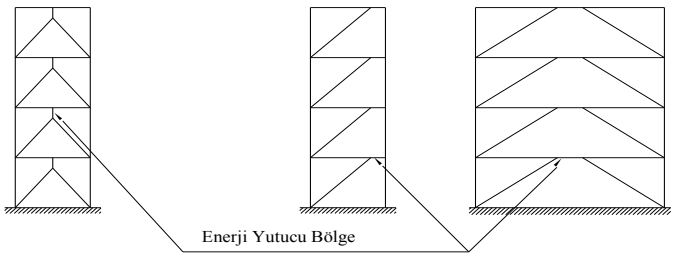
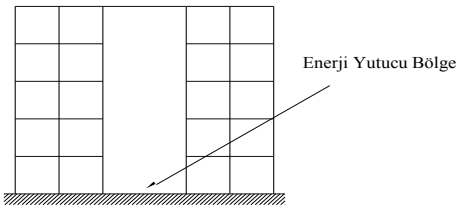
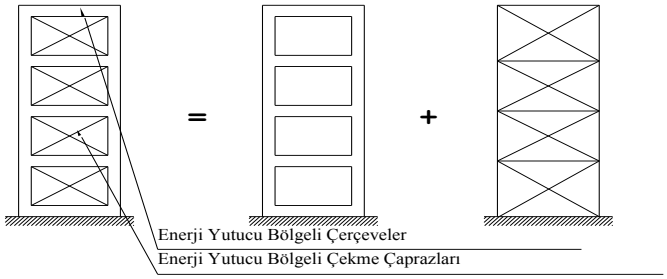
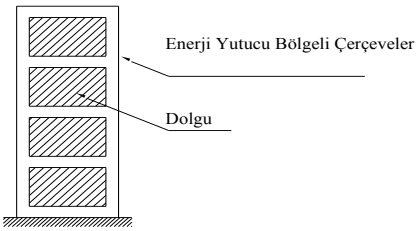
α_1**:** Yatay deprem yükü çarpanıdır. Diğer tüm tasarım yükleri sabit kalırken deprem yükü adım adım arttırılır. En çok gerilme alan kesitte plastik moment dayanımına ulaşıldığı (plastik mafsal oluşması) andaki deprem yükü değerine bağlı olarak, α_1 yatay tasarım deprem yükü olarak belirlenir.

α_u**:** Yatay deprem yükü çarpanıdır. Diğer tüm tasarım yükleri sabit kalırken, deprem yükü adım adım arttırılır. Yeterli sayıda kesitte plastik moment dayanımına ulaşıp (plastik mafsallar), göçme mekanizmasının oluştuğu andaki deprem yükü değerine bağlı olarak, α_u yatay tasarım deprem yükü çarpanı belirlenir.

Hesaplamalar sonucu α_u değerine ulaşılamamışsa α_u / α_1 oranının yaklaşık değeri olarak Şekil 4.1'deki değerler kullanılabilir.



Şekil 4.1 Davranış Faktörünün Yapı Tiplerine Göre Değeri

c) Dış Merkez Güçlendirilmiş Çerçeve $\frac{\alpha_u}{\alpha_1}$? 1.10  	$q = 5 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$ *)
d) Konsol Yapılar Kısıtlamalar $\bar{\lambda} \leq 1.5$; $\theta \leq 0.2$	$q = 2$
e) Beton Çekirdekli veya Betonarme Perdeli Yapılar  	
f) İkili Yapı  	$q = 5 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$ *)
g) Karma Yapılar  	$q = 2$
*) $\frac{\alpha_u}{\alpha_1}$ 1.6'yı geçmemelidir	

Şekil 4.2 Davranış Faktörünün Yapı Tiplerine Göre Değeri

4.2 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Çelik Yapılar İçin Kurallar

4.2.1 Elastik Deprem Yüklerinin Azaltılması: Deprem Yükü Azaltma Katsayısı

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne almak üzere, spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan Deprem Yükü Azaltma Katsayısı'na bölünecektir.

Deprem Yükü Azaltma Katsayısı, $R_a(T)$, çeşitli taşıyıcı sistemler için aşağıdaki Tablo 4.1'de tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R'ye ve doğal titreşim periyodu, T'ye bağlı olarak Denk. (4.3) ile belirlenecektir.

$$0 \leq T \leq T_A \qquad R(T) = 1.5 + (R - 1{,}5)\frac{T}{T_A} \qquad \textbf{(4.1)}$$

$$T_A \leq T \qquad R_a(T) = R \qquad \textbf{(4.2)}$$

4.2.2 Taşıyıcı Sistemlerin Süneklik Düzeylerine İlişkin Genel Koşullar

Tablo 4.1 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

ÇELİK BİNALAR		
(1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	**5**	**8**
(2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar...	**4**	**6**
(3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar	**3**	—
(a)Çaprazların merkezi olması durumu.....	—	**7**
(b)Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	**4**	**6**
(c) Betonarme perde durumu.....		
(4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	**4**	—
(a)Çaprazların merkezi olması durumu.....	—	**8**
(b)Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	**4**	**7**

4.2.3 Karma Taşıyıcı Sistemlere İlişkin Koşullar

Tablo 4.1'de tanımlanan yatay yük taşıyıcı sistemlerinin iki yatay deprem doğrultusunda birbirinden farklı olması veya herhangi bir doğrultuda karma olarak kullanılması durumlarında, değeri en küçük olan R katsayısı her iki doğrultuda da tüm binaya uygulanacaktır. Betonarme sistemler ile süneklik düzeyi normal kiriş ve kolonlardan oluşan çelik çerçeveli sistemlerin, süneklik düzeyi yüksek perdelerle bir arada kullanılması mümkündür. Bu şekilde oluşturulan süneklik düzeyi bakımından karma sistemlerde, aşağıda belirtilen koşullara uyulmak kaydı ile, süneklik düzeyi yüksek boşluksuz, bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler veya çelik binalar için dışmerkez çaprazlı çelik perdeler kullanılabilir.

- Bu tür karma sistemlerin deprem hesabında çerçeveler ve perdeler bir arada göz önüne alınacak, ancak her bir deprem doğrultusunda mutlaka $\alpha_{M} \geq 0.40$ olacaktır.
- Her iki deprem doğrultusunda da $\alpha_{M} \geq 2/3$ olması durumunda, Tablo 4.1'de deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perde tarafından taşındığı durum için verilen R katsayısı ($R = R_{YP}$), taşıyıcı sistemin tümü için kullanılabilir.
- $0.40 > \alpha_{M} > 2/3$ aralığında ise, her iki deprem doğrultusunda da taşıyıcı sistemin tümü için

$$R = R_{NÇ} + 1.5\,\alpha_{M}\,(R_{YP} - R_{NÇ}) \qquad \textbf{(4.3)}$$

bağıntısı uygulanacaktır.

4.2.4 Düğüm Noktaları Mafsallı Sistemlere İlişkin Koşullar

Kolonları temelden ankastre ve üstten mafsallı tek katlı çerçevelerden oluşan ve R katsayıları Tablo 4.1 (2)'de verilen 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 prefabrike binalarda süneklik düzeyi yüksek sistem olarak düzenlenecektir. Bunların dışında, düğüm noktaları mafsallı çerçevelerden oluşan betonarme prefabrike ve çelik çok katlı binalarda, her iki yatay doğrultuda deprem yüklerinin tamamını almak üzere Tablo 4.1'de R katsayıları (3)'te verilen yerinde dökme betonarme veya çaprazlı çelik perdeler kullanılacaktır

4.3. Eurocode 8 İçin Yapısal Analiz

Döşeme diyaframları, yapısal modellemelerde aşağıdaki şartlara uyuyorsa başka bir kontrole gerek duyulmadan rijit kabul edilebilir.

- Betonarmeden oluşmalıdır
- Döşeme boşluklarının düzlem içinde tüm düzlemin rijitliğine önemli bir etkisi olmamalıdır.
- Dinamik Analizde çelik parçaların rijitliği Eurocode 3'te verilen elastisite modülü değeri kullanılarak hesaplanabilir.

4.3.1 Tasarım Kriterleri ve Enerji Yutucu Bölgeler İçin Ayrıntılı Kurallar

Genel Kurallar:

Yapının deprem yüklerine karşı çalışan parçaları enerji yutucu davranış kavramına uygun olarak tasarlanır.

Tasarım Kriterleri:

Enerji yutucu bölgeli yapılarda, bu bölgelerdeki çevrimsel davranıştan dolayı oluşan akma, yerel burkulma veya diğer olguların tüm sistemin stabilitesini etkilememesi için bu bölgelerin geliştirilmesi gerekmektedir.

- Enerji yutucu bölgelerdeki yapısal elemanlar uygun dayanıklılıkta ve süneklikte olmalıdır.
- Enerji yutucu yapıların, enerji yutucu olmayan elemanları ve enerji yutucu elemanlarla sistemin geri kalan kısmının birleşim elemanları, enerji yutucu parçalarda çevrimsel akmaların gelişmesine karşı yeterli dayanıma sahip olmalıdır.

4.3.2 Eurocode 8'e Göre Bütün Yapı Tipleri İçin Ayrıntılı Kurallar

Basınca Çalışan Elemanlar:

Basınca çalışan bölümlerde ve elemanlarda yeterli yerel sünekliğin sağlandığından emin olabilmek için Eurocode 3 bölüm 1-1 madde 5.3'te belirlenen kesit sınıflarına göre, genişlik-kalınlık oranlarına (b/t) sınırlandırmalar getirilmiştir. Bu sınırlandırmalar Tablo 4.2'de verilen davranış faktörüne de etki etmektedir.

Tablo 4.2 Seçilen Davranış Faktörüne Göre Gerekli En-Kesit Sınıfı

Davranış Faktörü	En-kesit Sınıfı
4<q	Sınıf 1
2<q≤4	Sınıf 2
q≤2	Sınıf 3

Enerji Yutucu Bölgedeki Birleşimler:

Enerji yutucu bölgedeki birleşimler birleşim kısımlarının akması için yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Birleşim elemanlarının dayanımının kesin değeri bilinmiyorsa uygun bir yaklaşım yapılarak dayanım değeri belirlenir. Akma dayanımının maksimum değeri için 4.3.10'daki hesaplar kullanılmalıdır.

Enerji yutucu bölümlerin birleşimleri küt kaynakla veya tam penetrasyonlu kaynakla yapılmışsa, birleşimlerin dayanım kriterini sağladığı kabul edilir.

Köşe kaynaklı birleşimler veya bulonlu birleşimler aşağıdaki şartları sağlamalıdır.

$$R_d \geq 1.20\ R_{fy} \qquad \textbf{(4.4)}$$

R_d = Birleşimlerin dayanımı

R_{fy} = Birleşim bölümünün plastik dayanımı

Eğer birleşim elemanları seçilen davranış faktöründen dolayı doğal olarak enerji yutma kapasitesine katkıda bulunuyorsa; birleşimlerde dayanım şartına uymaya gerek yoktur. Birleşim elemanlarının etkisi ve dayanımı çevrimsel yükler altında test edilerek kanıtlanmalıdır.

Çekmeye Çalışan Bölümler:

Çekmeye çalışan elemanlar veya bölümler verilen süneklik gerekliliklerine uymalıdır.[3]

Temeller:

Temeller üzerindeki tük etkilerinin tasarım değerleri (E_{Fd}) aşağıdaki gibi elde edilmelidir.

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

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

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

α : Söz konusu E_F etkisi altında yapının en büyük etki alan enerji yutucu bölge yada i elemanının (R_{di}/ S_{di}) oranı

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

R_d :Enerji yutucu bölge yada i elemanının dizayn dayanımı

S_{di}: Deprem yüküne göre hesapta, bölge yada i elemanına gelen yük etkisinin dizayn değeri

4.3.4 Moment Aktaran Çerçeveler İçin Ayrıntılı Kurallar

Temel Kriterler:

Moment aktaran çerçeve plastik mafsalların kolon üzerinde değil kiriş üzerinde olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu ölçüt çok katlı yapıların en üst katında veya tek katlı yapılarda uyulmayabilir.

Kiriş-kolon birleşimleri plastik mafsalların kirişlerde oluşmasını sağlayacak uygun dayanıma sahip olması gerekmektedir.

Kirişler:

Kirişler bir ucunda plastik moment oluşumu kabul edilerek yanal burkulma veya yanal burulmalı burkulma etkilerine yeterli güvenlikte olmalıdır. [3]

Kirişlerdeki plastik mafsallar için, tüm plastik moment kapasitesi ve dönme kapasitesi basınç ve çekme etkileriyle azalmadığı tahkik edilmelidir. Bunun için plastik mafsal oluşumunun beklendiği kesitlerde aşağıdaki eşitsizlikler sağlanmalıdır.

$$\frac{M_{Sd}}{M_{pl,Rd}} \leq 1.0 \qquad \textbf{(4.6)}$$

$$\frac{V_{G,Sd} + V_{M,Sd}}{V_{pl,Rd}} \leq 0.5 \qquad \textbf{(4.7)}$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \leq 0.15 \qquad \textbf{(4.8)}$$

N_{Sd} , M_{Sd} : Yapısal analizden elde edilen dizayn hareket etkileri,

$N_{pl,Rd}$, $M_{pl,Rd}$, $V_{pl,Rd}$: Eurocode 3 bölüm 1-1 madde göre tasarım dayanımları,

$V_{G,Sd}$: Sismik olmayan hareketlerden dolayı oluşan kesme kuvveti,

$V_{M,Sd}$: Kirişin A ve B uçlarındaki $M_{Rd,A}$ ve $M_{Rd,B}$ momentlerinin ters işaretli olarak uygulanmasından dolayı oluşan kesme kuvveti.

Kolonlar:

Kolon hesabında N, eksenel kuvveti ve M_x, M_y eğilme momentleri dikkate alınarak en elverişsiz yükleme durumunun ele alındığı kontrol edilmelidir.

Kolonların bitişik kesitlerinin dizayn eğilme momentleri toplamı, o kolona bağlanan kiriş dayanım momenti M_{Rd}'den daha düşük olmamalıdır.

Çerçevenin tabanında kolonlardan temelle olan birleşimin hesabında tasarım momentleri aşağıdaki gibi alınmalıdır.

$$M_{Sd} = M_{Sd,G} + 1.2*M_{Sd,E} \quad \textbf{(4.9)}$$

$M_{Sd,G}$: Deprem yüklemesinde , sismik olmayan yüklere bağlı olan eğilme momenti

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

Yapısal analiz sonucu elde edilen V_{Sd} kolon kesme kuvveti. V_{Sd} değeri aşağıdaki ifadeyi geçmemelidir.

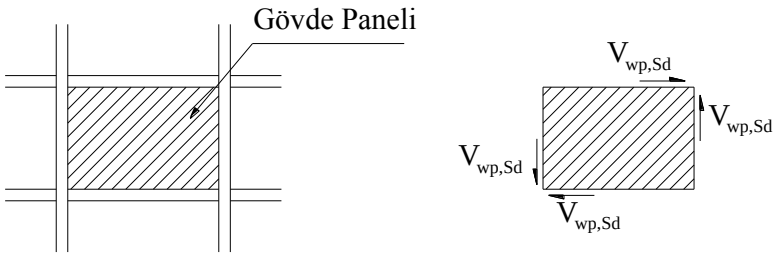
$$\frac{V_{Sd}}{V_{pl,Rd}} \text{ £ } 0.5 \quad \textbf{(4.10)}$$

Kiriş kolon birleşimlerindeki gövde panelleri için aşağıdaki yargılar kabul edilir

$$\frac{V_{wp,Sd}}{V_{wp,Rd}} \leq 1.0 \quad \textbf{(4.11)}$$

$V_{wp,Sd}$: Gövde panelinde hareket etkilerinden dolayı oluşan tasarım kesme kuvveti

$V_{wp,Rd}$: Eurocode 3'göre hesap edilen gövde paneli kesme dayanımı



Şekil 4.3 Gövde Paneli

Kiriş Kolon Birleşimleri:

Kiriş kolon birleşimleri, $M_{pl,Rd}$ moment dayanımı ve $V_{G,Sd} + V_{M,Sd}$ kesme kuvveti için yeterli derecede dayanıma sahip olmalıdır.

4.3.5 Merkezi Güçlendirilmiş Çerçeveler İçin Ayrıntılı Kurallar

Temel Kriterler

Merkezi güçlendirilmiş çerçevelerde, çekmeye çalışan çaprazlardaki akma, kiriş veya kolonlardaki, akma veya burkulma ya da birleşimlerin göçmesinden önce oluşmalıdır. Güçlendirilmiş çerçevelerin her çapraz elemanı, yön değiştiren yükler altında, her katta ve her çapraz doğrultusunda benzer şekil değiştirme özellikleri göstermelidir. Bunun için kattan kata aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır.

$$\frac{\left| A^{+} - A^{-} \right|}{A^{+} - A^{-}} \leq 0,05 \qquad \textbf{(4.12)}$$

A^{+} , A^{-} : Yatay deprem yükü sırasıyla (+) ve (-) yönden gelirken, çekme çaprazlarının yatay izdüşüm alanları.

Çapraz Elemanlar:

Elastik burkulmayı önlemek için boyutsuz narinlik ;

$$\bar{\lambda} \leq 1,5 \qquad \textbf{(4.13)}$$

ile sınırlandırılır[3]

N_{Sd} çekme kuvveti, brüt en-kesitin akma dayanımı $N_{pl,Rd}$ ile sınırlandırılmalıdır.
V-Güçlendirmeli Sistemlerde basınç çaprazları Eurocode 3'e göre tasarlanmalıdır.
Çaprazların herhangi bir elemanla birleşiminde bütün dayanım şartları sağlanmalıdır.

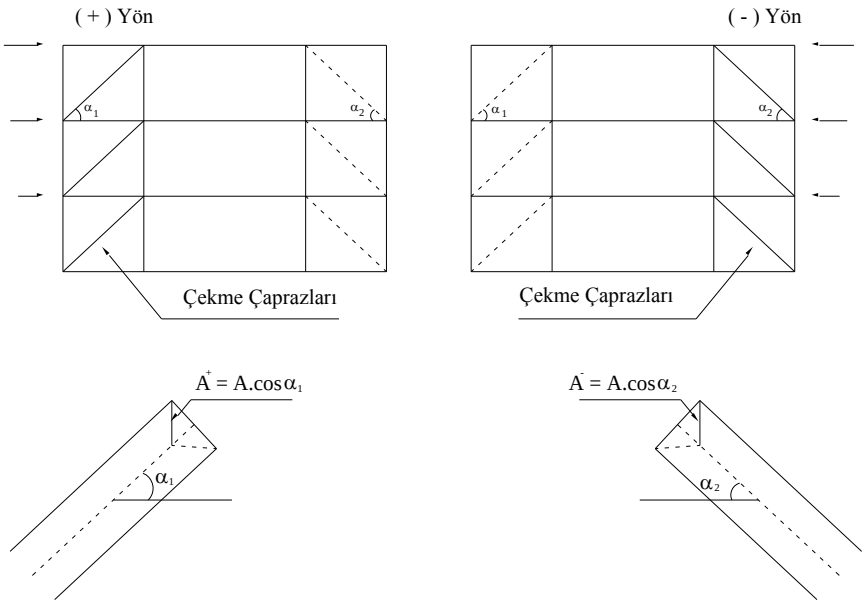
$$R_d \geq 1.2 * N_{pl,Rd} \qquad \textbf{(4.14)}$$

$N_{pl,Rd}$: Çapraz elemanın çekmede ve basınçta eksenel dayanımı.

Kirişler ve Kolonlar:
Eksenel yük etkisinde, kirişler ve kolonlar aşağıdaki minimum dayanım

$$N_{Rd}(M) \geq 1,2 \left(N_{Sd,G} + a . N_{Sd,E}\right) \qquad \textbf{(4.15)}$$

koşullarını sağlamalıdır.



Şekil 4.4 Çekme Çaprazları

N_{Rd} (M) : Kiriş yada kolonun Eurocode 3'e göre burkulma dayanımı

$N_{Sd,G}$: Sismik dizayn yük kombinasyonunda sismik olmayan hareketlerden dolayı kirişlerde veya kolonlarda oluşan eksenel kuvvet

$N_{Sd,E}$: Önem faktörü çarpanıyla çarpılmış dizayn deprem yüküne bağlı olarak kirişte veya kolonda oluşan eksenel kuvvet.

α: Güçlendirme sistemindeki tüm çaprazlarda $\alpha_i = N_{pl,Rdi} / N_{Sdi}$ değerinin en küçük değeri

$N_{pl,Rdi}$: i çaprazının dizayn dayanımı

N_{Sdi}: Sismik tasarım yük durumu için aynı i çaprazındaki tasarım eksenel yük değeri

V-Güçlendirmelerinde kirişler, tüm sismik olmayan hareketlere dayanacak şekilde, çaprazların ortadan verdikleri destek göz önüne alınmaksızın tasarlanmalıdır.

4.3.6 Dış Merkez Güçlendirilmiş Çerçeveler İçin Ayrıntılı Kurallar

Temel Kriterler:

Dış merkez güçlendirilmiş çerçeveler, kirişlerin plastik eğilme ve/veya plastik kesme mekanizmaları oluşumlarıyla enerji yutabilecekleri düşünülerek tasarlanacaktır. Bundan sonra verilecek kurallarda, kirişlerdeki plastik mafsallar veya kesme panelleri, diğer yerlerdeki akmalardan veya göçmelerden önce olmalıdır.

Kirişler:

Kirişlerin plastik mafsal oluşumu ile enerji yutabilmesi için yukarıda tanımlanan kuralların sağlanması gerekmektedir. Kirişlerin çerçevelenmiş gövde panellerinde, plastik kesme mekanizmasının oluşmasıyla enerji yutabilmesi için aşağıdaki kuralları sağlaması gerekmektedir.

$$\frac{V_{Sd}}{V_{wp,Rd}} \le 1,0 \qquad \textbf{(4.16)}$$

$$\frac{M_{Sd}}{M_{pl,Rd}} \le 0.70 \qquad \textbf{(4.17)}$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \le 0,15 \qquad \textbf{(4.18)}$$

Kolonlar ve Çapraz Elemanlar:

Kolonlar ve çapraz elemanlar, basınç altında en elverişsiz eksenel kuvvet ve eğilme momentleri kombinezonu dikkate alındığında aşağıdaki koşulu sağlamalıdır.

$$N_{Rd}(M_{Sd},V_{Sd}) \geq 1,2\,(N_{Sd,G} + a\,.N_{Sd,E}) \qquad \textbf{(4.19)}$$

$N_{Rd}(M_{Sd},V_{Sd})$: Kolonun veya çapraz elemanın Eurocode 3'e göre eksenel kuvvet dizayn dayanımı,

$N_{Sd,G}$: Sismik dizayn yük kombinasyonunda sismik olmayan hareketlerden dolayı kolonlarda veya çaprazlarda oluşan basınç kuvveti,

$N_{Sd,E}$: Önem faktörü çarpanıyla çarpılmış dizayn deprem yüküne bağlı olarak kolonda veya çaprazda oluşan basınç kuvveti,

α: Güçlendirme sistemindeki tüm enerji yutucu bölgelerde $\alpha_i = N_{pl,Rdi} / N_{Sdi}$ ve $\alpha_i = M_{pl,Rdi} / M_{Sdi}$ değerlerinin en küçük değeri,

$V_{pl,Rdi}$: i kirişinin plastik bölgesinin dizayn kesme kuvveti,

V_{sdi}: Sismik yük durumunda i kirişinin plastik bölgesinin dizayn kesme kuvveti ,

$M_{pl,Rdi}$: i kirişinin plastik bölgesinin dizayn eğilme momenti,

M_{Sdi}: Sismik yük durumunda i kirişinin plastik bölgesinin tasarım eğilme momenti.

4.3.7 Konsol veya Ters Pandül Yapılar İçin Ayrıntılı Kurallar

Yapının boyutsuz narinliği

$\bar{\lambda} \leq 1,5$ Olarak sınırlandırılmıştır

Kolonun katalar arası rölatif yer değiştirme hassaslık katsayısı

$q \leq 1,5$ Olacak şekilde sınırlandırılmıştır.

Konsol yapılarda kolonlar ve temelleri kontrol edilmelidir.

Kolonun temele bağlandığı taban birleşiminde M_{Rd} dayanımı; aşağıdaki şartı sağlamalıdır

$$M_{Rd} \geq 1,20 * M_{pl,Rd} * (1 - \frac{N_{Sd}}{Npl,Rd}) \quad \textbf{(4.20)}$$

4.3.8 İkili Yapılar İçin Ayrıntılı Kurallar

Moment taşıyıcı çerçeveler ve güçlendirilmiş çerçeveler beraber olarak bulunuyorsa, aynı yönde çalışırlar, yatay kuvvet kendi elastik rijitlikleri oranında aralarında dağılır.

4.3.9 Karma Yapılar İçin Ayrıntılı Kurallar

Dolgu duvarlar çerçeve elemanının süneklik gereksinimini arttırmamak için boy kesit boyunca düzgün olarak dağıtılmalıdır. Eğer bu sağlanamazsa bina boy kesit olarak düzensiz olarak kabul edilir.

Çerçeve-dolgu etkileşimi kiriş ve kolonlardaki iç kuvvetleri bulurken göz önünde bulundurulmalıdır.

4.3.10 Dizayn ve Yapı Kontrolü

- İmalat ve yapı için yapılan planlar, birleşim detayları, bulonların çaplarını ve kalitelerini ve kaynakları ayrıca elemanların çelik sınıfını ve enerji yutucu bölgedeki izin verilen maksimum akma değeri f_y'yi göstermelidir.
- İmalat sırasında gerçekte kullanılan çeliğin akma dayanımı, tasarım akma dayanımın %10'undan daha fazla olmayacaktır.
- Yapım sırasında, akma dayanımının yapının her yerine dağılımı tasarımda kabul edilen değerden çok farklı olmayacaktır.

$$(\max r_i - \min r_i) £ 0.2 \quad \textbf{(4.21)}$$

İfadesi sağlandığı takdirde bu şart sağlanır.

$$r_i : f_{yri} / f_{yi} \quad \textbf{(4.22)}$$

f_{yri}: Gerçek akma dayanımı

f_{yi}: Tasarım akma dayanımı

Yapım sırasında, tasarımda alınan rijitlik ve dayanım değerlerinin %10'dan fazla azalmamalı veya artmamalıdır

Yukarıdaki kurallardan biri sağlanmadığı zaman, yapının yeni hesaplamaların ayrıntıları ve yönetmeliğe uygunluğu gösterilmelidir.

Bulonların sıkılığının ve kaynak kalitesinin kontrolü için EN 10910 yönetmeliğindeki kurallara uyulmalıdır.

4.4 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Çelik Yapılar Hakkında Kurallar

Deprem bölgelerinde yapılacak tüm çelik binaların taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması ve birleşimlerinin düzenlenmesi, bu konuda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte, öncelikle bu bölümde belirtilen özel kurallara uyularak yapılacaktır. Bu bölümün kapsamı içindeki çelik binaların yatay yük taşıyıcı sistemleri; sadece çelik çerçevelerden, sadece çelik çaprazlı perdelerden veya çerçevelerin, çelik çaprazlı perdeler yada betonarme perdelerle birleşiminden oluşabilir.

4.4.1 Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Sınıflandırılması

Depreme karşı davranışları bakımından, çelik binaların yatay yük taşıyıcı sistemleri, aşağıda tanımlanan iki sınıfa ayrılmıştır. Bu iki sınıfa giren sistemlerin karma olarak kullanılmasına ilişkin özel durum ve koşullar, daha önceki bölümlerde verilmiştir. Aşağıda belirtilen çelik taşıyıcı sistemler, süneklik düzeyi yüksek sistemler olarak tanımlanmıştır:

- 4.4.3 koşullarını sağlayan çerçeve türü taşıyıcı sistemler,
- 4.4.4 koşulları sağlayan dışmerkez çaprazlı çelik perdelerden oluşan yatay yük taşıyıcı sistemler,
- Yukarıda belirtilen iki tür sistemin birleşiminden oluşturulan çaprazlı çelik perdeli -çerçeveli sistemler.

Aşağıda belirtilen çelik taşıyıcı sistemler, Süneklik Düzeyi Normal Sistemler olarak tanımlanmıştır:

- 4.4.5'te belirtilen koşulları sağlayan çerçeve türü taşıyıcı sistemler
- 4.4.6'da belirtilen koşulları sağlayan merkezi çaprazlı çelik perdelerden oluşan yatay yük taşıyıcı sistemler,
- Yukarıda belirtilen iki tür sistemin birleşiminden oluşturulan çaprazlı çelik perdeli -çerçeveli sistemler.

4.4.2. Emniyet Gerilmeleri, Yük ve Malzeme Güvenlik Katsayıları

Emniyet Gerilmeleri Yöntemi'ne göre yapılan kesit hesaplarında, birleşim ve ekler dışında, emniyet gerilmeleri için TS-648'deki EİY yükleme durumunda izin verilen %15 arttırım, deprem durumunda en fazla %33'e çıkarılabilir. Taşıma Gücü Yöntemi'ne göre yapılan kesit hesaplarında, deprem etkisini içeren yükleme durumları için TS-4561'deki yük katsayıları aşağıdaki şekilde değiştirilecektir:

$$1.0\ G + 1.0\ Q \pm 1.0\ E \qquad \textbf{(4.23)}$$

veya daha elverişsiz sonuç vermesi durumunda,

$$0.9\ G \pm 1.0\ E \qquad \textbf{(4.24)}$$

Ayrıca, Taşıma Gücü Yöntemi ile TS-4561'e göre yapılacak hesaplarda çelik akma sınırına uygulanacak malzeme güvenlik katsayısı 1.15, betonarme-çelik kompozit döşemelerde beton karakteristik basınç dayanımına uygulanacak malzeme güvenlik katsayısı ise 1.5 olarak alınacaktır. Bütün deprem bölgelerinde kaynak emniyet gerilmesi veya taşıma gücü %25 oranında azaltılacaktır. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, şantiyede kaynaklı birleşim ve eklerin sertifikalı kaynakçı tarafından yapılması zorunludur.

4.4.3 Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeveler

En Kesit Koşulları:

Kesit hesapları TS-648'e göre emniyet gerilmeleri yöntemi ile yapılsa bile, tüm çerçeve elemanlarında başlık genişliği / kalınlığı ve gövde derinliği / kalınlığı oranları için TS–4561, Madde 2.5.4'de verilen koşullara uyulacaktır.

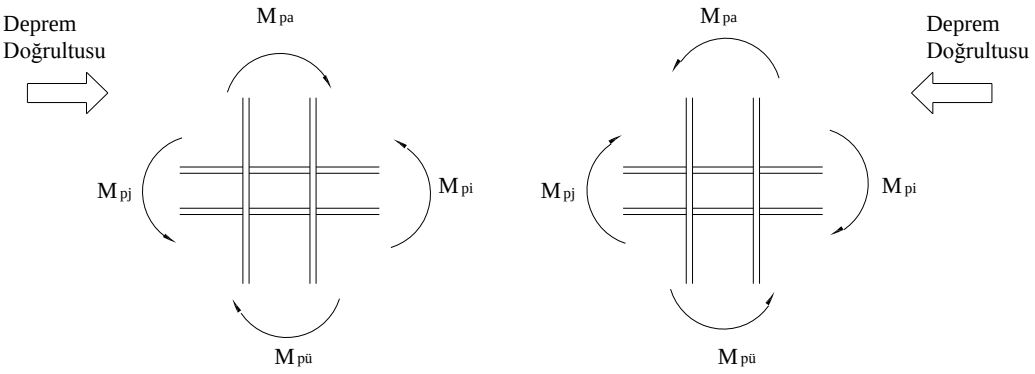
Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulu:

Çerçeve türü sistemlerde veya perdeli-çerçeveli sistemlerin çerçevelerinde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir kolon - kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların plastikleşme momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin plastikleşme momentleri toplamından daha büyük olacaktır (Şekil 4.4)

$$(M_{pa} + M_{pü}) \geq (M_{pi} + M_{pj}) \qquad \textbf{(4.25)}$$

Denklem.(4.25), depremin her iki yönü için elverişsiz sonuç verecek ţekilde ayrı ayrı uygulanır. 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 düğüm noktalarında Denk.(4.25)'in sağlanıp sağlanmadığına bakılmaz..



Şekil 4.5 Kolonların Kirişlerden Güçlü Olması

Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulunun Bazı Kolonlarda Sağlanamaması Durumu:

Sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın herhangi bir i'inci katında, aşağıdaki Denk.(4.26)'nın sağlanması koşulu ile, ilgili katın alt ve/veya üstündeki bazı düğüm noktalarında Denk.(4.25)'in sağlanamamış olmasına izin verilebilir.

$$\alpha_i = V_{is} / V_{ik} \geq 0.70 \qquad \textbf{(4.26)}$$

$\mathbf{V_{ik}}$ = Çerçeveli veya perdeli-çerçeveli sistemlerin çerçevelerinde, binanın i'inci katındaki tüm kolonlarda göz önüne alınan deprem doğrultusunda hesaplanan kesme kuvvetlerinin toplamı

$\mathbf{V_{is}}$ = Çerçeveli veya perdeli-çerçeveli sistemlerin çerçevelerinde, binanın i'inci katında hem alttaki hem de üstteki düğüm noktalarında sağlandığı kolonlarda, göz önüne alınan deprem doğrultusunda deprem hesabında bulunan kesme kuvvetlerinin toplamı.

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

Denk.(4.26)'nın sağlanması durumunda, $0.70 < \alpha_i < 1.00$ aralığında, Denk. (4.25)'in hem alttaki, hem de üstteki düğüm noktalarında sağlandığı kolonlara etkiyen eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri ($1/\alpha_i$) oranı ile çarpılarak arttırılacaktır. Herhangi bir katta Denk.(4.26)'nın sağlanamaması durumunda, sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerdeki tüm çerçeveler süneklik düzeyi normal çerçeve olarak göz önüne alınacak ve Tablo 4.1'e göre Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı değiştirilerek hesap tekrarlanacaktır. Ancak süneklik düzeyi normal çerçevelerin, süneklik düzeyi yüksek perdelerle bir arada kullanılması da mümkündür.

Çerçevelerde Ek ve Birleşimler:

Çerçevelerin kolon-kiriş birleşimlerinde kolon sürekli olacaktır. Kirişin kolon kesitinin başlığına bağlanması durumunda kolon gövdesi kiriş başlığı seviyesinde berkitme levhaları ile güçlendirilecektir. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, eğilme aktaran birleşim ve eklerde kaba bulon kullanılamaz. Ancak, öngermeli olarak kullanılan yüksek dayanımlı bulonlar ve ankraj bulonları bu kısıtlamanın dışındadır. Yüksek dayanımlı bulonlar ISO 8.8 veya 10.9 kalitesinde olacaktır. Kolon ekleri, kolon-kiriş birleşim yerinden en az kat yüksekliğinin 1/4'ü kadar uzakta yapılacaktır. Eklerin küt kaynakla yapılması durumunda, kaynak ağzı açılacak ve derin penetrasyonlu kaynak kullanılacaktır. Köşe kaynaklı yada öngermesiz bulonlu kolon-kiriş birleşimlerinin yük aktarma gücü, birleşime bağlanan elemanın taşıma gücünün 1,20 katından daha az olamaz. Diğer tür kolon-kiriş birleşimlerinde, birleşimin yük aktarma gücü, birleşime bağlanan elemanın kendi taşıma gücünden hiçbir zaman daha az olamaz. Kiriş ekleri, kolon-kiriş birleşim yerinden en az kiriş yüksekliği kadar uzakta yapılacaktır..

4.4.4 Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çaprazlı Perdeler

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

- Örgü çubuklarının kolon-kiriş birleşim noktasına yada iki örgü çubuğunun bir kiriş üzerindeki ortak birleşim noktasına göre dışmerkezliği, perde kolonları

arasındaki açıklığın 1/5'i ile 1/10'u arasında seçilecektir. Dışmerkez örgü çubuklarının kirişle birleşme noktalarında, kirişin yanal burkulmasının ve ayrıca yerel burkulmaların önlenmesi için gerekli önlemler alınacaktır.

- Örgü çubuklarının kolonlara bağlandığı çaprazlı perdelerde, bağlantı kolon kesitinin başlığına yapılacaktır. Kolon gövdesine bağlantı yapılamaz.
- Basınç kuvveti de alacak şekilde hesaplanan örgü çubuklarının narinlik oranı 100'den fazla olamaz.
- Birden çok parçalı olup basınç kuvveti de alan örgü çubuklarında, TS-648'in ara bağlantılara ilişkin tüm kuralları geçerlidir.
- Örgü çubuklarının birleşimlerinde kaba bulon kullanılması durumunda, bulonların emniyet gerilmeleri %33 azaltılacaktır

4.4.5 Süneklik Düzeyi Normal Çerçeveler

- Süneklik düzeyi normal çerçevelerde, süneklik düzeyi yüksek çerçeveler için yukarıda verilen koşullara uyulması zorunlu değildir.
- Süneklik düzeyi normal çerçevelerde ek ve birleşimlerin hesabında**,** Bölüm 3'e göre bulunan iç kuvvetlerin iki katı kullanılacaktır.

4.4.6. Süneklik Düzeyi Normal Çelik Çaprazlı Perdeler

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

- Çaprazların sadece çekmeye çalışmak üzere hesaplanması durumunda, çapraz örgü çubuklarının narinlik oranı 250'yi aşmayacaktır.
- Basınç kuvveti de alacak şekilde hesaplanan örgü çubuklarının narinlik oranı 100'den fazla olamaz.
- Birden çok parçalı olup basınç kuvveti de alan örgü çubuklarında, TS-648'in ara bağlantılara ilişkin tüm kuralları geçerlidir.
- Örgü çubuklarının birleşimlerinde kaba bulon kullanılması durumunda, bulonların emniyet gerilmeleri %33 azaltılacaktır

5. EUROCODE 3'E GÖRE YAPILARIN BOYUTLANDIRILMASI

5.1 Genel

Eurocode 3 Bölüm 1-1'e göre kesit tesirlerinin hesabında elastik veya plastik analiz yöntemlerinden herhangi birine başvurulabilir. Elastik hesap yöntemleri seçildiğinde hesabın geçerlilik alanını sınırlayan bir kural yoktur.

Eurocode 3'e göre uygulamada kullanılacak olan sınır değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere kullanılan yapı çeliğinin nominal sınır değerleri elemanların başlık ve gövde kalınlıklarına göre farklılık göstermektedir.

Tablo 5.1 Yapı Çelikleri İçin Nominal Akma Ve Kopma Değerleri

	Yapı Çelikleri İçin Nominal Akma Ve Kopma Değerleri			
Nominal Çelik Sınıfı	Kalınlık (t) mm			
	$t \leq 40$ mm		$40 < t \leq 100$ mm	
	$f_y(N/mm^2)$	$f_y(N/mm^2)$	$f_y(N/mm^2)$	$f_y(N/mm^2)$
Fe 360	235	360	215	340
Fe 430	275	430	255	410
Fe 510	355	510	335	490

Yapı Çeliğinin mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir.

E, Elastisite Modülü = $210.000\ N/mm^2$

G, Kayma Modülü = $E/2(1+n)$

n ,Poisson Oranı = 0,3

a , Sıcaklık Katsayısı = $12*10^{-6}/C^o$

r , Birim Ağırlığı = $7850kg/m^3$

5.2. Kullanılabilirlik Limit Durumu

Deformasyonlar ve sehimler yapının kullanımını etkileyeceği veya kötü görünüm oluşturacağı için bu değerlere sınırlandırılmalar getirilmiştir. Sehim için izin verilen değerler aşağıda verilmiştir. Bu değerler ampirik ifadeler olduğu için istenilen performans düzeyi için hesaplanan değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir.

5.2.1 Sehim Limit Değerleri

$$d_{max} = d_1 + d_2 + d_0 \quad \textbf{(5.1)}$$

Burada;

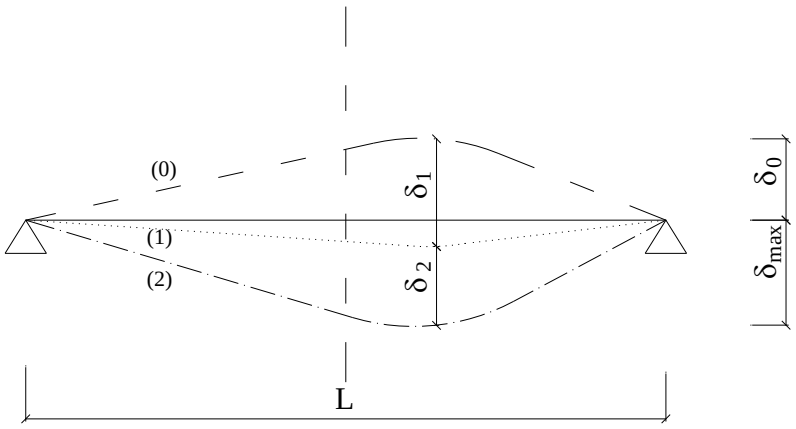
d_{max} : 2 mesnet noktasının aksı ile düşeyde oluşan sehim farkı

d_0 : Negatif eğilme momentinden dolayı oluşabilecek ters sehim

d_1 : Yükleme yapıldıktan hemen sonra oluşan sehim

d_2 : Değişken yükler altında kirişte oluşan sehim

Sehim miktarı çeşitli yapı elemanları için tablo 5.2'ye göre sınırlandırılmıştır.



Şekil 5.1 Sehim Büyüklükleri

Tablo 5.2 Sehim Limit Değerleri

Durum	dmax	d2
Çatılar	L/200	L/250
Sık Sık Kullanılan Çatılar	L/250	L/300
Döşemeler	L/250	L/300
Çatılar ve Döşemeler (Kırılgan bir malzeme ile kaplanmışsa)	L/250	L/350
Kolon basan Döşemeler	L/400	L/500
Sehim Görüntüyü Bozma Değeri	L/250	

Binalar için yatay sehim değerleri de aşağıdaki gibi verilmiştir.

- Ana Kapı Çevrelerinde h / 150
- Tek Katlı Yapılarda h / 300

- Çok Katlı Yapılarda
  - Her Katta $h / 300$
  - Binanın Toplamında $h_0 / 500$

olarak sınırlandırılmıştır.

5.3. Taşıma Sınır Durumu

5.3.1 Genel

Çelik yapılar ve bileşenleri için kısmi bir güvenlik faktörü g_M göz önünde bulundurulur.

Bu g_M değerleri çelik yapı elemanları için aşağıdaki değerleri alır.

- Sınıf 1,2,3 enkesitlerin dayanımı için $g_{M0} = 1{,}1$
- Sınıf 4 enkesitler için $g_{M1} = 1{,}1$
- Burkulma elemanları için $g_{M1} = 1{,}1$
- Bulon deliklerinde net kesit dayanımı $g_{M2} = 1{,}25$

5.3.2 Çerçeve Tasarımı

Çerçeveler;

- Kesit dayanımına göre
- Elemanın dayanımına göre
- Birleşimlerin dayanımına göre
- Çerçeve stabilitesine göre
- Statik dengeye göre

tasarımları yapılır.

Kesitlerin ve elemanların dayanımı kontrol edilirken çerçevenin analizinden elde edilen kesit zorları dikkate alınarak boyutlandırma yapılır.

Çekmeye çalışan elemanlarda

- Kesit dayanım kontrolü

Basınca çalışan elemanlarda

- Kesit dayanım kontrolü
- Burkulma kontrolü yapılmalıdır.

Kirişlerde;

- Kesit dayanımı
- Yanal burulma burkulması
- Kesme burkulması
- Başlıkların burkulma kontrolü
- Gövdenin burkulma dayanımının kontrolünün yapılması gerekmektedir.

Eksenel yük ve moment etkisindeki elemanlarda;

- Kesitler
- Elemanlar için kontroller yapılması gerekir.

Ayrıca kirişlerde, çekme elemanları ve basınç elemanları için yapılan kontroller yapılmalıdır.

5.3.3 Yorulma Etkilerinin Kontrolü

Yapıya uygulanan tekrarlı azalıp artan yükler için elemanın yorulma kontrolünün yapılması gerekmektedir. Normal yapılar için genellikle yorulma kontrolü yapılmasına gerek yoktur.

5.3.4 İç Kuvvetler ve Momentlerin Hesabı

İç kuvvetler ve momentler elastik global analiz veya plastik global analiz kullanılarak elde edilirler.

Elastik global analiz bütün yapı tipleri için uygulanabilirler. Plastik global analiz ise sadece gerekli şartları sağlayan yapı tipleri için uygulanabilir.

Deformasyon Etkileri:

İç kuvvetler ve momentler 1. Mertebe Teorisine göre veya şekil değiştirmelerin sistem geometrisi üzerindeki etkileri göz önüne alan 2. Mertebe Teorisine göre hesaplanabilir.

Birinci mertebe teorisi;

- Güçlendirilmiş Çerçevelerde
- Yatay hareketi engellenmiş çerçevelerde
- İkinci mertebe etkilerine izin verilen tasarım yöntemlerinde uygulanabilir.

İkinci mertebe teorisi ise bütün yapı tipleri için uygulanabilir.

Elastik Global Analiz:

Elastik global analiz basınç-yer değiştirme eğrisinin lineer olduğu kabulüne dayanır. Bu teori kesit dayanımının plastik duruma geldiğinde bile birinci mertebe ve ikinci mertebe teorisinde kullanılır.

Birinci mertebe elastik analizde hesaplanan eğilme momentleri, en yüksek moment %15 arttırılarak tekrar dağıtılır.

5.4 Enkesitlerin Sınıflandırılması

Elastik global analiz kullanıldığı durumlarda kesitin yerel burkulmaya karşı dayanımının sağlandığı her tür kesit kullanılabilir.

5.4.1 Enkesit Sınıfları

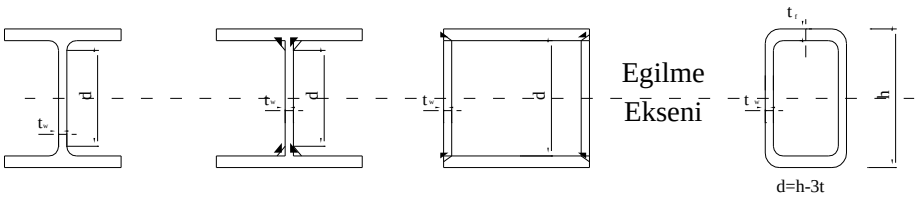
Enkesitler aşağıda görüldüğü gibi sınıflandırılmıştır.

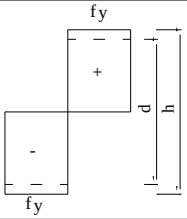
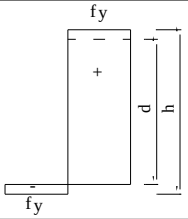
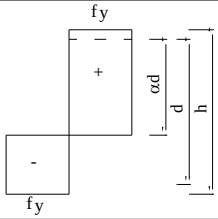
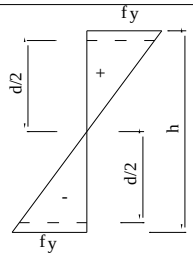
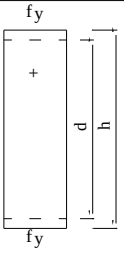
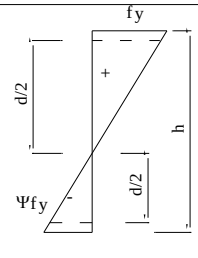
- Sınıf 1 Enkesitler: Plastik mafsal oluşumu için gerekli dönme kapasitesine sahip olan kesitlerdir.
- Sınıf 2 Enkesitler: Plastik moment kapasitesi yüksek, dönme kapasitesi düşük olan kesitlerdir.
- Sınıf 3 Enkesitler: Yüksek basınç altında çelik lifleri akma kapasitesine ulaşan fakat plastik moment dayanımına yerel burkulmaya maruz kalmalarından dolayı olaşamayan kesitlerdir.
- Sınıf 4 Enkesitler: Moment dayanımının veya basınç dayanımının elde edilmesi için yerel burkulma etkilerinin göz önünde bulundurulması gereken enkesitlerdir.

Sınıf 4 enkesitlerde yerel burkulmalar nedeniyle dayanımda meydana gelen azalmayı dikkate almak için bu sınıf enkesitlerde efektif genişlik kullanılmalıdır.

5.4.2 Elastik Global Analiz Kullanıldığında Enkesit Gereksinimleri

Bütün basınç kesitleri sınıf 2 olduğu durumda kesitin plastik moment taşıma kapasitesi arttırılabilir. Bütün basınç kesitleri sınıf 3 olduğu durumda ise en uçtaki çelik lif, akma sınırına ulaşacak şekilde kesit içinde elastik gerilme dağılımı yapılır



Kesit Sınıfı	Gövde Egilmeye Maruz Kalıyorsa	Gövde Basınca Maruz Kalıyorsa	Gövde Egilmeye ve Basınca Maruz Kalıyorsa
Gerilme Dagılımı			
1	$d / t_w \le 72\,\varepsilon$	$d / t_w \le 33\,\varepsilon$	$\alpha > 0{,}5$ ise $d / t_w \le 396\,\varepsilon / (13\alpha - 1)$ $\alpha < 0{,}5$ ise $d / t_w \le 36\,\varepsilon / (13\alpha - 1)$
2	$d / t_w \le 83\,\varepsilon$	$d / t_w \le 38\,\varepsilon$	$\alpha > 0{,}5$ ise $d / t_w \le 396\,\varepsilon / (13\alpha - 1)$ $\alpha < 0{,}5$ ise $d / t_w \le 36\,\varepsilon / (13\alpha - 1)$
Gerilme Dagılımı			
3	$d / t_w \le 124\,\varepsilon$	$d / t_w \le 42\,\varepsilon$	$\Psi > -1$ ise $d / t_w \le 42\,\varepsilon / (0{,}67 + 0{,}33\,\Psi)$ $\Psi < -1$ ise $d / t_w \le 62\,\varepsilon / (1-\Psi)(-\Psi)^{0,5}$

$\varepsilon = (235/f_y)^{0,5}$	f_y	235	275	355
	ε	1	0,92	0,81

Şekil 5.2 Maksimum Genişlik-Kalınlık Oranı

5.4.3 Sınıf 4 Enkesitler İçin Efektif Kesit Özellikleri

Bu sınıftaki kesitler için efektif kesit özellikleri basınca çalışan elemanın genişliğine dayanır. Şekil (5.3) ve (5.4)'te verilmiştir.

Azaltma faktörü r 'nun değeri yaklaşık olarak aşağıda verilmiştir.

$\bar{l}_p \pounds 0,673 \Rightarrow r = 1,0$ **(5.2)**

$\bar{l}_p \geq 0,673 \Rightarrow r = (\bar{l}_p - 0,22)/(\bar{l}_p)^2$ olarak azaltma faktörü bulunabilir.

$\bar{l}_p$ değeri aşağıdaki formüle göre bulunabilir.

$$\bar{l}_p = (f_{yd}/s_{cr})0,5 = (\bar{b}/t)/28,4e\sqrt{k_s} \quad \textbf{(5.3)}$$

Burada;

t: Kalınlık

s_{cr} : Düzlem burkulma yükü

Ψ: Gerilme oranına bağlı olarak elde edilen burkulma faktörü

$\bar{b}$: Uygun genişliktir. $\bar{b}$ 'nin kesit tiplerine göre değerleri aşağıda verilmiştir.

$\bar{b}$ = d, gövdede

$\bar{b}$ = b, başlıkta (dikdörtgen ve kutu profiller hariç)

$\bar{b}$ =b-3t, dikdörtgen profillerin başlıkları

$\bar{b}$ =c, kesitlerin dışarıda kalan kısımları

$\bar{b}$ = (b+h)/2, eş kenarlı köşebent olduğu durumda

$\bar{b}$ =h veya (b+h)/2, farklı kenarlı köşebentlerde

Genellikle efektif kesit alanlarının merkezi ekseni kesitin merkez ekseninden e_N kadar uzaktadır. Efektif kesitin özellikleri hesaplanırken bu e_N mesafesinin de hesaba katılması gerekmektedir. Eğer kesit üzerinde bir eksenel normal kuvvet mevcutsa ilave bir DM momenti ortaya çıkacaktır.

$DM = N.e_N$

5.4.4 Enine Kuvvetlerin Gövde Üzerinde Etkisi

Enine basınç gerilmelerinin önemli etkileri gövdenin yerel burkulma hesabında göz önüne alınmalıdır. Bu enine gerilmeler elemanların birleşim bölgelerinde artabilirler. Enine basınç gerilmeleri tablolarda verilen sınıf 1,2,3 enkesitlerin maksimum derinlik/genişlik oranının değerini efektif olarak düşürebilir.

5.5 Kesitlerin Dayanımı

5.5.1 Genel

Kesitlerin;

- Brüt kesit alanının plastik dayanımına göre
- Kesme etkilerine göre
- Yerel burkulma dayanımına göre
- Kesme burkulması dayanımına göre

dayanımları sınırlandırılır.

Kesitin plastik dayanımı, kesitin iç kuvvetlerinin plastik deformasyonlar da göz önüne alarak akma sınırı aşılmayacak şekilde kesitteki gerilme dağılımı bulunarak gösterilir.

5.5.2 Kesit Özellikleri

Brüt Kesit:

Brüt kesit, belirtilen boyutlar kullanılarak elde edilir. Bulon veya perçin için açılan delikler, kesitin özelliklerine dahil edilmesine gerek yoktur. Ayrıca birleşim elemanın kesit özelliklerine dahil edilmezler.

Net Alan:

Kesitin net alanı, kesitin bütün alanından bulon veya perçin deliklerinin çıkarılması ile elde edilen alandır. Net kesit özellikleri hesaplanırken kesit alanında bulon yada perçin deliğinin kendi düzlemindeki alanı çıkarılır. Havşalı delikler belirli bir orana kadar net kesit hesabı yapılırken dikkate alınmazlar.

Eğer bulon veya perçin delikleri şaşırtmalı olarak açılmamışsa bu durumda net kesit alanı bulunurken elemanın eksenine dik olan herhangi bir kesitte delik alanları toplamının maksimum değeri kesit alanından çıkarılır.Delikler şaşırtmalı olarak

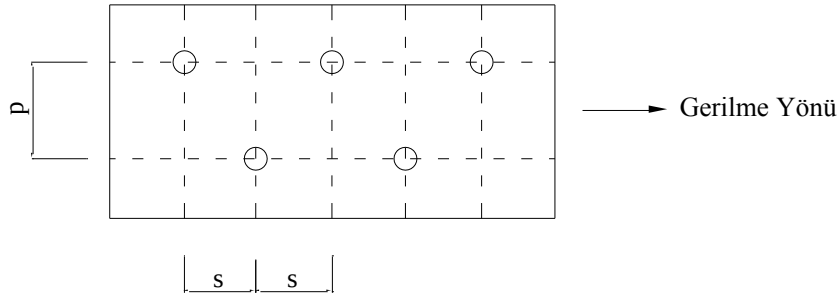
yerleştirildiği durumlarda gereken delik alanı aşağıdakilerden büyük olanı kadar olmalıdır.

- Şaşırtmalı olmayan deliklerin kesit alanı toplamı
- Eleman veya elemanın bir parçası boyunca aralıksız olarak uzanan diyagonal veya zig-zag yırtılma çizgisindeki deliklerin kesit alanları toplamından, delik zincirinde her üçlüm boşluğu için $s^2t/(4p)$ ilave edilir.

t: Kalınlık

s: Eleman eksenine paralel olarak ölçülen iki delik merkezi arasındaki mesafe

p: Eleman eksenine dik olarak ölçülen aynı iki delik merkezi arasındaki mesafe



Şekil 5.3 Yırtılma Çizgisi

Kesme-Lag Etkisi:

Kesme-lag etkisi elemanın başlıklarının gövdesinden çok fazla gerilmeye maruz kalmasına denir. Aşağıdaki durumlarda ihmal edilebilecek düzeydedir.

$$c \leq L_0/20 \quad \textbf{(5.4)}$$

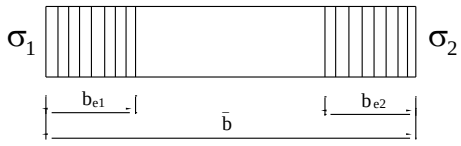
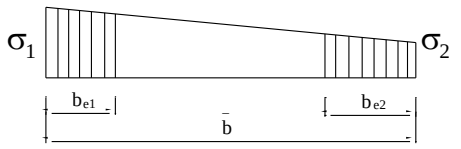
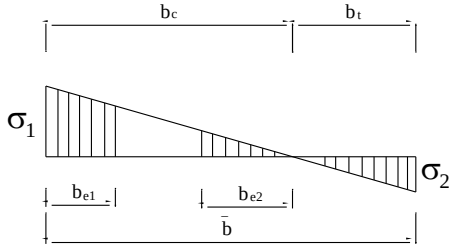
$$b \leq L_0/10 \quad \textbf{(5.5)}$$

L_0 : Moment sıfır noktasına olan uzaklık

b: genişlik-en

c: dış kısım uzunluğu

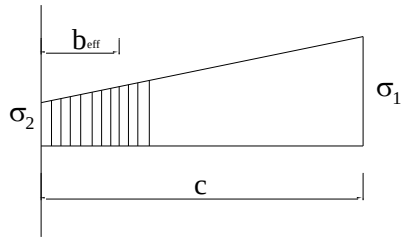
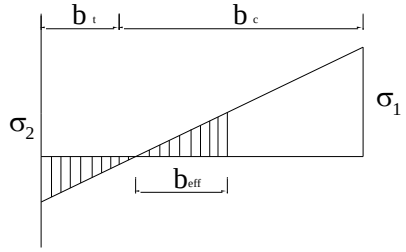
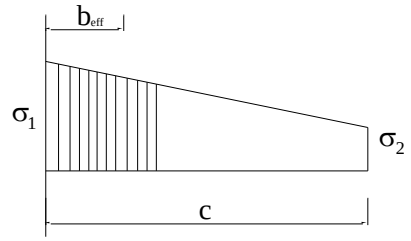
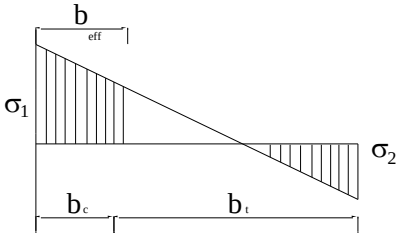
Eğer bu sınırlar aşılırsa kesit başlıkları için efektif genişlik kullanılması gerekmektedir.

Basınca Çalışan İç Eleman	
Gerilme Dağılımı	Efektif Genişlik b_{eff}
	$\Psi = 1$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0{,}5\, b_{eff}$ $b_{e2} = 0{,}5\, b_{eff}$
	$1 > \Psi > 0$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2\, b_{eff}}{5-\Psi}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$
	$\Psi < 0$ $b_{eff} = \rho\, b_c = \rho\, \bar{b}/(1-\Psi)$ $b_{e1} = 0{,}4\, b_{eff}$ $b_{e2} = 0{,}6\, b_{eff}$

$\Psi = \sigma_1/\sigma_2$	1	$1 > \Psi > 0$	0	$0 > \Psi > -1$	-1	$-1 > \Psi > -2$
Burkulma Faktörü k_σ	4,0	$\frac{8{,}2}{1{,}05+\Psi}$	7,81	$7{,}81 - 6{,}29\Psi + 9{,}78\Psi^2$	23,9	$5{,}98(1-\Psi)^2$

Alternatif olarak $1 > \Psi > 1$ $\quad k_\sigma = \frac{16}{[(1+\Psi)^2 + 0{,}112(1-\Psi)^2]^{0{,}5} + (1+\Psi)}$

Şekil 5.4 Basınca Çalışan İç Elemanlar

<table>
<tr><td colspan="6">Basınca Çalışan Dış Eleman</td></tr>
<tr><td colspan="3">Gerilme Dağılımı</td><td colspan="3">Efektif Genişlik b_{eff}</td></tr>
<tr><td colspan="3">
</td><td colspan="3">$1> \Psi >0$
$b_{eff} = \rho\ c$</td></tr>
<tr><td colspan="3">
</td><td colspan="3">$\Psi < 0$
$b_{eff} = \rho\ b_c = \rho\ c/(1-\Psi)$</td></tr>
<tr><td>$\Psi = \sigma_1/\sigma_2$</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td colspan="2">$1> \Psi >-1$</td></tr>
<tr><td>Burkulma Faktörü k_σ</td><td>0,43</td><td>0,57</td><td>0,85</td><td colspan="2">$0,57-0,21\ \Psi + 0,07\Psi^2$</td></tr>
<tr><td colspan="3">
</td><td colspan="3">$1> \Psi >0$
$b_{eff} = \rho\ c$</td></tr>
<tr><td colspan="3">
</td><td colspan="3">$\Psi < 0$
$b_{eff} = \rho\ b_c = \rho\ c/(1-\Psi)$</td></tr>
<tr><td>$\Psi = \sigma_1/\sigma_2$</td><td>1</td><td>$1> \Psi >0$</td><td>0</td><td>$0> \Psi >-1$</td><td>-1</td></tr>
<tr><td>Burkulma Faktörü k_σ</td><td>0,43</td><td>$\frac{0,578}{\Psi+0,34}$</td><td>1,70</td><td>$1,7-5\Psi + 17,1\Psi^2$</td><td>23,9</td></tr>
</table>

Şekil 5.5 Basınca Çalışan Dış Elemanlar

5.5.3 Çekme Durumu

Eksenel çekme durumunda olan elemanın her kesitinde $N_{sd} £ N_{t.Rd}$ koşulu sağlanmalıdır.

Burada;

N_{sd} : Çekme Kuvveti tasarım değeri

$N_{t.Rd}$: Kesitin tasarım çekme dayanımıdır. Aşağıdaki değerlerden küçük olanı $N_{t.Rd}$ değeri olarak alınır.

Brüt kesitin tasarım plastik dayanımı

$$N_{pl.Rd} = A_{fy} / g_{M0} \quad \textbf{(5.6)}$$

Net Kesitin Nihai Tasarım Dayanımı

$$N_{U.Rd} = A_{fy} / g_{M2} \quad \textbf{(5.7)}$$

Sünek davranışın istenildiği durumlarda plastik tasarım dayanımı $N_{pl.Rd}$ net kesitin nihai tasarım dayanımından $N_{U.Rd}$'den küçük olmalıdır.

$$N_{U.Rd} ³ N_{pl.Rd} b \quad \textbf{(5.8)}$$

Bu koşulun sağlanması için aşağıdaki şart sağlanmalıdır.

$$0,9(A_{net} / A) ³ (f_y / f_u).(g_{M2} / g_{M0}) \quad \textbf{(5.9)}$$

5.5.4 Basınç Durumu

Eksenel basınç durumunda olan elemanın her kesitinde $N_{sd} £ N_{c.Rd}$ koşulu sağlanmalıdır.

$N_{c.Rd}$: Kesitin tasarım çekme dayanımıdır. Aşağıdaki değerlerden küçük olanı değeri $N_{c.Rd}$ olarak alınır.

Brüt kesitin tasarım plastik dayanımı

$$N_{pl.Rd} = A_{fy} / g_{M0} \quad \textbf{(5.10)}$$

Brüt kesitin tasarım burkulma dayanımı

$$N_{o.Rd} = A_{eff} . f_y / g_{M1} \quad \textbf{(5.11)}$$

kesitin tasarım basınç dayanımı $N_{c.Rd}$ kesit sınıfı 1,2,3'te;

$$N_{c.Rd} = A.f_y / g_{M0} \quad \textbf{(5.12)}$$

kesit sınıfı 4'te ise;

$N_{c.Rd} = A_{eff}.f_y / g_{M1}$ olarak hesaplanır. **(5.13)**

Basınç elemanlarında çok büyük delikler haricinde bulon veya perçin deliklerinin hesaba katılmasına gerek yoktur.

5.5.5 Eğilme Momenti Durumu

Genel

Kesme kuvvetinin bulunduğu durumlarda eğilmem momentinin tasarım dayanımı M_{sd} elemanın her kesitinde

$$M_{sd} £ M_{c.Rd} \quad \textbf{(5.14)}$$

koşulunu sağlamalıdır. $M_{c.Rd}$ eğilme momentinin tasarım dayanımı olarak elemanın her kesitinde aşağıdaki değerlerden küçük olanı seçilmelidir.

Brüt kesitin plastik moment tasarım dayanımı

$$M_{pl.Rd} = W_{pl} f_y / g_{M0} \quad \textbf{(5.15)}$$

Kesitin yerel burkulma tasarım dayanımı

$$M_{0.Rd} = W_{eff} f_y / g_{M1} \quad \textbf{(5.16)}$$

W_{eff} : Efektif kesit modülü

$M_{u.Rd}$: Net kesitin nihai moment kapasitesi

Sınıf 3 kesitler için brüt kesitin tasarım moment dayanımı elastik tasarım dayanımı olarak alınabilir.

$$M_{el.Rd} = W_{el} f_y / g_{M0} \quad \textbf{(5.17)}$$

Tek Eksenli Eğilme Durumu:

Kesmeli eğilme olduğu durumlarda brüt enkesitin tasarım moment dayanımı

Sınıf 1ve 2 Kesitler İçin: $M_{c.Rd} = W_{pl} f_y / g_{M0}$ **(5.18)**

Sınıf 3 Kesitler İçin: $M_{c.Rd} = W_{el} f_y / g_{M0}$ **(5.19)**

Sınıf 4 Kesitler İçin: $M_{c.Rd} = W_{eff} f_y / g_{M1}$ olarak hesaplanır. **(5.20)**

Bulon ve Perçin Delikleri:

Çekme başlıklarında aşağıdaki şart sağlıyorsa bulon yada perçin deliklerinin hesaba katılmasına gerek yoktur.

$0,9(A_{f.net} / A)^3 \ (f_y / f_u).(g_{M2} / g_{M0})$ **(5.21)**

$A_{f.net} / A$ oranının limit durumdan küçük olması halinde başlık alanı düşürülerek bu oranın limit durumdan yüksek olması sağlanabilir. Yukarıdaki eşitsizliğin gövdenin çekme bölgesindeki delikler için yapılmasına gerek yoktur. Kesitin tamamının kontrolü yapılırken gövdedeki çekme bölgesi de hesaba dahil edilir. Basınç bölgesindeki delikler çok büyük boyutta olmadıkları sürece hesaba katılmasına gerek yoktur.

5.5.6 Kesme Durumu

Kesme tasarım dayanımı V_{sd} elemanın bütün kesitlerinde $V_{sd} £ V_{pl.Rd}$ şartını sağlamalıdır. $V_{pl.Rd}$ plastik kesme dayanımı aşağıdaki formülde verilmiştir.

$V_{pl.Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / g_{M0}$ **(5.22)**

A_v kesme alanı;

Dökme I ve H kesitlerinde gövdeye paralel olarak yük etkiyorsa

$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$ **(5.23)**

Dökme C kesitlerinde gövdeye paralel olarak yük etkiyorsa

$A_v = A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$ **(5.24)**

Kaynaklı I,H ve kutu kesitlerde gövdeye paralel yük etkiyorsa $A_v = å (d.t_w)$

Kaynaklı I,H ve kutu kesitlerde başlığa paralel yük etkiyorsa $A_v = A - å (d.t_w)$

diğer durumlarda da A_v kesme alanı benzer yollarla hesaplanır. A_v değeri için dökme I ve H kesitlerinde yaklaşık olarak $A_v = 1,04h.t_w$ formülü kullanılabilir. Gövde

kalınlığının değişken olduğu kesitlerde gövde kalınlığı olarak en küçük kalınlık seçilir. Ayrıca kesme burkulma dayanımı için

$d/t_w > 69e$ rijitleştirilmemiş kesit gövdelerinde

$d/t_w > 30e\sqrt{k_r}$ rijitleştirilmiş kesit gövdelerinde

k_r :kesme burkulma faktörü

$$e = (235/f_y)^{0,5} \qquad \textbf{(5.25)}$$

şartları sağlanmalıdır.

$A_{v.net} \geq (f_y/f_u)A_v$ şartı sağlanıyorsa delik kesitlerinin göz önüne alınmasına gerek yoktur. $A_{v.net}$ değeri limit değerden düşükse efektif kesme alanı $A_{v.eff} = (f_y/f_u)A_{v.net}$ olarak alınır.

5.5.7 Kesmeli Eğilme Durumu

Kesme durumunun bulunduğu kesitlerde plastik moment dayanımının teorik değeri düşer. Kesme değerinin küçük olduğu durumda bu kesme değerinden meydana gelen moment dayanımının düşmesi, kesmeden kaynaklanan pekleşme nedeniyle ihmal edilir. Kesme Kuvveti plastik kesme dayanımının yarısını geçerse kesme etkilerinin plastik moment taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri hesaplanmalıdır. Tasarım kesme kuvveti V_{sd}'nin, tasarım plastik kesme dayanımı $V_{pl.Rd}$'nin %50'sini aşmadığı durumlarda $(V_{sd} \leq 0,5V_{pl.Rd})$, tarsım moment dayanımında herhangi bir azalma söz konusu değildir. $V_{sd} \geq 0,5V_{pl.Rd}$ olduğu durumlarda plastik tasarım moment dayanımı değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

Eşit başlıklı kesitlerde eğilme ana eksende ise;

$$M_{v.Rd} = \left[W_{pl} - \frac{rA_v^2}{4t_w}\right] f_y / g_{M0} \qquad M_{v.Rd} \leq M_{c.Rd} \qquad \textbf{(5.26)}$$

$$r = (2V_{sd}/V_{pl.Rd} - 1)^2 \qquad \textbf{(5.27)}$$

Diğer durumlarda $M_{v.Rd}$, kesitin plastik moment dayanımı; kesme alanı için $(1- r)f_y$ ile küçültülerek hesaplanır.

5.5.8 Normal Kuvvet Eğilme Durumu

Normal kuvvet eğilme durumunda kesme kuvveti mevcutsa sınıf 1 ve sınıf 2 kesitler için

$$M_{sd} \leq M_{N.Rd} \quad \textbf{(5.28)}$$

şartı sağlanmalıdır. $M_{N.Rd}$, eksenel kuvvet için azaltılmış tasarım plastik moment dayanımıdır. Bulon deliklerinin olmadığı durumda azaltılmış plastik moment dayanımı $M_{N.Rd}$ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M_{N.Rd} = M_{pl.Rd}\left[1 - (N_{sd} / N_{pl.Rd})^2\right] \quad \textbf{(5.29)}$$

ve

$$\frac{M_{sd}}{M_{pl.Rd}} + \left(\frac{N_{sd}}{N_{pl.Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad \textbf{(5.30)}$$

şartı sağlanmalıdır.

Başlık bölgelerinde kesmeli eğilmede olduğu gibi küçük eksenel kuvvetlerden dolayı teorik plastik moment dayanımındaki azalma pekleşme tarafından karşılanır ve ihmal edilebilir. Fakat y-y eksenindeki eğilme durumunda eksenel kuvvet plastik moment dayanımını etkileyebilir. Eksenel kuvvet gövdede plastik çekme dayanımının yarısını veya tüm kesitte plastik çekme dayanımını geçerse, kesitteki plastik moment dayanımını etkiler. Benzer şekilde z-z eksenindeki eğilmede eksenel kuvvet gövdedeki plastik çekme aşarsa moment dayanımı etkilenir.

Bulon delikleri hesaba katılmadan dökme I ve H profilleri için aşağıdaki yaklaşımlar yapılabilir.

$$M_{Ny.Rd} = M_{pl.y.Rd}(1 - n)/(1 - 0{,}5a) \;,\; M_{Ny.Rd} \leq M_{pl.y.Rd} \quad \textbf{(5.31)}$$

$$n \leq a \text{ için } M_{Nz.Rd} \leq M_{pl.z.Rd} \quad \textbf{(5.32)}$$

$$n > a \text{ için } M_{Nz.Rd} = M_{pl.z.Rd}\left[1 - \left(\frac{n - a}{1 - a}\right)^2\right] \quad \textbf{(5.33)}$$

$$n = N_{sd} / N_{plRd} \text{ ve } a \leq 0{,}5 \rightarrow a = (A - 2bt_f) / A \quad \textbf{(5.34)}$$

Standart dökme I ve H profilleri için ifadeler aşağıdaki gibi basitleştirilmiştir.

$$M_{Ny.Rd} = 1{,}11 M_{pl.y.Rd}(1 - n), \qquad M_{Ny.Rd} \leq M_{pl.y.Rd} \quad \textbf{(5.35)}$$

$n \le 0,2$ için $M_{Nz.Rd} \le M_{pl.z.Rd}$ **(5.36)**

$n > 0,2$ için $M_{Nz.Rd} = 1,56M_{pl.z.Rd}(1- n)(n + 0,6)$ **(5.37)**

Delik kesitleri hesaba katılmadan sabit kalınlıklı dikdörtgen kutu kesitler için aşağıdaki yaklaşımlar kullanılabilir.

$M_{Ny.Rd} = M_{pl.y.Rd}(1- n)/(1- 0,5a_w)$, $M_{Ny.Rd} \le M_{pl.y.Rd}$ **(5.38)**

$M_{Nz.Rd} = M_{pl.z.Rd}(1- n)/(1- 0,5a_f)$, $M_{Nz.Rd} \le M_{pl.z.Rd}$ **(5.39)**

$a_w = (A- 2bt)/A$, $a_w \le 0,5$ **(5.40)**

$a_f = (A- 2ht)/A$ **(5.41)**

Sabit kalınlıklı dikdörtgen kutu kesitler için yukarıdaki yaklaşımlar aşağıdaki gibi basitleştirilir.

Kare kesitler için;

$M_{N.Rd} = 1,26M_{pl.Rd}(1- n)$, $M_{N.Rd} \le M_{pl.Rd}$ **(5.42)**

Dikdörtgen Kesitler İçin

$M_{N.y.Rd} = 1,33M_{pl.y.Rd}(1- n)$, $M_{Ny.Rd} \le M_{pl.y.Rd}$ **(5.43)**

$M_{N.z.Rd} = 1,33M_{pl.z.Rd}(1- n)/(0,5+ ht/A)$, $M_{Nz.Rd} \le M_{pl.z.Rd}$ **(5.44)**

Delik kesitleri olmadan sabit kalınlıklı tüp kesitler için ise;

$M_{N.Rd} = 1,04M_{pl.Rd}(1- n^{1,7})$, $M_{N.Rd} \le M_{pl.Rd}$ ifadesi kullanılır. **(5.45)**

İki eksenli moment durumunda aşağıdaki kriter kullanılır.

$$\left(\frac{M_{y.Sd}}{M_{Ny.Rd}}\right)^a + \left(\frac{M_{z.Sd}}{M_{Nz.Rd}}\right)^b \le 1 \quad \textbf{(5.46)}$$

a ve b sabitleri kesit tiplerine göre değişir.

I ve H kesitlerinde $a = 2$ ve $b = 5n$, $b \ge 1$

Dairesel tüp kesitlerde $a = 2$ ve $b = 2$

Dikdörtgen kutu kesitlerde $a = b = \frac{1,66}{1- 1,13n^2}$ ve $a = b £ 6$ **(5.47)**

İçi dolu dikdörtgen kesitlerde veya plakalarda $a = b = 1,736 + 1,8n^3$ **(5.48)**

İki eksenli moment durumu için aşağıdaki yaklaşımda kullanılabilir.

$$\frac{Nsd}{N_{pl.Rd}} + \frac{M_{y.Sd}}{W_{pl.y.Rd}} + \frac{M_{z.Sd}}{M_{pl.z.Rd}} £ 1 \quad \textbf{(5.49)}$$

Sınıf 3 kesitlerde kesme kuvveti varsa kesit boyunca maksimum gerilme $s_{x.Ed} £ f_{yd}$ şartını sağlamalıdır. Bulon delikleri olmadan kesit aşağıdaki koşula uymalıdır.

$$\frac{Nsd}{Af_{yd}} + \frac{M_{y.Sd}}{W_{el.y}f_{yd}} + \frac{M_{z.Sd}}{W_{el.z}f_{yd}} £ 1 \quad \textbf{(5.50)}$$

Sınıf 4 Enkesitlerde kesme kuvveti olması durumunda efektif genişlik kullanarak hesaplanan gerilmenin maksimum değeri aşağıdaki şartı sağlamalıdır.

$$s_{x.Ed} £ f_{yd}, \qquad f_{yd} = f_y / g_{M1} \quad \textbf{(5.51)}$$

Delik kesitleri olmadan sınıf 4 enkesitler

$$\frac{Nsd}{A_{eff}f_{yd}} + \frac{M_{y.Sd} + N_{sd}.e_{Ny}}{W_{eff.y}f_{yd}} + \frac{M_{z.Sd} + N_{sd}.e_{Nz}}{W_{eff.z}f_{yd}} £ 1 \quad \textbf{(5.52)}$$

5.5.9 Moment, Kesme ve Eksenel Kuvvet Durumu

Kesme Kuvveti plastik kesme dayanımının yarısını geçtiği takdirde kesme kuvveti ve eksenel kuvvet, plastik moment kapasitesini düşürür. Kesme kuvvetinin tasarım değeri V_{sd}, plastik kesme tasarım $V_{pl.Rd}$ değerinin %50'sini aşmıyorsa $(V_{sd} £ 0,5V_{pl.Rd})$, moment ve eksenel kuvvet kombinasyonlarında herhangi bir azaltmaya gerek kalmaz. Eğer $V_{sd} > 0,5V_{pl.Rd}$ ise moment ile eksenel kuvvet $(1- r)f_y$ ile azaltılarak hesaplanır.

$$(r = (2V_{sd} / V_{pl.Rd} - 1)^2) \quad \textbf{(5.53)}$$

5.5.10 Gövdedeki Enine Kuvvetler

Gövde düzleminde enine kuvvetler etkidiği zaman elemanda keme kuvveti varsa elemanın bütün noktalarında aşağıdaki kritere uyulmak zorundadır.

$$\left(\frac{\sigma_{x.Ed}}{f_{yd}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z.Ed}}{f_{yd}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x.Ed}}{f_{yd}}\right)\left(\frac{\sigma_{z.Ed}}{f_{yd}}\right) \le 1 \qquad \textbf{(5.54)}$$

Burada;

$\sigma_{x.Ed}$: Moment ve eksenel kuvvetin bir noktaya etkimesi durumunda boyuna gerilmelerin tasarım değeri

$\sigma_{z.Ed}$: Enine kuvvetin aynı noktaya etkimesi durumunda gerilmenin tasarım değeri

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} \qquad \textbf{(5.55)}$$

Kesitin moment dayanımı, plastik gerilmenin kesit içindeki dağılımına dayanıyorsa, aşağıdaki kriterin sağlandığı kabul edilir.

$$\left(\frac{\sigma_{xm.Ed}}{f_{yd}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z.Ed}}{f_{yd}}\right)^2 - k\left(\frac{\sigma_{xm.Ed}}{f_{yd}}\right)\left(\frac{\sigma_{z.Ed}}{f_{yd}}\right) \le 1 - \beta_m \qquad \textbf{(5.56)}$$

Burada;

$\sigma_{xm.Ed}$: Gövdedeki ortalama boyuna gerilmenin tasarım değeri

$$\beta_m = M_{w.Sd} / M_{pl.w.Rd} \qquad \textbf{(5.57)}$$

$M_{w.Sd}$: Gövde momenti tasarım değeri

$$M_{pl.w.Rd} = 0,25 t_w d^2 f_y / \gamma_{M0} \qquad \textbf{(5.58)}$$

$$\sigma_{xm.Ed} / \sigma_{z.Ed} \le 0 \Rightarrow k = 1 - \beta_m \qquad \textbf{(5.59)}$$

$\sigma_{xm.Ed} / \sigma_{z.Ed} > 0$ ise

$$\beta_m \le 0,5 \Rightarrow k = 0,5(1 + \beta_m) \qquad \textbf{(5.60)}$$

$$\beta_m > 0,5 \Rightarrow k = 1,5(1 - \beta_m) \text{ dir.} \qquad \textbf{(5.61)}$$

Eğer $V_{sd} \le 0,5V_{pl.Rd}$ ise yukarıda ifade, kesme etkisi durumunda herhangi bir değiştirme yapılmaksızın kullanılabilir. $V_{sd} > 0,5V_{pl.Rd}$ olduğu durumlarda yukarıdaki ifade aşağıdaki gibi değiştirilir.

$$\left(\frac{\sigma_{x.Ed}}{f_{yd}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z.Ed}}{f_{yd}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{xm.Ed}}{f_{yd}}\right)\left(\frac{\sigma_{z.Ed}}{f_{yd}}\right) \le 1 - \rho \qquad \textbf{(5.62)}$$

ve

$$\left(\frac{\sigma_{xm.Ed}}{f_{yd}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z.Ed}}{f_{yd}}\right)^2 - k\left(\frac{\sigma_{xm.Ed}}{f_{yd}}\right)\left(\frac{\sigma_{z.Ed}}{f_{yd}}\right) \le 1 - \beta_m - \rho \qquad \textbf{(5.63)}$$

olarak değiştirilir.

5.6 Elemanın Burkulma Dayanımı

5.6.1 Basınç Elemanı

Burkulma Dayanımı:

Basınca çalışan elemanın tasarım burkulma dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$N_{b.Rd} = \chi.\beta_A.A.f_y / \gamma_{M1} \qquad \textbf{(5.64)}$$

Sınıf 1,2ve 3 kesitlerde $\beta_A = 1$

Sınıf 4 kesitlerde $\beta_A = A_{eff} / A$ olarak kullanılır. **(5.65)**

χ azaltma faktörü burkulma moduna göre değişmektedir.

Üniform Elemanlar:

Sabit basınçta değişken olmayan kesitin azaltma faktörü χ, kesite uygun boyutsuz narinlik oranı $\bar{\lambda}$ ile elde edilir.

$$\chi = \frac{1}{\left[\phi + \left(\phi^2 - \bar{\lambda}^2\right)^{0,5}\right]}, \qquad \chi \le 1 \text{ olarak ifade edilir.} \qquad \textbf{(5.66)}$$

Burada;

$$f = 0,5\left[1 + a(\bar{l} - 0,2) + \bar{l}^{2}\right] \quad \textbf{(5.67)}$$

a : Kusur Faktörü

$$\bar{l} = \left(\beta_A . A . f_y / N_{cr}\right)^{0,5} = (l / l_1)\left[\beta_A\right]^{0,5} \quad \textbf{(5.68)}$$

l : İlgili modun burkulma narinliği

$$l_1 = \pi\left(E / f_y\right)^{0,5} = 93,9\varepsilon \quad \textbf{(5.69)}$$

$$\varepsilon = \left(235 / f_y\right)^{0,5} \quad \textbf{(5.70)}$$

N_{cr} : İlgili burkulma modu için kritik elastik kuvvet

Kusur faktörü a aşağıdaki tablodan elde edilir.

Tablo 5.3 Kusur faktörü değerleri

Burkulma Eğrisi	a	b	c	d
Kusur Faktörü α	0,21	0,34	0,49	0,76

c Azaltma faktörü değeri boyutsuz narinlik değerine göre aşağıdaki Tablo 5.4'ten elde edilir.

Eğilme Burkulması

Eğilme burkulması için uygun burkulma eğrisi aşağıdaki tablodan elde edilir.

$\lambda = l / i$

i :burkulma eksenine göre dönme yarıçapıdır.

Burkulma Boyu:

Basınç elemanının *l* burkulma boyu elemanın yanal harekete karşı tutulma mesafesi olarak alınır. Bu durumda burkulma boyu L sistem boyu ile aynı mesafede olabilir.

Tablo 5.4 c **A**zaltma faktörleri tablosu

Burkulma Faktörleri				
$\bar{\lambda}$	Burkulma Eğrisi			
	a	b	c	d
0,2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,3	0,9775	0,9641	0,9491	0,9235
0,4	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,5	0,9243	0,8842	0,8430	0,7793
0,6	0,8900	0,8371	0,7854	0,7100
0,7	0,8477	0,7837	0,7247	0,6431
0,8	0,7957	0,7245	0,6622	0,5797
0,9	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
1,0	0,6656	0,5970	0,5399	0,4671
1,1	0,5960	0,5352	0,4842	0,4189
1,2	0,5300	0,4781	0,4338	0,3762
1,3	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,4	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,5	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766
1,6	0,3332	0,3079	0,2842	0,2512
1,7	0,2994	0,2781	0,2577	0,2289
1,8	0,2702	0,2521	0,2345	0,2093
1,9	0,2449	0,2294	0,2141	0,1920
2,0	0,2229	0,2095	0,1962	0,1766
2,1	0,2036	0,1920	0,1803	0,1630
2,2	0,1867	0,1765	0,1662	0,1508
2,3	0,1717	0,1628	0,1537	0,1399
2,4	0,1585	0,1506	0,1425	0,1302
2,5	0,1467	0,1397	0,1325	0,1214
2,6	0,1362	0,1299	0,1234	0,1134
2,7	0,1267	0,1211	0,1153	0,1062
2,8	0,1182	0,1132	0,1079	0,0997
2,9	0,1105	0,1060	0,1012	0,0937
3,0	0,1036	0,0994	0,0951	0,0882

5.6.2 Kirişlerin Yanal Burulmalı Burkulması

Yatay hareketi önlenmemiş kirişler için tasarım burkulma dayanımı aşağıdaki gibidir.

$$M_{b.Rd} = c_{LT}.b_w.W_{pl.y}.f_y / g_{M1} \quad \textbf{(5.71)}$$

$b_w = 1$ Sınıf 1 ve 2 kesitler için

$b_w = W_{el.y} / W_{pl.y}$ Sınıf 3 kesitler için **(5.72)**

$b_w = W_{eff.y} / W_{pl.y}$ Sınıf 4 kesitler için **(5.73)**

c_{LT}: Yanal burulmalı burkulma için azaltma faktörü, c azaltma faktörü tablosu kullanılabilir.

c_{LT} değeri $\bar{l}$ boyutsuz narinliğe göre aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$c_{LT} = \frac{1}{f_{LT} + \left[f_{LT}^2 - (\bar{l})_{LT}^2\right]^{0,5}} \qquad c_{LT} \le 1 \text{ olarak ifade edilir.} \quad \textbf{(5.74)}$$

$$f_{LT} = 0,5\left[1 + a_{LT}(\bar{l}_{LT} - 0,2) + (\bar{l})_{LT}^2\right] \quad \textbf{(5.75)}$$

a_{LT} Kusur oranı dökme profiller için 0,21 kaynakla yapılmış profiller için ise 0,49 alınır. Diğer karakteristik değerler bundan önce anlatılan kısımdaki gibidir. $\bar{l}_{LT} \le 0,4$ değerleri için yanal burulmalı burkulma kontrolüne gerek yoktur. Ayrıca kirişin tamamen hareketi önlenmişse bu durumda da yanal burulmalı burkulma kontrolüne gerek yoktur.

5.6.3 Eğilme ve Eksenel Çekme

Eleman aynı anda eğilme ve eksenel çekme etkisindeyse eksenel kuvvet ile momentin vektörel etkileri düşünülerek elemanın yanal burulmalı burkulma kontrolü yapılmalıdır. Eğilme momenti ile eksenel kuvvetin etkidiği durumlarda eksenel gerilme dayanımının tasarım değeri vektörel etkiler göz önüne alınarak $Y_{vec} = 0,8$ değeriyle azaltılır. Hesaplanan net gerilme;

$$s_{com.Ed} = M_{sd} / W_{com} - Y_{vec} N_{tsd} / A \quad \textbf{(5.76)}$$

olarak elde edilir.

Burada;

W_{com} :En dış basınç lifi için elastik bölge modülüdür.

N_{tsd} : Eksenel çekme tasarım değeridir.

5.6.4 Eğilme ve Eksenel Basınç

Sınıf 1 ve 2 kesitler eğilmeye ve eksenel basınca maruz kalıyorlarsa aşağıdaki koşul sağlanmalıdır.

$$\frac{Nsd}{c_{min} A f_y / g_{M1}} + \frac{k_y M_{y.Sd}}{W_{pl.y} f_y / g_{M1}} + \frac{k_z M_{z.Sd}}{W_{pl.z} f_y / g_{M1}} \leq 1 \qquad \textbf{(5.77)}$$

$$k_y = 1 - \frac{m_y . Nsd}{c_y A f_y}, \qquad k_y \leq 1{,}5 \qquad \textbf{(5.78)}$$

$$m_y = \bar{l} (2b_{My} - 4) + \left[\frac{W_{pl.y} - W_{el.y}}{W_{el.y}} \right], \qquad m_y \leq 0{,}90 \qquad \textbf{(5.79)}$$

$$k_z = 1 - \frac{m_z . Nsd}{c_z A f_y}, \qquad k_z \leq 1{,}5 \qquad \textbf{(5.80)}$$

$$m_z = \bar{l} (2b_{Mz} - 4) + \left[\frac{W_{pl.z} - W_{el.z}}{W_{el.z}} \right], \qquad m_z \leq 0{,}90 \qquad \textbf{(5.81)}$$

Burada;

c_{min} : c_y veya c_z'den küçük olanı

b_{My} ve b_{Mz} eğilme burkulmasına göre eş üniform moment faktörüdür.

Sınıf 1 ve 2 kesitlerin potansiyel göçme modu olan yanal burulmalı burkulma modu için aşağıdaki koşulun sağlanması gerekmektedir.

$$\frac{Nsd}{c_z A f_y / g_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y.Sd}}{c_{LT} W_{pl.y} f_y / g_{M1}} + \frac{k_z M_{z.Sd}}{W_{pl.z} f_y / g_{M1}} \leq 1 \qquad \textbf{(5.82)}$$

Burada;

$$k_{LT} = 1- \frac{\mu_{LT}.Nsd}{\chi_z Af_y}, \qquad k_{LT} \leq 1,5 \tag{5.83}$$

$$\mu_{LT} = 0,15\bar{\lambda}_z \beta_{M.LT} - 0,15, \qquad \mu_{LT} \leq 0,90 \tag{5.84}$$

Sınıf 3 kesitlerde eğilme momenti ve eksenel kuvvetin olduğu durumlarda aşağıdaki şart sağlanmalıdır.

$$\frac{Nsd}{\chi_{min} Af_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y.Sd}}{W_{el.y} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z.Sd}}{W_{el.z} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \tag{5.85}$$

k_y, k_z ve χ_{min} sınıf 1ve 2 kesitlerindeki gibidir.

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y(2\beta_{My} - 4) \qquad \mu_y \leq 0,90 \tag{5.86}$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z(2\beta_{Mz} - 4) \qquad \mu_z \leq 0,90 \tag{5.87}$$

Sınıf 3 kesitlerin potansiyel göçme modu olan yanal burulmalı burkulma modu için aşağıdaki koşulun sağlanması gerekmektedir.

$$\frac{Nsd}{\chi_z Af_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y.Sd}}{\chi_{LT} W_{el.y} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z.Sd}}{W_{el.z} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \tag{5.88}$$

Sınıf 4 kesitlerde eğilme momenti ve eksenel kuvvetin olduğu durumlarda

$$\frac{Nsd}{\chi_{min} A_{eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y.Sd} + N_{sd}.e_{N.y}}{W_{eff.y} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z.Sd} + N_{sd}.e_{N.z}}{W_{eff.z} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \tag{5.89}$$

şartı sağlanmalıdır.

Ayrıca burulmalı göçme durumunun engellenmesi için aşağıdaki koşul ağlanmalıdır.

$$\frac{Nsd}{\chi_z A_{eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y.Sd} + N_{sd}.e_{N.y}}{\chi_{LT} W_{eff.y} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z.Sd} + N_{sd}.e_{N.z}}{W_{eff.z} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \tag{5.90}$$

Eş üniform moment faktörleri b_{My}, b_{My} ve b_{My} şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Faktör	Moment Ekseni	Güçlendirilen Noktaların Doğrultusu
b_{My}	y-y	z-z
b_{My}	z-z	y-y
b_{My}	y-y	y-y

5.7 Kesme Burkulması Dayanımı

Rijitleştirilmemiş kesit gövdeleri için $d/t_w > 69e$, rijitleştirilmiş kesit gövdeleri için $d/t_w > 30e\sqrt{k_r}$ değerlerinden büyük olan kesitler için kesme burkulması dayanım kontrolü yapılmalıdır. Gövdenin kesme burkulma dayanımı derinlik/kalınlık oranı ile gövde rijitleştiricileri arasındaki uzaklığa bağlıdır. Ayrıca burkulma dayanımı çekme alanının takviye veya başlık plakası ile ankre edilmesine bağlıdır. Ankraj başlıktaki boyuna gerilmeleri eksenel kuvvet ve eğilme momenti düşeceği için azaltır. $d/t_w > 69e$ olan kesit gövdeleri mesnetlerde enine levhalarla berkitilmelidir.

5.7.1 Tasarım

Ara berkitme plakaları olmayan ve sadece berkitme plakaları olan gövde elamanları aşağıdaki metotlara göre kontrol yapılır.

- Basit Post-Kritik Metot
- Çekme Alanı Metodu

5.7.2 Basit Post-Kritik Metot

Bu metotta tasarım kesme burkulma dayanımı $V_{ba.Rd}$ aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V_{ba.Rd} = d.t_w.T_{ba} / g_{M1} \qquad \textbf{(5.91)}$$

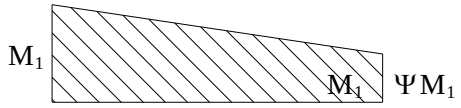
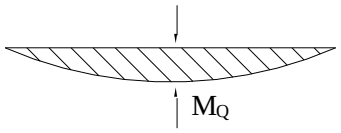
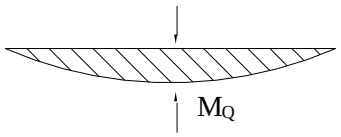
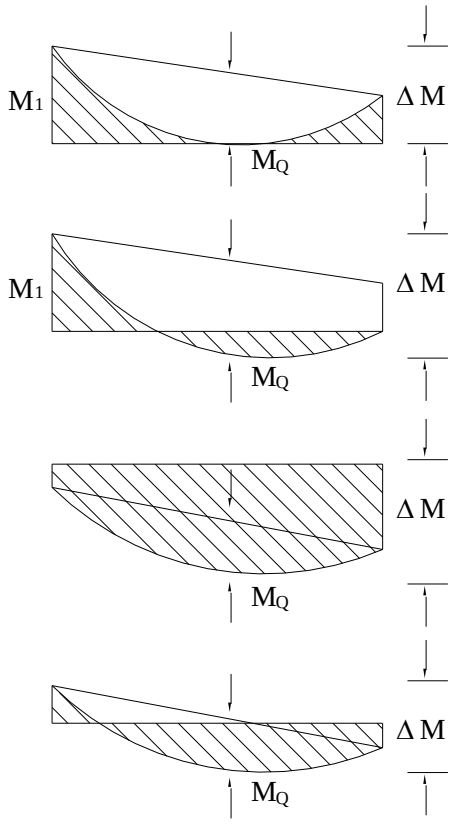
T_{ba} : Post-kritik kesme kuvveti

Post-kritik kesme kuvveti T_{ba} aşağıdaki gibi hesaplanır.

$\bar{l}_w \pounds 0,8$

$T_{ba} = f_{yw} / \sqrt{3}$

$0,8 \pounds \bar{l}_w \pounds 1,2$

Moment Diyagramı	Üniform Moment Faktörü β_M
 1> Ψ >-1	$\beta_{M,\Psi} = 1{,}8 - 0{,}7\,\Psi$
Moment Düzlem içi yanal kuvvetten dolayı oluşmuşsa  	$\beta_{M,Q} = 1{,}3$ $\beta_{M,Q} = 1{,}4$
	$\beta_M = \beta_{M,\Psi} + \frac{M_Q}{\Delta M}\,(\beta_{M,Q} - \beta_{M,\Psi})$ $M_Q = \lvert \text{maks } M \rvert$ $\Delta M \begin{cases} \lvert \text{maks } M \rvert \\ \lvert \text{maks } M \rvert + \lvert \text{min } M \rvert \end{cases}$

Şekil 5.6 β Değerleri

$$T_{ba} = \left[1 - 0,625(\bar{l}_w - 0,8)\right](f_{yw} / \sqrt{3}) \qquad \textbf{(5.92)}$$

$\bar{l}_w \geq 1,2$

$$T_{ba} = \left[0,9 / \bar{l}_w\right](f_{yw} / \sqrt{3}) \qquad \textbf{(5.93)}$$

$\bar{l}_w$ gövde narinliği olup aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\bar{l}_w = \left[(f_{yw} / \sqrt{3}) / T_{cr}\right]^{0,5} = \frac{d / t_w}{37,4\varepsilon\sqrt{k_T}} \qquad \textbf{(5.94)}$$

T_{cr} : Elastik kritik kesme kuvveti

k_T :Kesme için burkulma faktörüdür.

Kesme burkulma faktörü k_T farklı durumlarda aşağıdaki değerleri alır.

Gövde sadece mesnetlerde güçlendirilmişse arada enine berkitmeler yapılmamışsa;

$k_T = 5,34$

Gövde mesnetlerde berkitilmiş ayrıca aradaki enine berkitme plakaları a/d<1'e göre yapılmışsa

$k_T = 4 + 5,34 / (a / d)^2$

Gövde mesnetlerde berkitilmiş ayrıca aradaki berkitmeler $a / d \geq 1$'e göre yapılmışsa

$k_T = 5,34 + 4 / (a / d)^2$ olarak hesaplanır.

5.7.3 Çekme Alanı Metodu

Kesme Burkulması Dayanımı:

Bu metotta $V_{bb.Rd}$ kesme burkulma dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_{bb.Rd} = \left[(d.t_w.T_{bb}) + 0,9(g.t_w.s_{bb}.\sin Y\right] / g_{M1} \qquad \textbf{(5.95)}$$

s_{bb} : Çekme alanı gerilmesi

$$s_{bb} = \left[f_{yw}^2 - 3T_{bb} + Y^2\right]^{0,5} - Y \qquad \textbf{(5.96)}$$

$$Y = 1,5T_{bb}\sin 2f \qquad \textbf{(5.97)}$$

f : Çekme Alanı Eğimi

g: Çekme alanı genişliği

T_{bb} : Başlangıç kesme burkulma kuvveti

Başlangıç kesme burkulma kuvveti T_{bb} aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\bar{l}_w \le 0,8$$

$$T_{bb} = f_{yw} / \sqrt{3}$$

$$0,8 \le \bar{l}_w \le 1,25$$

$$T_{bb} = \left[1 - 0,8(\bar{l}_w - 0,8)\right](f_{yw} / \sqrt{3}) \qquad \textbf{(5.98)}$$

$$\bar{l}_w \ge 1,25$$

$T_{ba} = \left[1 / \bar{l}_w^{\,2}\right](f_{yw} / \sqrt{3})$ olarak hesaplanır. **(5.99)**

Çekme alanı genişliği g'de;

$g = d\cos f - (a - s_c - s_t)\sin f$

ile elde edilir.

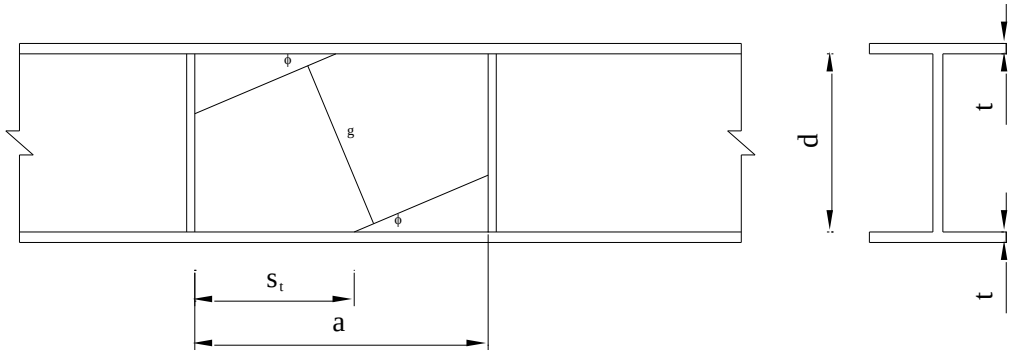
$$s = \frac{2}{\sin f}\left[\frac{M_{Nf.Rk}}{t_w s_{bb}}\right]^{0,5}, \qquad s \le a \qquad \textbf{(5.100)}$$

$M_{Nf.Rk}$: Başlığın azaltılmış plastik moment dayanımı.

$M_{Nf.Rk}$ azaltılmış moment kapasitesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M_{Nf.Rk} = 0,25.b.t_f^{\,2} f_{yf}\left[1 - \left[N_{f.Sd} / (b.t_f f_{yf} / g_{M0})\right]^2\right] \qquad \textbf{(5.101)}$$

b ve t_f başlığın genişliği ve kalınlığıdır.



Şekil 5.7 Gövde Paneli

Çekme Alanının Eğimi:

Çekme alanının eğimi φ ; panel köşegeninin eğiminin yarısı $\theta/2$ ile, panel köşegeninin eğimi θ arasında değişir.

$$\theta = \arctan(d/a)$$

Çekem alanı eğimi, $\theta/2$ değerini başlıklar eğilme momentinin dayanı için tamamen kullanıldığında alır. φ 'nin θ ve $\theta/2$ değeri maksimum kesme burkulması dayanım değerini $V_{bb.Rd}$, verir.

Bitiş Panelleri:

Bitiş panellerinde

$$s_c = \frac{2}{\sin\varphi}\left[\frac{M_{pl.1} + M_{pl.2}}{2t_w s_{bb}}\right]^{0,5} \qquad s_c \le a \qquad \textbf{(5.102)}$$

$$M_{pl.1} = 0,25.b.t_f^{\,2} f_{yf}\left[1 - \left(N_{f.1}/(b.t_f f_{yf})\right)^2\right] \qquad \textbf{(5.103)}$$

$$N_{f.1} = \gamma t_w s_{bb} \cos\varphi \qquad \textbf{(5.104)}$$

$M_{pl.2}$: M_{Nf} veya M_{Ns} 'ten küçük olan

$$M_{Nf} = 0,25.b.t_f^{\,2} f_{yf}\left[1 - \left(F_{bb}/(b.t_f f_{yf}\right)^2\right] \qquad \textbf{(5.105)}$$

$$M_{Ns} = 0,25.b_s.t_s^{\,2} f_{ys}\left[1 - \left(N_{s2}/(b_s.t_s f_{ys}\right)^2\right] \qquad \textbf{(5.106)}$$

$$F_{bb} = t_w s_s . s_{bb} \cos^2 f \qquad \textbf{(5.107)}$$

$$N_{s2} = t_w s_c . s_{bb} \sin^2 f \qquad \textbf{(5.108)}$$

$$s_s = d - (a - s_t)\tan f \qquad \textbf{(5.109)}$$

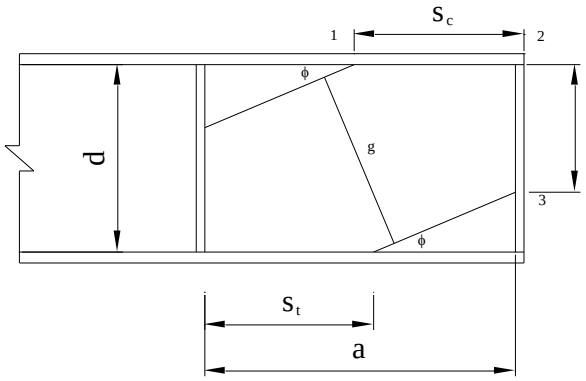
Ayrıca

$M_{pl.2} + M_{pl.3} \geq 0,5 F_{bb} . s_s$ koşulu sağlanmalıdır. **(5.110)**

$$M_{pl.3} = 0,25 . b_s . t_s^2 f_{ys} \left[1 - \left(N_{s3} / (b_s . t_s f_{ys}) \right)^2 \right] \qquad \textbf{(5.111)}$$

$$N_{s3} = V_{sd} - T_{bb} t_w (d - s_s) \qquad \textbf{(5.112)}$$

Eğer yukarıdaki kriter sağlanmazsa f değeri arttırılarak s_s değeri düşürülür.



Şekil 5.8 Gövde Bitiş Paneli

5.7.4 Kesme Kuvveti Eğilme Momenti ve Eksenel Kuvvetin Birbirleri ile Etkileşimi

Eleman başlıklarının, elemana etkiyen tüm eksenel kuvvet ile eğilme momentini karşıladığının gösterildiği durumlarda elemanın kesme kuvveti dayanımının mesnet ve eksenel yükten dolayı azaltılmasına gerek yoktur.

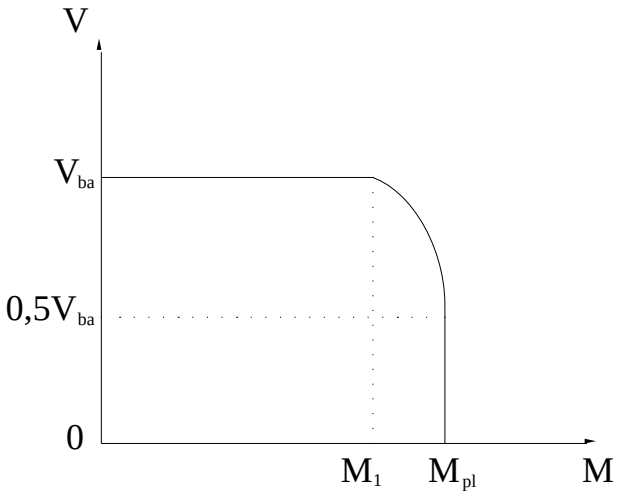
Basit Post-Kritik Metot:

Aşağıdaki şartlar sağlandığı takdirde kesme kuvvetinin moment dayanımına etkisi olmadığı kabul edilir

$$M_{sd} \leq M_{f.Rd} \qquad \textbf{(5.113)}$$

$$V_{sd} \leq V_{ba.Rd} \qquad \textbf{(5.114)}$$

$M_{f.Rd}$: Kesit başlıklarının plastik moment dayanımıdır. Bu dayanım hesaplanırken basınç bölgesinde b_{eff} genişlik alınır



Şekil 5.9 Etkileşim Grafiği

Eğer kesitte N_{sd} eksenel kuvveti etkiyorsa, $M_{f.Rd}$ azaltılır. $V_{sd} \leq 0,5V_{ba.Rd}$ durumunda kesitin tasarım eğilme momentinin ve eksenel kuvvetinin azaltılmasına gerek yoktur. $V_{sd} > 0,5V_{ba.Rd}$ durumunda ise;

$$M_{sd} \leq M_{f.Rd} + (M_{pl.Rd} - M_{f.Rd})\left[1 - (2V_{sd} / V_{ba.Rd} - 1)^2\right] \qquad \textbf{(5.115)}$$

koşulu sağlanmalıdır. Burada da kesitte eksenel N_{sd} kuvveti mevcutsa $M_{pl.Rd}$ momenti yerine, $M_{N.Rd}$ azaltılmış plastik moment dayanımı konulur.

Gerilme Alanı Metodu:

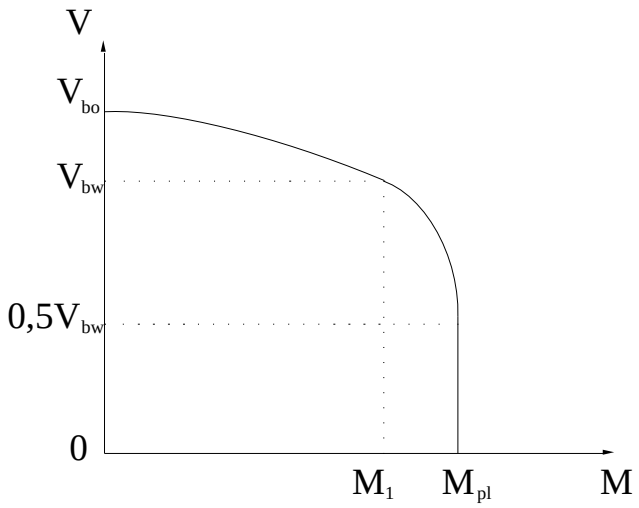
Post-kritik metotta olduğu gibi

$$M_{sd} \leq M_{f.Rd} \qquad \textbf{(5.116)}$$

$$V_{sd} \leq V_{bw.Rd} \qquad \textbf{(5.117)}$$

Şartı sağlanıyorsa kesme kuvvetinin moment dayanımı üzerinde etkisi olmadığı kabul edilir. M_{sd} ve V_{sd} : Enine bitişik gövde berkitmeleri arasındaki maksimum değerleridir.

$V_{bw.Rd}$: Sadece gövdenin kesme dayanımıdır.



Şekil 5.10 Etkileşim Grafiği

Kesitte eksenel N_{sd} kuvveti mevcutsa $M_{f.Rd}$ momenti, post-kritik metottaki gibi azaltılır. Eğer kesitin başlıkları ve sistemde eksenel yük yoksa;

$s_s = s_t = 0$ olur ve $f = Q/2$ olur. **(5.118)**

$V_{sd} \le 0,5V_{bw.Rd}$ durumunda kesitin tasarım eğilme momentinin ve eksenel kuvvetinin azaltılmasına gerek yoktur. $0,5V_{bw.Rd} < V_{sd} < V_{bw.Rd}$ durumunda ise;

$$M_{sd} \le M_{f.Rd} + (M_{pl.Rd} - M_{f.Rd})\left[1 - (2V_{sd}/V_{bw.Rd} - 1)^2\right] \quad \textbf{(5.119)}$$

koşulu sağlanmalıdır.

$V_{sd} > V_{bw.Rd}$ durumunda ise $V_{sd} \le V_{bw.Rd}$ şartı sağlanmalıdır.

6. TS 648 ÇELİK YAPILANIN BOYUTLANDIRILMASI

6.1 Malzeme Özellikleri

T.S 648'e göre kesit tesirleri, lineer elastik malzeme kabulü yapılarak istenilen hesap yöntemiyle yapılabilir.

T.S 648'e göre uygulamada kullanılacak olan sınır değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. [2]

Tablo 6.1 Yapı Çelikleri İçin Nominal Akma Ve Kopma Değerleri

Nominal Çelik Sınıfı	Kalınlık (t) mm					
	$t \leq 16$ mm		$16 < t \leq 40$ mm		$40 < t \leq 100$ mm	
	$f_y(kg/cm^2)$	$f_y(kg/cm^2)$	$f_y(kg/cm^2)$	$f_y(kg/cm^2)$	$f_y(kg/cm^2)$	$f_y(kg/cm^2)$
Fe 37	240	370	230	360	220	350
Fe 42	260	420	250	410	240	400
Fe 52	360	520	350	510	340	500

Yapı Çeliğinin mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir.

E, Elastisite Modülü = $210.000\ N/mm^2$

G, Kayma Modülü = $E/2(1+n)$

n ,Poisson Oranı = 0,3

a , Sıcaklık Katsayısı = $12*10^{-6}/C^o$

r , Birim Ağırlığı = $7850kg/m^3$

6.2 Yük Kabulleri ve Yükleme Halleri

Dayanım ve stabilite tahkikleri için yükler TS 498'den alınmalıdır. Yapıya etkiyen yükler esas yükler ve tali yükler olamak üzere ikiye ayrılır.

- Esas yükler: Yapının kendi ağırlığından dolayı oluşan yükler, hareketli yükler ve kar yüklerini kapsar.
- Tali yükler: Rüzgar etkisi deprem etkisi ısı etkileri vb etkileri kapsar.

6.2.1 Yükleme Hali

Boyutlandırma ve gerilme tahkikleri ile her zaman en büyük enkesitleri gerektiren yükleme durumu göz önünde bulundurulmalıdır.

Gerilme tahkiklerinde göz önünde bulundurulması gereken enkesit değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 6.2 Boyutlandırmaya Esas Olan Enkesitler

Zorlama Çeşidi	Gerilme	Gözönünde Tutulacak Enkesit Değeri
Normal Kuvvet	Basınç	F
	Çekme	$F_n=F-\Delta F$
Kesme Kuvveti	Kayma	$F_{gövde}$
Eğilme Momenti	Çekme ve Basınç	$W_n=l_n/e=(l-\Delta l)/e$
Gövdede Ortalama Kayma Gerilmesi $\tau = Q / F_{gövde}$		

Burada;

F : Çubuğun basınçta göz önünde tutulan dolu enkesit alanı

F_n: Çekmede faydalı enkesit alanı

DF: Kesit zayıflama miktarı

$F_{gövde}$: Gövdenin enkesit alanı;

e: Dolu enkesitin tarafsız eksenine başlık kenarının mesafesi

W_n: Enkesit dayanım momenti

Q: Kesite gelen kesme kuvveti

t : Gövdede ortalama kayma gerilmesi

Perçin veya bulon deliği olan çubuklarda deliksiz kesit enkesiti alınarak hesap yapılır. Deformasyonların hesabında da enkesit değerleri delik kesit kaybı göz önüne alınmadan yapılır.

6.2.2 Faydalı Enkesit Alanı

Faydalı enkesit ve elverişsiz faydalı genişlik (yırtılma çizgisi) üzerine düşen deliklerin enkesit alanının dolu enkesit alanından çıkarılmasıyla elde edilir. Eğer delikler bir diyagonal üzerinde veya şaşırmalı olarak yerleştirilmişse faydalı genişlik, toplam genişlikten düşünülen yırtılma çizgisi üzerindeki bütün deliklerin çaplarının çıkarılarak her enkesit arasındaki açıklık için $Ds = \frac{s^2}{4g}$ ilave edilerek elde edilir.

Faydalı alan, elde edilen genişlikle ortalama kalınlığın çarpılmasıyla elde edilir. Delikler göz önüne alınarak elde olunan faydalı genişlik hiçbir durumda toplam genişliğin %35'ini geçemez.

6.3 Tahkikler

Genel olarak gerilmeler ve mesnet reaksiyonları her yükleme durumu için ayrı ayrı tespit edilmelidir. Böylece elde edilen değerlerin mümkün olabilen en elverişsiz birleşik etkileri birbirlerine katılarak bulunur. Enkesitlerde gerilmelerin en büyük değerleri hesaplanarak emniyet gerilmeleri ile karşılaştırılır.

6.3.1 Yapılması Gereken Tahkikler

- Gerilme tahkikleri
- Stabilite tahkikleri
- Devrilme tahkikleri
- Deformasyon tahkikleri

Gerilme Tahkikleri:

Genel gerilme tahkikleri tablo 6.1'de verilmiş olan enkesit değerleri ile EY ve EIY yükleme halleri için ayrı ayrı hesabı yapılır.Hareketli yüklerde titreşim katsayılarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Stabilite Tahkikleri:

Stabilite tahkiki burkulma, buruşma ve yanal burkulma tahkiklerini kapsar.

Devrilme Tahkikleri:

Devrilme tahkikinde her bir yapısal kısmın devrilme emniyet katsayısı en az 2 olmalıdır. Bazı özel hallerde bu katsayı 1,5 olabilir. Mesnetlerde kalkmaya karşı emniyet gerilme katsayısı sürekli kirişlerde 1,3 yapının tümünde 1,5 olmalıdır.

Deformasyon Tahkikleri:

Kullanış amacı ve konstrüktif bakımından gereken hallerde deformasyonlar tahkik edilip ve sınırlandırılırlar. Elemanın kendi ağırlığından meydana gelen deformasyonlar, ters sehim verilerek giderilebilirler

Açıklığı 5 m'den fazla olan kiriş aşıklarının sehimleri açıklığın 1/200'ünden, konsol kirişlerin ucundaki sehim konsol uzunluğunun 1/250'sinden fazla olmamalıdır. Temel ve mesnetlerde, ızgara ve dağıtma kirişlerinin sehmi konsol uzunluğunun en çok 1/1000 i kadar olabilir.

6.4 Çekmeye Çalışan Çubuklar İçin Boyutlandırma Kuralları

6.4.1 Emniyet Gerilmesi

Çekme emniyet gerilmesi s_{emn} faydalı enkesitte en fazla akma dayanımının 0.6 katı olmalıdır

$$s_{emn} \leq 0,6 s_a \qquad \textbf{(6.1)}$$

Ayrıca bu değer çekme dayanımının yarısını aşmamalıdır.

$$s_{emn} \leq 0,5 s_k \qquad \textbf{(6.2)}$$

Yük durumuna göre bazen çekmeye ve bazen de basınca çalışan çubukları basınca göre de boyutlandırmak gerekir. Bu çubukların narinliği 250 den büyük olmalıdır.

$$\lambda \geq 250 \qquad \textbf{(6.3)}$$

6.5 Basınca Çalışan Çubuklar İçin Boyutlandırma Kuralları

Boylama doğrultuda basınç kuvveti taşıyan çubuklara basınç çubuğu denir. Basınç çubuklarının emniyet yüklerinin saptanmasında burkulma olayı esas olduğundan ortada bir Stabilite problemi söz konusudur. Bu şartnameye göre basınç çubuklarının hesabı w metodu ile yapılır. İki ucu mafsallı prizmatik bir çubuk için ideal eğilme burkulması yükü aşağıdaki formülde hesaplanır. Bu yüke Euler Burkulma Yükü adı verilir.

$$P_E = \frac{\pi^2 EI}{s^2} \qquad \textbf{(6.4)}$$

Euler burkulma gerilmesi de aşağıda tarif edilir. i: atalet yarıçapı ve λ narinlik olmak üzere;

$$i^2 = \frac{I}{F} \text{ ve } \lambda = \frac{s}{i} \text{ ise} \qquad \textbf{(6.5)}$$

$$s_{Ki} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \qquad . \qquad \textbf{(6.6)}$$

ideal burkulma gerilmesi formülü bulunur

Basınç çubuğunun emniyetli durumda bulunması demek ortalama gerilme için

$$s = \frac{P}{F} \pounds\ s_{dem} \qquad \textbf{(6.7)}$$

Tahkikinin sağlanması demektir. Burkulma emniyet gerilmeleri s_{dem}, l narinliğine göre değişkendir. Pratikte değişken emniyet gerilmesi değerleriyle çalışılması istenmediğinden, w burkulma sayıları ile çalışılır.

$$w = \frac{s_{em}}{s_{dem}} \qquad \textbf{(6.8)}$$

$$s_w = \frac{w.P}{F} \pounds\ s_{em} \qquad \textbf{(6.9)}$$

şekline gelir. Yine kontrol s_{em} ile yapılmış olur. s_w değeri gerçek bir gerilme değildir. Yuvarlak borular hariç bütün enkesit şekilleri için aynı w tabloları kullanılır. w tabloları tablo 6.2 de verilmiştir.

$$l_p = \sqrt{\frac{p^2 E}{s_p}} = \sqrt{\frac{p^2 E}{0,5 s_a}} = \frac{6438,4}{\sqrt{s_a}} \qquad \textbf{(6.10)}$$

St 37(Fe 37) çubuğu için l_p değeri 131,4 olarak bulunur.

$$l < l_p \text{ ise } s_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{l}{l_p}\right)^2\right] s_a}{n} \qquad \textbf{(6.11)}$$

$$l \geq l_p \text{ ise } s_{bem} = \frac{1}{n}\frac{p^2 E}{l^2} = \frac{1}{2,5}\frac{p^2 2,1.10^6}{l^2} \approx \frac{8290000}{l^2} \qquad \textbf{(6.12)}$$

Bu formüllerde s_a çeliğin akma gerilmesi, n emniyet katsayısıdır.

$l < 20$ ise $\qquad n = 1,67$

$20 < l < l_p$ ise $\qquad n = 1,5 + 1,2\left(\frac{l}{l_p}\right) - 0,2\left(\frac{l}{l_p}\right)^3$ **(6.13)**

$l \geq l_p$ ise $\qquad n = 2,5$

6.6 Eksenel Basınç ve Eğilmeye Çalışan Çubuklar

Eksantrik bir basınç kuvveti veya merkezi basınç kuvveti ile beraber M_x ve/veya M_y eğilme momentleri etkiyen çubuklarda öncelikle burkulma göz önünde tutulmadan basınç ve eğilmeye karşı tahkiki yapılır. Daha sonra burkulma tahkiki yapılır. Çubuklarda burkulma tahkiki ve burkulmasız gerilme tahkiki aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}.\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} + \frac{C_{my}.\sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right)\sigma_{By}} \le 1 \qquad \textbf{(6.14)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,60\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \le 1 \qquad \textbf{(6.15)}$$

$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \le 0,15$ ise yukarıdaki formüller yerine **(6.16)**

$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \le 1$ yazılabilir. **(6.17)**

Bu formüllerdeki x ve y indisleri etrafında eğilmenin meydana geldiği asal eksenleri gösterir.

σ_{bem} : Sadece basınç kuvveti etkimesi halinde burkulma emniyet gerilmesi

σ_B : Sadece eğilme momenti etkimesi halinde emniyet gerilmesi

$$\sigma'_e = \frac{\pi^2 E}{(K.\lambda_b / i_b)^2}.\frac{1}{2,5} = \frac{8290000}{(K.\lambda_b / i_b)^2} \qquad \textbf{(6.18)}$$

λ_b : Eğilme düzlemindeki hakiki serbest boy

i_b : Eğilmenin meydana geldiği düzleme dik eksene göre atalet yarıçapı

K : Eğilme düzleminde etkin burkulma boyu katsayısı

σ_{eb} : Eksenel basınç kuvvetine göre hesaplanan gerilme

σ_b : Eğilme momentine göre hesaplanan eğilme basınç gerilmesi

C_m : Uç momentlerini, y açıklık momentlerini ve yanal desteklemeyi göz önüne alan bir katsayı olup çeşitli durumlara göre aşağıdaki değerleri alır

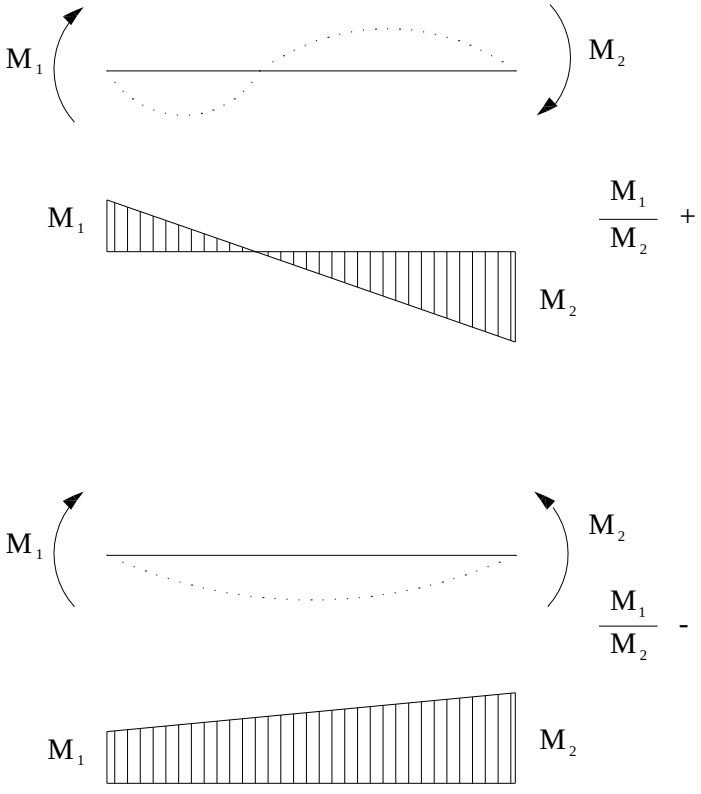
Yanal harekete serbest olan çerçevelerde

$C_m = 0{,}85$

Yanal harekete karşı tutulmuş çerçevelerin uçları rijit bağlı ve eğilme düzleminde yanal yükü bulunmayan kolonlarda

$$C_m = 0{,}6 - 0{,}4\frac{M_1}{M_2} \geq 0{,}4 \qquad \textbf{(6.19)}$$

Burada M_1/M_2 göz önünde tutulan eğilme düzleminde, elemanın uçlarındaki eğilme momentlerinden küçüğünün büyüğüne oranıdır. İki baştaki eğrilik aksi yönde ise M_1/M_2 pozitif, eğrilik aynı yöndeyse M_1/M_2 negatif alınır.



Şekil 6.1 M_1/M_2 Oranı

Yanal harekete karşı tutturulmuş çerçevelerde, üzerinde yanal yük bulunan basınç çubuklarında

$$C_m = 1 + y\frac{s_{eb}}{s'_e} \qquad \textbf{(6.20)}$$

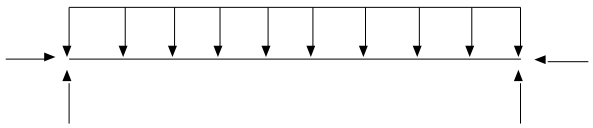
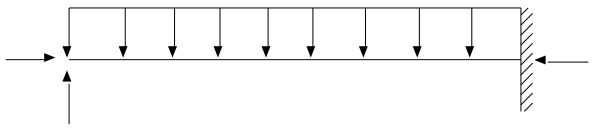
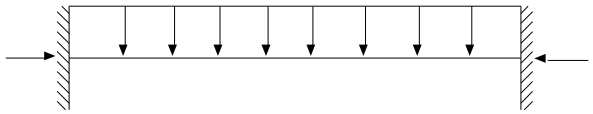
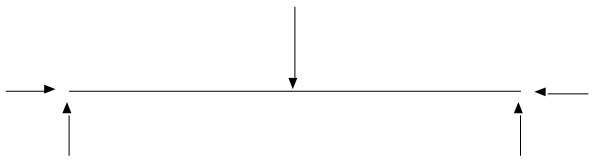
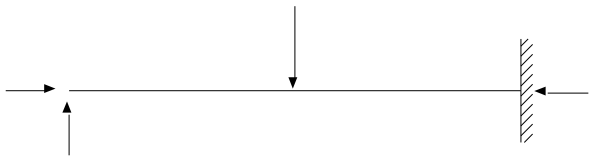
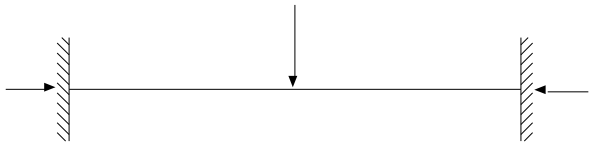
formülü kullanılır

$$y = \frac{p_2 d_0}{M_0} \cdot \frac{EI}{s^2} - 1 \text{ (Şekil 6.2'ye bakınız)} \qquad \textbf{(6.21)}$$

d_0 :Enine yükten dolayı oluşan maksimum çökme

M_0 : Enine yükten dolayı oluşan maksimum açıklık momenti

s: elemanın boyu

Durum	ψ	C_m
	0	1,0
	-0,3	$1\text{-}0{,}3\ \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_e}$
	-0,4	$1\text{-}0{,}4\ \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_e}$
	-0,2	$1\text{-}0{,}2\ \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_e}$
	-0,4	$1\text{-}0{,}4\ \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_e}$
	-0,6	$1\text{-}0{,}6\ \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_e}$

Şekil 6.2 y Sayıları

6.7 Stabilite Tahkikleri

6.7.1 Yanal Burkulma

Gövdeleri düzleminde eğilme etkisi altındaki kirişlerin yanal burkulma emniyetlerinin yeterliliği arttırılmalıdır. Yanal burkulmada kiriş yanlamasına eğilir aynı zamanda burulur. Yanal burkulma emniyeti kirişin burulmasına ve yanlamasına eğilmesine mani olacak bütün önlemlerle arttırılır. Kiriş gövdelerinin enleme ve yanlama bağlantılarla yanal burkulma emniyeti arttırılır. Kiriş enkesitinin kendi düzlemi içindeki burulmasına mani olan enleme bağlantıları kiriş mesnetlerinden başka imkan nispetinde kirişin diğer enkesitlerine de teşkil edilmelidir. Kirişin yana doğru kaçması boylama bağlantılarla önlenmelidir.

6.7.2 Yanal Burkulma Emniyet Gerilmesi

Eksenel simetrisi olan ve gövde yönünde yüklenen kirişlerde ve büyük asal eksenine göre yüklenen U kirişlerde basınç emniyet gerilmesi daha kesin hesap yöntemleriyle belirlenmediği sürece aşağıdaki formüllerden elde edilen gerilmelerden büyüğü emniyet gerilmesi olarak alınır. Yalnız bu değer $0,6s_a$ değerini aşamaz.[4]

$$\frac{s}{i_y} \le \sqrt{\frac{30000000.C_0}{s_a}} \quad \text{ise} \tag{6.22}$$

$$s_B = \left[2 - \frac{s_a (s/i_y)^2}{9000000.C_0}\right] s_a \le 0,6s_a \tag{6.23}$$

$$\frac{s}{i_y} > \sqrt{\frac{30000000.C_0}{s_a}} \quad \text{ise} \tag{6.24}$$

$$s_B = \frac{1000000.C_0}{(s/i_y)^2} \tag{6.25}$$

Eğer basınç başlığı dolu, yaklaşık olarak dikdörtgen enkesite sahip ve enkesitin çekme enkesitinden daha küçük değilse;

$$s_B = \frac{840000.C_0}{s.d/F_y} \tag{6.26}$$

Burada;

s: Kirişin basınç başlığında dönmeye ve yanal deplasmana karşı mesnetleri arasındaki mesafe(cm)

i_y : Basınç başlığı ve gövdenin basınç bölgesinin1/3'ünün gövde eksenine göre atalet yarıçapı

F_y: Basınç Başlığının atalet yarıçapı

d: Başlıklar arası dıştan dışa mesafe

s_B : Yanal burkulma göz önüne alındığında basınç emniyet gerilmesi

s_a : Basınç başlığında akma gerilmesi

C_0 : Burkulma katsayısı

$$C_0 = 1,75 + 1,05(\frac{M_1}{M_2}) + 0,3(\frac{M_1}{M_2}) \pounds\ 2,3 \qquad \textbf{(6.27)}$$

M_1 :Kirişin yanal desteklerinin olduğu noktalardaki uç momentlerin en küçüğü

M_2 : Kirişin yanal desteklerinin olduğu noktalardaki uç momentlerin en büyüğü.

Yanal mesnetler arasında herhangi bir noktadaki moment uç momentlerden fazlaysa C_0=1 alınır. Ayrıca basınç başlığı yanal burkulma kontrolü özellik gösteren kirişlerde yapılır.

6.8 Gövdeli Kirişlerde Başlıklar

6.8.1 Berkitmesiz Başlıklar

Başlığın tamamının meydana gelen gerilmelerin aktarılmasında göz önüne alınabilmesi için başlık genişliğinin (b) başlık kalınlığına (t_b) oranın aşağıdaki şartı sağlaması gerekmektedir.

$$\frac{b}{t_b} \pounds\ \frac{25}{\sqrt{s_a}} \qquad \textbf{(6.28)}$$

Bu oran aşıldığı takdirde basınç başlığında müsaade edilen gerilme $0,6.s_a Q_s$ değerini veya yanal burkulma emniyet gerilmesi değerini aşmamalıdır.

b : Basınç başlığı genişliği

t_b : Basınç başlığının kalınlığı

s_a : Basınç başlığı malzemesinin akma sınırı

Q_s: Geniş basınç başlıklarında emniyet gerilmesinin elde edilmesinde kullanılan katsayıdır

Bu değer;

$$\frac{b}{t_b} \leq \frac{25}{\sqrt{s_a}} \quad \text{ise} \quad Q_s = 1,0 \tag{6.29}$$

$$\frac{46}{\sqrt{s_a}} > \frac{b}{t_b} > \frac{25}{\sqrt{s_a}} \quad \text{ise} \quad Q_s = 1,415 - 0,0166\frac{b}{t_b\sqrt{s_a}} \tag{6.30}$$

$$\frac{b}{t_b} \geq \frac{46}{\sqrt{s_a}} \quad \text{ise} \quad Q_s = \frac{1400}{s_a(\frac{b}{t_b})^2} \tag{6.31}$$

değerini alır

6.8.2 Berkitmeli Başlıklar

Berkitmeli başlığın tamamının meydana gelen gerilmelerin aktarılmasında göz önüne alınabilmesi için genişliğin kalınlığa oranı

$$\frac{b}{t_b} \leq \frac{83}{\sqrt{s_a}} \tag{6.32}$$

değerini aşmamalıdır.

Bu değer aşıldığı takdirde eğilme özelliklerinin hesabında azaltılmış etkin genişlik b_e kullanılmalıdır.

$$b_e = \frac{63t_b}{\sqrt{s_a}} \tag{6.33}$$

olarak hesaplanır.

6.8.3 Yatay ve Düşey Berkitmeler

Yük taşıma berkitmeleri gövdenin takviyesiz uçlarında yani mesnetlerin bulunduğu uçlarda ve münferit yüklerin tatbik edileceği noktalarda sağlanır. Bu berkitmeler yükün aktarıldığı başlık veya başlıklara yakın temasta olmalı ve yaklaşık olarak başlık serbest ucuna kadar uzatılır. Bu berkitmelerin boyutlandırılması eksenel basınç çubuğu olarak yapılır.

Gövdedeki En büyük Ortalama Kayma Gerilmesi:

Gövdedeki kayma gerilmesi t_v herhangi bir yükleme durumu için

$$s_{em} = \frac{s_a}{2,89}.C_v \pounds\ 0,4s_a \qquad \textbf{(6.34)}$$

değerini aşmamalıdır. Burada;

$.C_v$: Kayma gerilmesi hesabında kullanılan bir katsayı

$$C_v = \frac{3160}{s_a(h/t)^2} \quad \text{eğer } C_v \pounds\ 0,8 \text{ ise;} \qquad \textbf{(6.35)}$$

$$C_v = \frac{50}{h/t}\sqrt{\frac{k}{s_a}} \quad \text{eğer } C_v > 0,8 \text{ ise;} \qquad \textbf{(6.36)}$$

k: Kritik kayma gerilmesin hesabında kullanılan bir katsayı

$$\frac{a}{h} \pounds\ 1 \qquad \text{ise} \qquad k = 4.00 + \frac{5,34}{(a/h)^2} \qquad \textbf{(6.37)}$$

$$\frac{a}{h} > 1 \qquad \text{ise} \qquad k = 5,34 + \frac{4,00}{(a/h)^2} \qquad \textbf{(6.38)}$$

a :Düşey berkitmeler arasındaki net uzaklık

olarak hesaba katılır. Eğer düşey berkitmeler sağlandıysa ve uygun olarak yerleştirildilerse ve $C_v \pounds\ 1$ ise yukarıda verilen kayma formülü yerine

$$s_{em} = \frac{s_a}{2,89}\left(C_v + \frac{1- C_v}{1,15\sqrt{1+ (a/h)^2}}\right) \pounds\ 0,4s_a \text{ olarak kullanılabilir.} \qquad \textbf{(6.39)}$$

(h/t) oranı 260'tan az ise meydana gelen en büyük kayma gerilmesi ilk formülde verilen emniyetli kayma gerilmesini aşmıyorsa ara düşey berkitmelere gerek yoktur. Eğer ara berkitme gerekiyorsa bu ara berkitmeler meydana gelecek kayma gerilmesi t_v'nin emniyetli gerilme t_{em} olacak şekilde yerleştirilir.

Ayrıca $\frac{a}{h} \pounds\ \left(\frac{260}{h/t}\right)^2$ ve $\frac{a}{h} \pounds\ 3,0$ olmalıdır. **(6.40)**

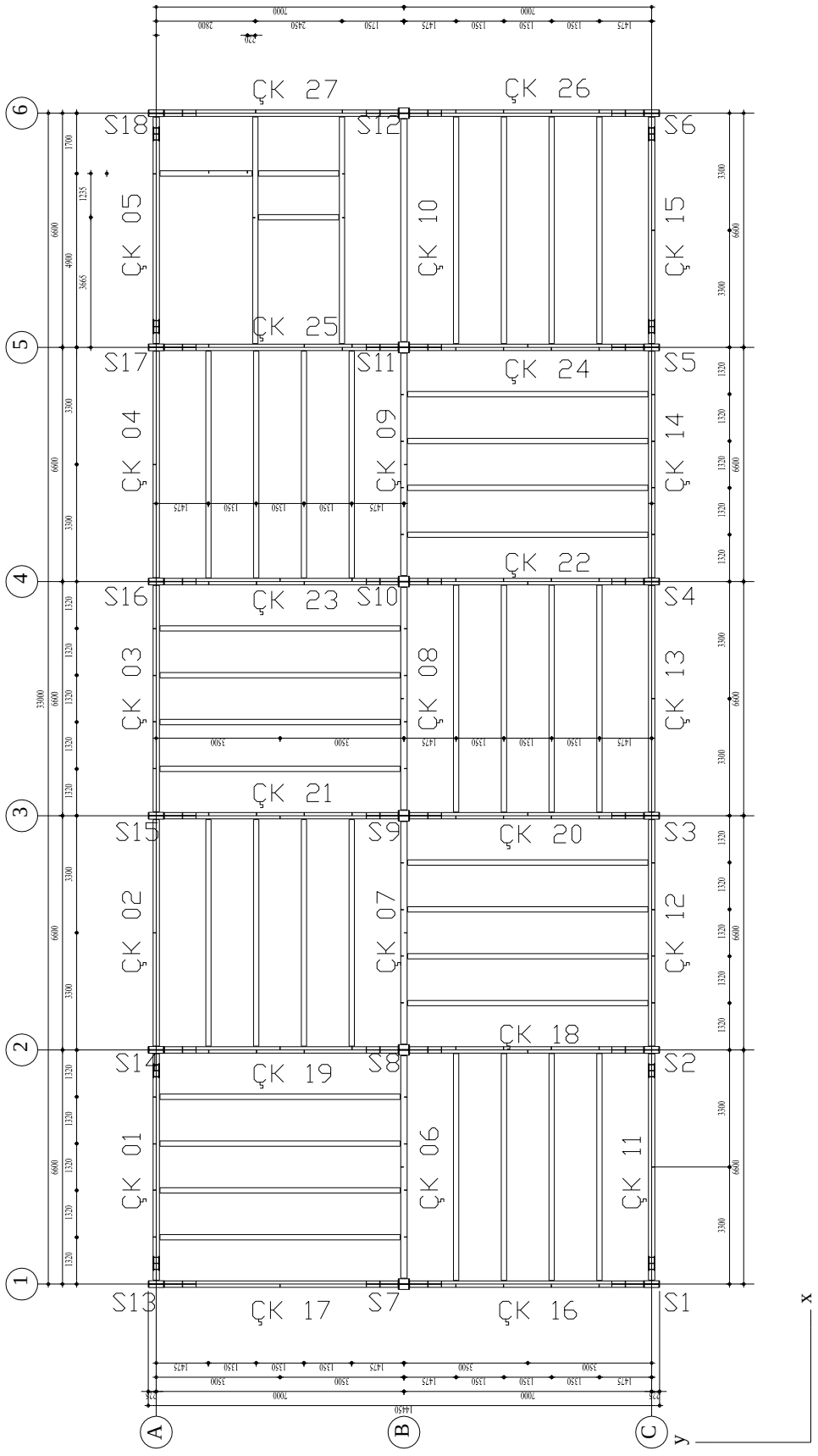
7.ÖRNEK YAPININ KARŞILAŞTIRILMALI DEPREM ANALİZİ

Bölümde mevcut bit yapı SAP2000 programı kullanılarak tekrar modellemesi yapılıp, Eurocode 8 ve A.B.Y.Y.H.Y'e göre dinamik analiz yaptırılıp uygun yükleme kombinasyonlarına göre, elde edilen sonuçlarla yapının TS 648 ve Eurocode 3'e göre uygun olup olmadığı karşılaştırılacaktır.

7.1 Yapının Tanımlanması

Yapı 33*14 boyutlarında 462 m^2'lik bir iş merkezidir. Zemin kat yüksekliği 2,68 m, diğer katların yüksekliği 3'er m'dir. Yapı zemin sınıfı Z1 olan 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Yapının planı Şekil 7.1 gibidir.

Yapının kolonları A ve C akslarında IPE 450, B Aksında HE-B 320 dürr. Binanın ana taşıyıcı kirişleri IPE400, tali kirişler IPE300 ve örgü çubukları HE-B 260'tır. Her katta 12 cm kalınlığında kompozit döşeme, rijit diyafram gibi çalışmaktadır. Taşıyıcı sistemin çelik elemanlar Fe 37, kompozit döşeme betonu C30 ve kompozit döşemede çift kat Q221/211 çelik hasır donatı kullanılacaktır. Kompozit döşemede kayma etkilerini almak için her kirişte trapez kesit aralarında stud çivileri çakılacaktır. Yapı plandan da anlaşılacağı gibi x doğrultusunda 5, y doğrultusunda 2 açıklığa sahiptir. Kirişler –x doğrultusu kirişleri basit kiriş olarak –y doğrultusunda kirişleri ise moment taşıyabilen kiriş olarak tasarlanmıştır. -x doğrultusu A,C/1-2 ve 5-6 akslarında yapıda dışmerkez güçlendirilmiş çaprazlar mevcuttur. Deprem etkileri bu çaprazlar tarafından karşılanmaktadır. Y doğrultusunda ise yapıya etkiyen deprem yükleri sadece çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Döşeme yüklerinin taşıyıcı kirişlere aktarılması için her döşemede sırasıyla -x ve -y doğrultusunda olmak üzere tali kirişler mevcuttur. Tali kirişler ana mafsallarla bağlanmış ve basit kiriş olarak düzenlenmiştir. Döşeme yükü tali kirişler vasıtasıyla ana kirişlere aktarılmaktadır. Yapının mimari planı Ek.1 ve Ek.2'de görülmektedir. Yapıya etkiyecek düşey yük analizi mimari plan esas alınarak yapılmıştır. Yapı sistemine ve boyutlandırılmaya esas hesaplar Ek.3'te sunulmuştur.



Şekil 7.1 Bina Planı

8.SONUÇ

8.1 Eurocode 8 ile A.B.Y.Y.H.Y'nin Karşılaştırılması

Eurocode 8 ve A.B.Y.Y.H.Y'nin genel amacı deprem hareketine maruz kalacak bina ve bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin deprem durumunda göçmeye karşı dayanıklı ve hasarı belli bir düzeyde tutarak tasarım yapmaktır.

Eurocode 8 ve A.B.Y.Y.H.Y'de farklı performans seviyelerine göre tasarım yapılmaktadır. Eurocode 8'de yapı 2 farklı şiddette depreme göre incelenmektedir. Birinci deprem şiddetinde yapıya hafif şiddetli bir deprem etkimektedir. Bu deprem etkisi altında yapıda kullanımın sınırlanacağı veya yüksek tutarlara mal olabilecek hasarların meydana gelmesi istenmemektedir. Yapı bu deprem yükünde tasarım aşamasındaki kabulleri yerine getirmeli ve az hasar almalıdır. İkinci deprem şiddetinde yapıya yüksek şiddetli bir deprem etkiyeceği düşünülerek tasarım yapılır. Bu deprem etkisi altında bölgesel veya tamamen göçmeye karşı yeterli dayanımın sağlanması gerekmektedir. Yapı depremden sonra yük taşıma kapasitesini sürdürebilmelidir. A.B.Y.Y.H.Y'de yapıya hafif şiddetli, orta şiddetli, ve yüksek şiddetli depremler etkidiğinde farklı performans beklentileri gözetilerek boyutlandırılırlar. Hafif şiddette, yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddette, yapısal veya yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabilir olması, yüksek şiddette ise can kaybının önüne geçilebilmesi için kısmen yada tamamen göçmesinin engellenmelidir.

Tasarımda kullanılan bu deprem yükü her iki yönetmelikte de elastik tasarım ivme spektrumuna göre belirlenir. Tasarımda yapılan kabullere göre her iki yönetmelikte deprem yükünü non-lineer sistemin enerji yutma kapasitesinden dolayı belirli bir katsayıya bölerek azaltır.

Yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri deprem bölgelerine göre farklılık gösterir A.B.Y.Y.H.Y'ye göre A_0 etkin yer ivme katsayısı 0,1'den 0,4'e kadar değişmektedir.Eurocode 8'de de benzer şekilde a katsayısı ile deprem bölgeleri deprem hesabına katılırlar.

Deprem yükü her iki yönetmelikte de zemin parametrelerinde göre değişmektedir. Eurocode 8'de A,B,C olmak üzere 3 çeşit zemin sınıfı tanımlanmıştır. A.B.Y.Y.H.Y'te ise tanımlanan zemin sınıfı sayısı 4'tür.

Yapıya etkiyen deprem kuvvetini, yapının ne amaçla kullanılacağı da etkilemektedir. Yapının ne amaçla kullanılacağı yapı önem katsayısı ile deprem kuvvetinin formülünde hesaba katılır. A.B.Y.Y.H.Y'de ve Eurocode 8'de çeşitli yapı tipleri için genel olarak benzer önem katsayıları vardır.

Yapının planda ve düşeyde düzensizlikleri ve sağlanması gereken koşullar her iki yönetmelikte de verilmiştir. Bu kritere uyan yapılar deprem analizi yapılırken daha basit metotlarla çözülebilirler. Bu kriterlere uymayan yapıların 3 boyutlu dinamik analizle çözülmesi tavsiye edilir. Analizde göz önünde bulundurulmayan yükler, kütle merkezine belirli bir dışmerkezlik verilerek göz önüne alınır. Fakat Eurocode 8'de e_2 gibi bir dışmerkezlik uygulanarak eşgüdümlü çevrimsel ve burulma etkileri de göz önüne alınmış olur.

Yapının analizinde A.B.Y.Y.H.Y Eşdeğer Statik Analiz, Eurocode 8 ise Basitleştirilmiş Modal Analiz kullanmaktadır. Bu analizlerin yapılması için gerekli şartlar iki yönetmelikte de benzer şartlar gerekmektedir. A.B.Y.Y.H.Y'de yapının yüksekliği 25 m'ye kadar herhangi bir DF göz önüne almadan yapılır. Eurocode 8 de ise 80 m'ye kadar olan yapılar için bir şart aranmaz. Yatay yer değiştirmeler iki yönetmelikte de sınırlandırılmıştır.

Plastik mafsal oluşumu için plastik moment kapasitesinin ve dönme kapasitesinin azalmasını önlemek için kolon kiriş birleşimlerinde bazı şartların sağlanmış olması gerekmektedir. A.B.Y.Y.H.Y'de is kolon ve kirişlerin göçme sıralarını ayarlamak için kolonların kirişlerden daha güçlü olma koşulu getirilmiştir.

8.2 Eurocode 3 ile TS 648'in Karşılaştırılması

Eurocode 3 hesap metodu olarak hem elastik analize göre hem plastik analize göre kullanılabilir. TS 648 ise sadece malzeme bakımından elastik hesap metotlarına izin verir. Enkesit sınıfları plastik ve elastik analizde farklı olduğu için Eurocode 3'te enkesit sınıflarına önem verilmiştir. d/t göre enkesitlere sınırlamalar getirmiştir. Eurocode 3'te enkesitler 4 sınıfa ayrılmıştır. Bunlarda 1 ve 2 no'lu sınıflar plastik 3 no'nu sınıf elastik analiz için kullanılır. TS 648'de ise sadece elastik analize göre hesap yapıldığı için d/t oranına göre enkesit sınıfı belirlenmemiştir. Yalnız kayma gerilmesi tahkikinde d/t ile ilgili koşullar mevcuttur.

Eurocode 3'te yük ve dayanım katsayıları olmak üzere 2 ayrı katsayı tipi mevcuttur. Bunlar yükün tipine göre değişik değerler almaktadır. Dayanım katsayıları tasarıma

esas taşıma güçlerini bulmak amacıyla kullanılan katsayılardır. TS 648'de ise sadece yük katsayıları vardır.

Eurocode 3 hesap esasları bakımından TS 648'e göre daha kapsamlı ve daha karışıktır. Tabloların çokluğu hesapları pratiklikten uzaklaştırmıştır.. TS 648 ise daha kullanışlıdır. Kesitler her iki yönetmeliğe göre irdelendiğinde TS648 Eurocode 3'e göre daha konservatif özellik göstermektedir.

Tablo 8.1

	TS 648					**Eurocode 3**				
Eleman	Kesit	Adet	L	Birim Ağ.(kg)	Toplam Ağ.(kg)	Kesit	Adet	L	Birim Ağ.(kg)	Toplam Ağ.(kg)
Dış Kol.	IPE450	12	2,68	77,6	2495,6	IPE400	12	2,68	66,3	2132,2
İç Kol.	HEB320	6	2,68	127	2042,2	HEB260	6	2,68	93	1495,4
X Kiriş	IPE400	12	7,00	66,3	5569,2	IPE330	12	7,00	43,1	3620,4
Y Kiriş	IPE400	15	6,6	66,3	6563,7	IPE400	15	6,6	66,3	6563,7
		Toplam Ağırlık (kg)			16671		Toplam Ağırlık (kg)			13812

Yapının ana taşıyıcı sisteminin kat ağırlıkları hesaplandığında Tablo 8.1'de görüldüğü gibi Eurocode 3, TS 648'e göre daha ekonomik sonuçlar vermektedir.

KAYNAKLAR

[1] A.B.Y.Y.H.Y, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.

[2] TS 648, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

[3]Depreme Dayanıklı Çelik Yapılar, E. Uzgider, B. Ö. Çağlayan. Türk Yapısal Çelik Birliği, İstanbul

[4] Çelik Yapılar, H. Deren, E. Uzgider, F. Piroğlu,. 1992.Çağlayan Kitabevi, İstanbul

[5] Örneklerle Sap 2000, G. Özmen, E. Orakdöğen, K. Darılmaz., Birsen Yayınları, İstanbul

[6] Eurocode 1, EVN 1991. Basis of Design, Part 1-1, CEN, Brussels

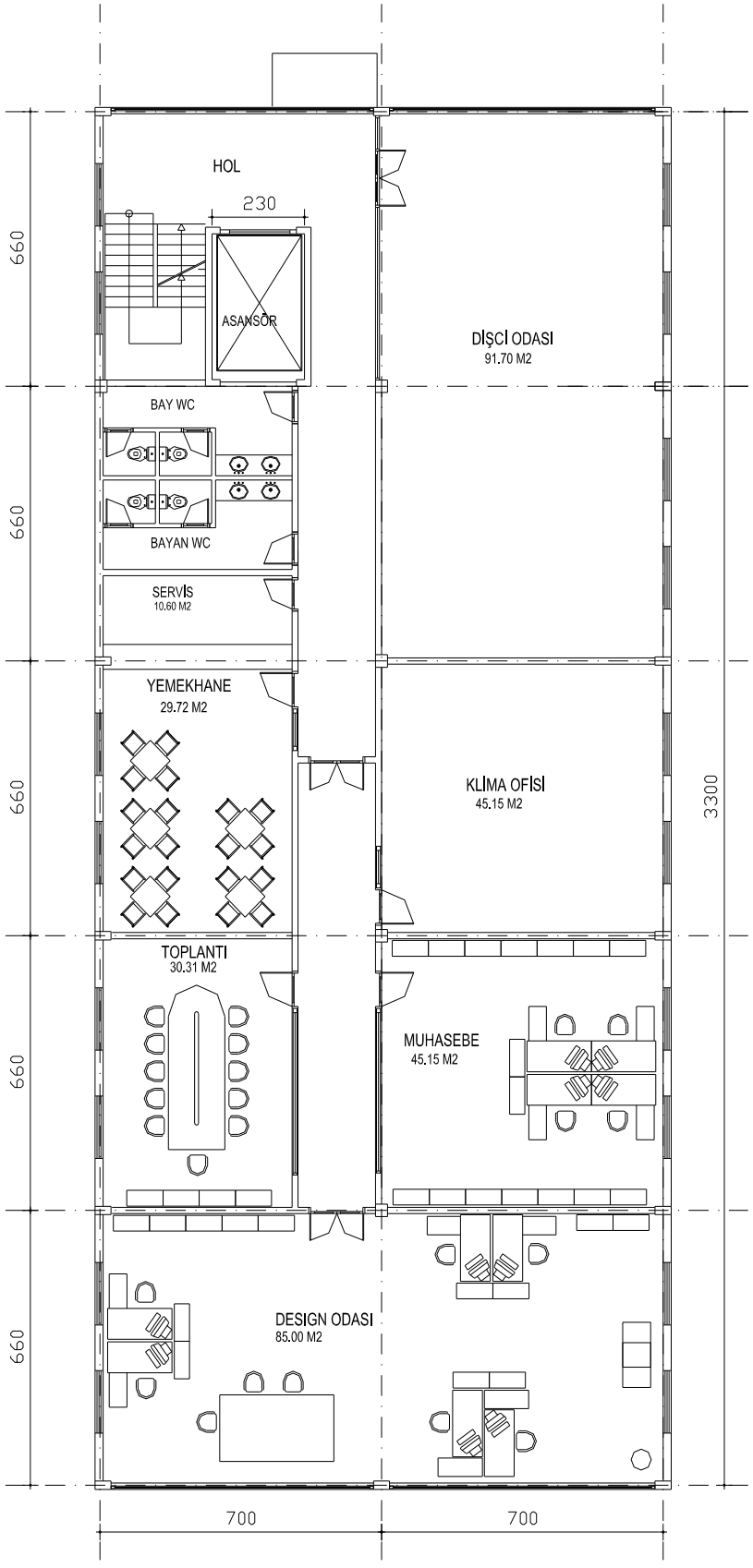
[7] Eurocode 1, EVN 1991. Basis of Design, Part 1-2, CEN, Brussels

[8] Eurocode 3, 1993. Design Of Steel Structures Part 1-1, CEN, Brussels

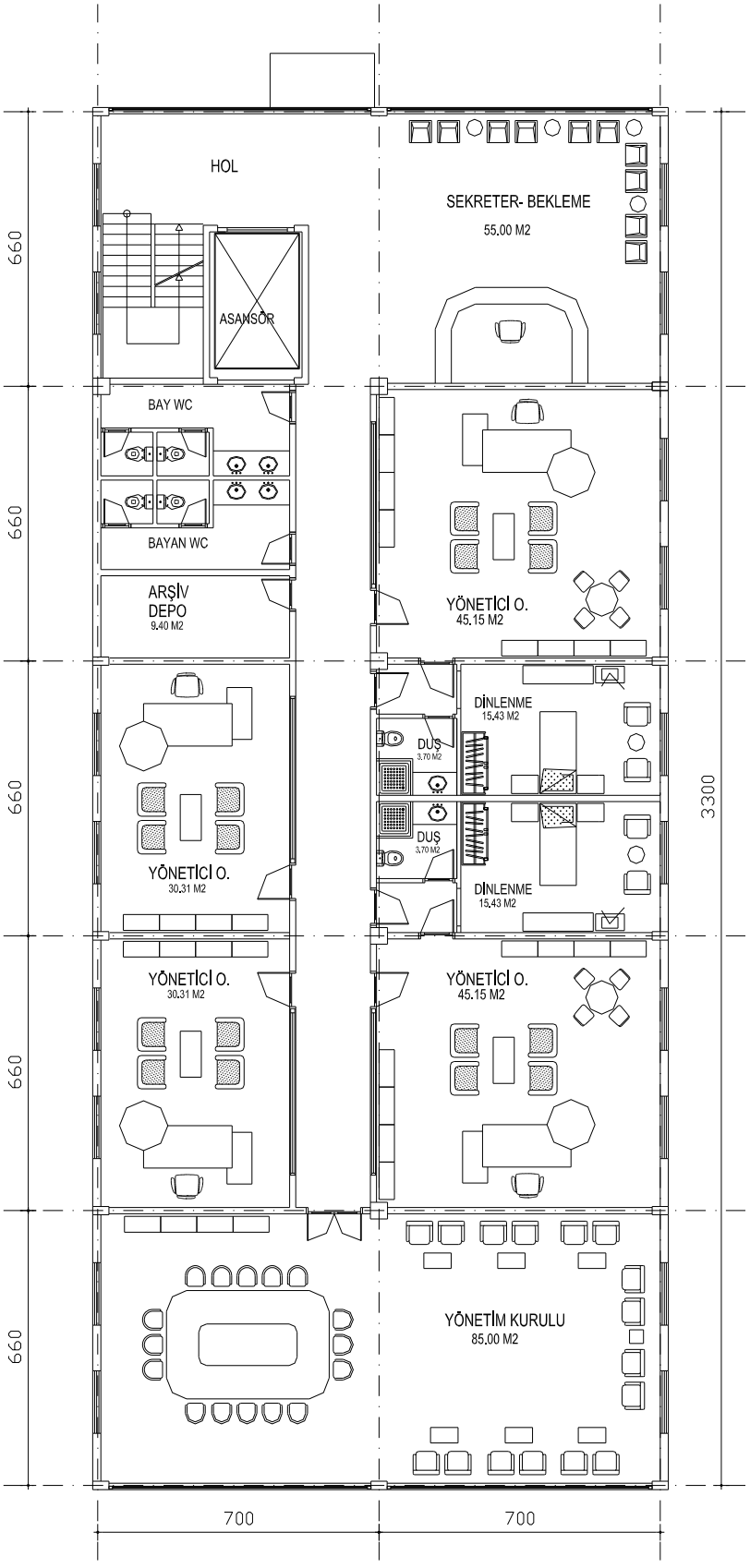
[9] Eurocode 8, EVN 1998. Desing of Structures for Earthquake Resistance, CEN, Brussels

[10] TS 498, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

EK-1 Birinci ve ikinci kat planı



EK-2 Üçüncü kat planı



E3 Düşey Yük Analizi

E3.1 Normal Kat Yükleri

Düşey yük analizi 1.kat, 2. kat ve 3.kat taban döşemesinde aşağıdaki gibi yapılmıştır.[10]

Sabit Yükler

12 cm betonarme plak (2,4 t/m^3)…… 0,288 t/m^2

3 cm tesviye harcı (1,9 t/m^3)…….. 0,057 t/m^2

2 cm mermer kaplama (2,8 t/m^3)…… 0,056 t/m^2

g = 0,401 t/m^2

Hareketli Yükler …….q = 0,200 t/m^2

E3.2 Çatı Katı

0,6 mm et kalınlıklı çift kat trapez sac levha (2*0,0046 t/m^2)… 0,0092 t/m^2

5 cm polishe patikular köpük ısı izolasyonu (0,015 t/m^3)…….. 0,0007 t/m^2

g = 0,010 t/m^2

Hareketli Yük

Kar Yükü ……q = 0,075 t/m^2

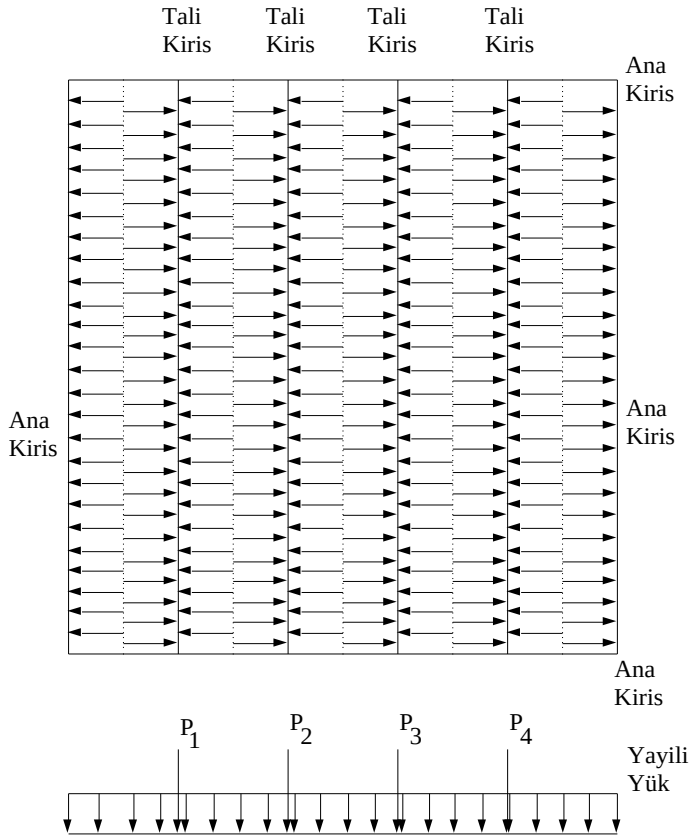
E3.3 Duvarlar

Dış Duvarlar 20 cm gaz beton ……... 0,120 t/m^2

İç Duvarlar 2 cm çift kat alçıpan ……. 0,036 t/m^2

E3.4 Sürekli Kirişlere Gelen Yükler

Ana kirişlere tali kirişler vasıtasıyla döşeme yükleri aktarılır. Bu yükler ana kirişlere tekil yük olarak etkir. Ayrıca tali kirişlerin kendi ağırlıkları da ana kirişlere tekil yük olarak etkimektedir.



Şekil E3.1 Yük Aktarımı

Her döşemenin yukarıdaki yük dağılımına göre kirişlere yük aktardığı kabul edilmiştir. Bu hesaplar yapılarak Kirişlere gelen yükler Tablo E3.1, E3.2, E3.3, E3.4'te gösterilmiştir.

Yapının düşey yük analizinden elde edilen bu değerler SAP 2000 programına sırayla girilmiştir.

E3.5 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Deprem Analizi

Yapımız Dışmerkez Güçlendirilmiş Çerçevelerden oluştuğu için R katsayısı R=7 olarak seçilmiştir. Yapı birince derece deprem bölgesi olduğundan dolayı A_0 katsayısı 0,4 olarak, yapı önem katsayısı binanın işyeri olmasından dolayı 1,0 olarak alınmıştır. Zemin grubunun spektrum karakteristik periyotları T_A = 0,10 sn, T_B =0,30 sn'dir. Hareketli yüklerin katılım katsayısı bina tipi işyeri olduğunda dolayı n=0,3'tür

Tablo E3.1

Kirişe Gelen Yükler (Sabit)									
Kat	Kiriş Adı	Yayılı Yük (t/m^2)				Tekil Yük (t)			
		Döşeme	Duvar	Kir. Ağ.	Toplam	P_1	P_2	P_3	P_4
3	ÇK301	0	0,3	0	0,3	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK302	0,2957	0,3	0	0,5957	0	0	0	0
	ÇK303	0	0,3	0	0,3	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK304	0,2957	0,3	0	0,5957	0	0	0	0
	ÇK305	0	0,3	0	0,3	0	0	0	0
	ÇK306	0,2957	0	0	0,2957	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK307	0,2957	0,09	0	0,3857	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK308	0,2957	0,09	0	0,3857	2,11912	2,11912	2,11912	2,11912
	ÇK309	0,2957	0,09	0	0,3857	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK310	0,64661	0	0	0,64661	0	0	0	0
	ÇK311	0,2957	0,3	0	0,5957	0	0	0	0
	ÇK312	0	0,3	0	0,3	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK313	0,2957	0,3	0	0,5957	0	0	0	0
	ÇK314	0	0,3	0	0,3	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK315	0,2957	0,3	0	0,5957	0	0	0	0
	ÇK316	0	0,3	0	0,3	2,00842	1,92572	1,92572	2,00842
	ÇK317	0,26466	0,3	0	0,56466	0	0	0	0
	ÇK318	0,26466	0,09	0	0,35466	2,00842	1,92572	1,92572	2,00842
	ÇK319	0,26466	0,09	0	0,35466	2,00842	2,22272	1,92572	2,00842
	ÇK320	0,26466	0,09	0	0,35466	2,07198	1,98647	1,98647	2,07198
	ÇK321	0,26466	0,09	0	0,35466	2,00842	2,28212	1,92572	2,00842
	ÇK322	0,26466	0,09	0	0,35466	2,07198	1,98647	1,98647	2,07198
	ÇK323	0,26466	0,09	0	0,35466	2,00842	2,28212	1,92572	2,00842
	ÇK324	0,26466	0,09	0	0,35466	2,00842	1,92572	1,92572	2,00842
	ÇK325	0	0,09	0	0,09	2,00842	2,22272	1,92572	2,00842
	ÇK326	0	0,3	0	0,3	2,00842	1,92572	1,92572	2,00842
	ÇK327	0	0,3	0	0,3	0	0	0	0

Tablo E3.2

Kirişe Gelen Yükler (Hareketli)									
Kat	Kiriş Adı	Yayılı Yük (t/m^2)				Tekil Yük (t)			
		Döşeme	Duvar	Kir. Ağ.	Toplam	P_1	P_2	P_3	P_4
3	ÇK301	0	0	0	0	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK302	0,14748	0	0	0,14748	0	0	0	0
	ÇK303	0	0	0	0	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK304	0,14748	0	0	0,14748	0	0	0	0
	ÇK305	0	0	0	0	0	0	0	0
	ÇK306	0,14748	0	0	0,14748	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK307	0,14748	0	0	0,14748	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK308	0,14748	0	0	0,14748	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK309	0,14748	0	0	0,14748	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK310	0,3225	0	0	0,3225	0	0	0	0
	ÇK311	0,14748	0	0	0,14748	0	0	0	0
	ÇK312	0	0	0	0	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK313	0,14748	0	0	0,14748	0	0	0	0
	ÇK314	0	0	0	0	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK315	0,14748	0	0	0,14748	0	0	0	0
	ÇK316	0	0	0	0	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK317	0,132	0	0	0,132	0	0	0	0
	ÇK318	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK319	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK320	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK321	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK322	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK323	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK324	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK325	0	0	0	0	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK326	0	0	0	0	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK327	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo E3.3

Kirişe Gelen Yükler (Sabit)									
Kat	Kiriş Adı	Yayılı Yük (t/m^2)				Tekil Yük (t)			
		Döşeme	Duvar	Kir. Ağ.	Toplam	P_1	P_2	P_3	P_4
1,2	ÇK101	0	0,2976	0,0663	0,3639	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK102	0,2957	0,2976	0,0663	0,6596	0	0	0	0
	ÇK103	0	0,2976	0,0663	0,3639	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK104	0,2957	0,2976	0,0663	0,6596	0	0	0	0
	ÇK105	0	0,2976	0,0663	0,3639	0	0	0	0
	ÇK106	0,2957	0	0,0663	0,362	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK107	0,2957	0,08928	0,0663	0,45128	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK108	0,2957	0,08928	0,0663	0,45128	2,12292	2,12292	2,12292	2,12292
	ÇK109	0,2957	0,08928	0,0663	0,45128	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK110	0,64661	0	0,0663	0,71291	0	0	0	0
	ÇK111	0,2957	0,2976	0,0663	0,6596	0	0	0	0
	ÇK112	0	0,2976	0,0663	0,3639	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK113	0,2957	0,2976	0,0663	0,6596	0	0	0	0
	ÇK114	0	0,2976	0,0663	0,3639	2,00032	2,00032	2,00032	2,00032
	ÇK115	0,2957	0,2976	0,0663	0,6596	0	0	0	0
	ÇK116	0	0,2976	0,0663	0,3639	2,00842	1,92572	1,92572	2,00842
	ÇK117	0,26466	0,2976	0,0663	0,62856	0	0	0	0
	ÇK118	0,26466	0,08928	0,0663	0,42024	2,00842	1,92572	1,92572	2,00842
	ÇK119	0,26466	0,08928	0,0663	0,42024	2,00842	2,23222	1,92572	2,00842
	ÇK120	0,26466	0,08928	0,0663	0,42024	2,00842	1,92572	1,92572	2,00842
	ÇK121	0,26466	0,08928	0,0663	0,42024	2,00842	2,23222	1,92572	2,00842
	ÇK122	0,26466	0,08928	0,0663	0,42024	2,00842	1,92572	1,92572	2,00842
	ÇK123	0,26466	0,08928	0,0663	0,42024	2,13961	2,35761	2,0511	2,13961
	ÇK124	0,26466	0,08928	0,0663	0,42024	2,00842	1,92572	1,92572	2,00842
	ÇK125	0	0,08928	0,0663	0,15558	2,00842	2,23222	1,92572	2,00842
	ÇK126	0	0,2976	0,0663	0,3639	2,00842	1,92572	1,92572	2,00842
	ÇK127	0	0,2976	0,0663	0,3639	0	0	0	0

Tablo E3.4

Kirişe Gelen Yükler (Hareketli)									
Kat	Kiriş Adı	Yayılı Yük (t/m^2)				Tekil Yük (t)			
		Döşeme	Duvar	Kir. Ağ.	Toplam	P_1	P_2	P_3	P_4
1,2	ÇK101	0	0	0	0	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK102	0,14748	0	0	0,14748	0	0	0	0
	ÇK103	0	0	0	0	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK104	0,14748	0	0	0,14748	0	0	0	0
	ÇK105	0	0	0	0	0	0	0	0
	ÇK106	0,14748	0	0	0,14748	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK107	0,14748	0	0	0,14748	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK108	0,14748	0	0	0,14748	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK109	0,14748	0	0	0,14748	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK110	0,3225	0	0	0,3225	0	0	0	0
	ÇK111	0,14748	0	0	0,14748	0	0	0	0
	ÇK112	0	0	0	0	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK113	0,14748	0	0	0,14748	0	0	0	0
	ÇK114	0	0	0	0	0,924	0,924	0,924	0,924
	ÇK115	0,14748	0	0	0,14748	0	0	0	0
	ÇK116	0	0	0	0	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK117	0,132	0	0	0,132	0	0	0	0
	ÇK118	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK119	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK120	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK121	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK122	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK123	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK124	0,132	0	0	0,132	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK125	0	0	0	0	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK126	0	0	0	0	0,93225	0,891	0,891	0,93225
	ÇK127	0	0	0	0	0	0	0	0

Deprem etkisine göre A.B.Y.Y.H.Y'de aşağıdaki yer değiştirme, düzensizlik ve 2. mertebe etkilerinin kontrolleri yapılmalıdır.

$$h_{bi} = (D_i)_{max} / (D_i)_{ort} > 1,2 \qquad \textbf{(E3.1)}$$

$$(D_i)_{max} / h_i \leq 0,0035 \qquad \textbf{(E3.2)}$$

$$(D_i)_{max} / h_i \leq 0,02 / R = 0,0025 \qquad \textbf{(E3.3)}$$

$q \leq 0,12$ şartları sağlanmalıdır. **(E3.4)**

TS 648 ve A.B.Y.Y.H.Y için düşey yükler ve deprem yükü etkisi altında en elverişsiz yükleme durumları olan;

G+Q+E (1) ve 0,9G+E (2) **(E3.5)**

yüklemeleri yük kombinasyonları olarak SAP 2000 programında tanımlanmıştır. Yapının modal analizleri yapılmıştır. Yapıya dinamik analiz yapılarak deprem etkisi altında meydana gelen kuvvetler ve yer değiştirmeler bulunmuştur. Dinamik analiz sonucu elde edilen değerler aşağıda verilmiştir.[5]

Yapının titreşim periyotları:

T_1: 0,6934 sn

T_2: 0,6421 sn.

T_3: 0,4723 sn

T_4: 0,4238 sn

T_5: 0,2706 sn

T_6: 0,2374 sn

T_7: 0,2108 sn

T_8: 0,2082 sn

olarak elde edilmiştir.

Tablo E3.5'te de görüldüğü gibi yapıda burulma düzensizliği meydana gelmemiş ve sistem bütün yer değiştirme şartlarını sağlamıştır.

$$q_i = \frac{(D_i)_{ort} \sum_{j=1}^{N} W_j}{V_i h_i} \qquad \textbf{(E3.6)}$$

Zemin kat için;

$$q_{zy} = \frac{0,0027 * 711,38}{2,68 * 65,41} = 0,011 < 0,12$$

Birinci kat için;

$$q_{1y} = \frac{0,00504 * 476,98}{2,68 * 55,715} = 0,016 < 0,12$$

Sistemde ikinci mertebe etkileri ihmal edilebilir düzeydedir.

Tablo E3.5

	A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Rölatif Kat Yerdeğiştirmeleri							
	Zemin kat		1. kat		2. Kat		3. Kat	
	Sx	Sy	Sx	Sy	Sx	Sy	Sx	Sy
S1	0,001094	0,003252	0,003413	0,006013	0,002212	0,004795	0,00096	0,00326
S2	0,001094	0,003056	0,003413	0,005608	0,002212	0,004466	0,00096	0,00351
S3	0,001094	0,002865	0,003413	0,005214	0,002212	0,004151	0,00096	0,00326
S4	0,001094	0,002681	0,003413	0,004832	0,002212	0,003847	0,00096	0,00298
S5	0,001094	0,002504	0,003413	0,004467	0,002212	0,003549	0,00096	0,00232
S6	0,001094	0,002336	0,003413	0,004123	0,002212	0,003281	0,00096	0,00218
S7	0,001123	0,003252	0,003476	0,006013	0,002266	0,004795		
S8	0,001123	0,003056	0,003476	0,005608	0,002232	0,004466		
S9	0,001123	0,002865	0,003476	0,005214	0,002232	0,004151		
S10	0,001123	0,002681	0,003476	0,004832	0,002232	0,003847		
S11	0,001123	0,002504	0,003476	0,004467	0,002232	0,003549		
S12	0,001123	0,002336	0,003476	0,004123	0,002232	0,003281		
S13	0,001159	0,003252	0,003545	0,006013	0,002331	0,004795	0,000897	0,00326
S14	0,001159	0,003056	0,003545	0,005608	0,002331	0,004466	0,000897	0,00351
S15	0,001159	0,002865	0,003545	0,005214	0,002331	0,004151	0,000897	0,00326
S16	0,001159	0,002681	0,003545	0,004832	0,002331	0,003847	0,000897	0,00298
S17	0,001159	0,002504	0,003545	0,004467	0,002331	0,003549	0,000897	0,00232
S18	0,001159	0,002336	0,003545	0,004123	0,002331	0,003281	0,000897	0,00218
$(\Delta_i)_{Ort}$	0,001125	0,002782	0,003478	0,005043	0,00226	0,004015	0,000929	0,002918
$(\Delta_i)_{maks}$	0,001159	0,003252	0,003545	0,006013	0,002331	0,004795	0,000897	0,00326
$(\Delta_i)_{maks}/(\Delta_i)_{ort}$	1,029917	1,168803	1,019264	1,192385	1,031315	1,194321	0,966074	1,117076
$(\Delta_i)_{maks}/h_i$	0,000432	0,001213	0,001323	0,002244	0,00087	0,001789	0,000335	0,001216

Tablo E3.6

	Eurocode 8'e Göre Rölatif Kat Yerdeğiştirmeleri							
	Zemin kat		1. kat		2. Kat		3. Kat	
	Sx	Sy	Sx	Sy	Sx	Sy	Sx	Sy
S1	0,001389	0,003811	0,004336	0,007029	0,002799	0,00561	0,001048	0,003825
S2	0,001389	0,00358	0,004336	0,006555	0,002799	0,005225	0,001048	0,00412
S3	0,001389	0,00335	0,004336	0,006101	0,002799	0,004849	0,001048	0,00388
S4	0,001389	0,003356	0,004336	0,005438	0,002799	0,004496	0,001048	0,0035
S5	0,001389	0,003141	0,004336	0,005018	0,002799	0,004171	0,001048	0,00271
S6	0,001389	0,002744	0,004336	0,004842	0,002799	0,003844	0,001048	0,00265
S7	0,001426	0,003811	0,004416	0,007029	0,002868	0,00561		
S8	0,001426	0,00358	0,004416	0,006555	0,002868	0,005225		
S9	0,001426	0,00335	0,004416	0,006101	0,002868	0,004849		
S10	0,001426	0,003356	0,004416	0,005438	0,002868	0,004496		
S11	0,001426	0,003141	0,004416	0,005018	0,002868	0,004171		
S12	0,001426	0,002744	0,004416	0,004842	0,002868	0,003844		
S13	0,001472	0,003811	0,004505	0,007029	0,002943	0,00561	0,000904	0,003825
S14	0,001472	0,00358	0,004505	0,006555	0,002943	0,005225	0,000904	0,00412
S15	0,001472	0,00335	0,004505	0,006101	0,002943	0,004849	0,000904	0,00388
S16	0,001472	0,003356	0,004505	0,005438	0,002943	0,004496	0,000904	0,0035
S17	0,001472	0,003141	0,004505	0,005018	0,002943	0,004171	0,000904	0,00271
S18	0,001472	0,002744	0,004505	0,004842	0,002943	0,003844	0,000904	0,00265
$(\Delta_i)_{Ort}$	0,001429	0,00333	0,004419	0,005831	0,00287	0,004699	0,000976	0,003448
$(\Delta_i)_{maks}$	0,001472	0,003811	0,004505	0,007029	0,002943	0,00561	0,000904	0,003825
$(\Delta_i)_{maks}/(\Delta_i)_{ort}$	1,030091	1,14433	1,019461	1,205557	1,025436	1,193829	0,92623	1,1095
$(\Delta_i)_{maks}/h_i$	0,000549	0,001422	0,001681	0,002623	0,001098	0,002093	0,000337	0,001427

E.3.6 Eurocode 8'e Göre Deprem Analizi

Yapımız Dışmerkez güçlendirilmiş çerçevelerden oluştuğu için q katsayısı q=5,5 olarak seçilmiştir. Yapı birince derece deprem bölgesi olduğundan dolayı a katsayısı $a_g / g = 0,4$ olarak, yapı önem katsayısı binanın işyeri olmasından dolayı 1,0 olarak alınmıştır. Zemin A grubu zeminindir. Hareketli yüklerin katılım katsayısı bina tipi işyeri olduğunda dolayı n=0,3'tür.

Deprem etkisine göre Eurocode 8'de aşağıdaki yer değiştirme, düzensizlik ve 2. mertebe etkilerinin kontrolleri yapılmalıdır.

$(d_i)_{max} / (d_i)_{ort} > 1,2$ **(E3.7)**

$(d_r) / n \pounds 0,004h$ **(E3.8)**

$q \pounds 0,12$ şartları sağlanmalıdır.

Eurocode 3 ve Eurocode 8'de düşey yükler ve deprem yükü etkisi altında en elverişsiz yükleme durumları olan;

G+0,3Q+E ve **(E3.9)**

0,9G+E **(E3.10)**

1,35G+1,5Q **(E3.11)**

yüklemeleri yük kombinasyonları olarak SAP 2000 programında tanımlanmıştır. Yapının modal analizleri yapılmış dinamik analiz yapılarak deprem etkisi altında meydana gelen kuvvetler ve yer değiştirmeler bulunmuştur. Dinamik analiz sonucu elde edilen değerler aşağıda verilmiştir.

Yapının titreşim periyotları:

T_1: 0,6934 sn

T_2: 0,6421 sn.

T_3: 0,4723 sn

T_4: 0,4238 sn

T_5: 0,2706 sn

T_6: 0,2374 sn

T_7: 0,2108 sn

T_8: 0,2082 sn
olarak elde edilmiştir.

Tablo E3.6'te de görüldüğü gibi yapıda burulma düzensizliği meydana gelmemiş ve sistem bütün yer değiştirme şartlarını sağlamıştır

$$q_i = \frac{(D_i)_{ort} \sum_{j=1}^{N} W_j}{V_i h_i} \qquad \textbf{(E3.12)}$$

Zemin kat için;

$$q_{zy} = \frac{0,00333 * 711,38}{2,68 * 75,909} = 0,011 < 0,10$$

Birinci kat için;

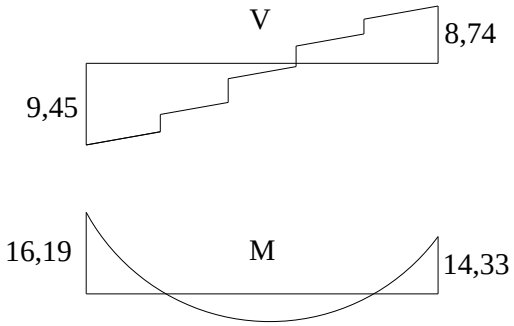
$$q_{1y} = \frac{0,00583 * 476,98}{2,68 * 65,3} = 0,015 < 0,10$$

Sistemde ikinci mertebe etkileri ihmal edilebilir düzeydedir.

E3.7 A.B.Y.Y.H.Y'e Göre Boyutlandırma Kontrolleri

E3.7.1 Moment Taşıyıcı Çerçeve Kirişi

Y doğrultusunda maksimum moment A-B/1-2 aksları arasındaki ÇK119 kirişinde vardır. Bu kirişe etkiyen kesit zorları aşağıda verilmiştir.



IPE 400 kesitinin özellikleri

h: 40 cm, $t_b = 1,35\,cm$, $t_g = 0,86\,cm$, $d_g = 33,1\,cm$, b=18cm, $I_x = 23130cm^4$, $i_x = 16,55cm$, $W_x = 1156cm^3$, $I_y = 1318cm^4$, $i_y = 3,95cm$, $W_y = 146,4cm^3$

$$s_{max} = \frac{M_{max}}{W_x}, \qquad s_{max} = \frac{1619}{1156} = 1,4\ t/cm^2,\ s_{max} < 1,6\ t/cm^2 \qquad \text{(HZ)}$$

$$t_{max} = \frac{Q_{max}}{F_g}, \qquad t_{max} = \frac{9,45}{0,86*33,1} = 0,332\ t/cm^2, t_{max} < 1,05\ t/cm^2 \text{ (HZ)}$$

Başlıkta gerilme tahkiki yapılmalıdır.

$$s_{V,M} = \sqrt{1,4^2 + 3*0,332^2} = 1,513\ t/cm^2\ ,$$

$$s_{V,M} < 0,8s_a = 1,92\ t/cm^2$$

Sehim Kontrolü:

Kirişte maksimum sehim soldan 4,175 m de 0,5 cm'dir.

$$f_{lim} < \frac{L}{300} = \frac{700}{300} = 2,33cm$$

Yanal Burkulma Kontrolü:

$$C_0 = 1,75 + 1,05(\frac{-2,82}{16,19}) + 0,3(\frac{-2,82}{16,19})^2$$

$$C_0 = 1,055 \quad s_a = 2400\ kg/cm^2$$

$$\sqrt{\frac{30000000*1,055}{2400}} = 114,83$$

Kiriş, tali kirişlerle en geniş aralık 1,475 m olmak üzere tutulmuştur.

s = 1,475 m.

Basınç başlığının atalet yarıçapı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$i_y = \sqrt{\frac{\frac{1}{12}*t_b*b_b^3}{t_b*b_b + \frac{1}{6}*t_g(d - 2t_b)}}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{\frac{1}{12}*1,35*18^3}{1,35*18+\frac{1}{6}*0,86(40-\ 2*1,35)}} = 4,70cm$$

$$\frac{s}{i_y} = \frac{147,5}{4,7} = 31,32$$

$$31,32 < 114,83 \text{ ®}$$

$$s_B = \left[0,67-\frac{2400*(147,5/4,7)^2}{90000000*C_0}\right]*2400$$

$$s_B = 0,64s_a \text{ ®} \ s_B = 0,6s_a$$

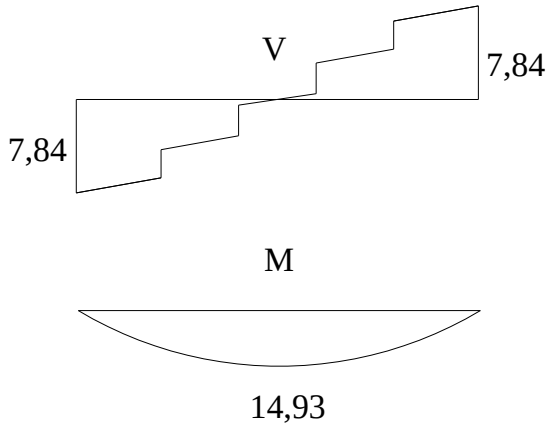
Gövdedeki en büyük kayma gerilmesi;

$$\frac{h}{t} = \frac{37,3}{0,85} = 43,88 \text{ £ } 260 \text{ ve}$$

$t_{max} = 0,332 < 0,4s_a$ olduğundan dolayı gövdede takviyeye ihtiyaç yoktur.

E3.7.2 X Doğrultusu Kirişleri – Basit Kirişler

X doğrultusunda maksimum moment B/4-5 aksları arasındaki ÇK109 kirişinde vardır. Bu kirişe etkiyen kesit zorları aşağıda verilmiştir.



IPE 400 kesitinin özellikleri

h: 40 cm, $t_b = 1,35cm$, $t_g = 0,86\,cm$, $d_g = 33,1cm$, b=18cm, $I_x = 23130cm^4$, $i_x = 16,55cm$, $W_x = 1156cm^3$, $I_y = 1318cm^4$, $i_y = 3,95cm$, $W_y = 146,4cm^3$

$$s_{max} = \frac{M_{max}}{W_x}, \qquad s_{max} = \frac{1493}{1156} = 1,291\ t/cm^2\ ,\ s_{max} < 1,6\ t/cm^2 \qquad \text{(HZ)}$$

$$t_{max} = \frac{Q_{max}}{F_g}, \qquad t_{max} = \frac{7,84}{0,86*33,1} = 0,275\ t/cm^2\ , t_{max} < 1,05\ t/cm^2 \text{ (HZ)}$$

Sehim Kontrolü:

Kirişte maksimum sehim 1,5 cm'dir.

$$f_{lim} < \frac{L}{300} = \frac{700}{300} = 2,33cm$$

Yanal Burkulma Kontrolü:

$$C_0 = 1,75 + 1,05(\frac{-9,88}{14,83}) + 0,3(\frac{-9,88}{14,83})^2$$

$$C_0 = 1,183$$

$$s_a = 2400\ kg/cm^2$$

$$\sqrt{\frac{30000000*1,183}{2400}} = 121,83$$

Kiriş, tali kirişlerle en geniş aralık 1,32 m olmak üzere tutulmuştur.

s = 1,32 m.

Basınç başlığının atalet yarıçapı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$i_y = \sqrt{\frac{\frac{1}{12}*t_b*b_b^{\ 3}}{t_b*b_b + \frac{1}{6}*t_g(d - 2t_b)}}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{\frac{1}{12}*1,35*18^3}{1,35*18 + \frac{1}{6}*0,86(40 - 2*1,35)}} = 4,70cm$$

$$\frac{s}{i_y} = \frac{132}{4,7} = 28,05$$

$$28,05 < 121,83 \text{ ®}$$

$$s_B = \left[0,67 - \frac{2400*(132/4,7)^2}{90000000*C_0}\right]*2400$$

$$s_B = 0,645 s_a \text{ ®} \; s_B = 0,6 s_a$$

Gövdedeki en büyük kayma gerilmesi;

$$\frac{h}{t} = \frac{37,3}{0,85} = 43,88 \text{ £ } 260 \text{ ve}$$

$t_{max} = 0,275 < 0,4 s_a$ olduğundan dolayı gövdede takviyeye ihtiyaç yoktur.

E3.7.3 B Aksı Kolonların Burkulma Dayanımı-Eksenel Basınçlı Eğilme

B aksında en büyük eksenel basınçlı eğilme S10 Kolonu zemin katta meydana gelmiştir.

HE-B 320 kesitinin özellikleri

h: 32 cm, $t_b = 2,05$ cm, $t_g = 1,15$ cm, b=30cm, $I_x = 30820 cm^4$, $i_x = 13,82 cm$, $W_x = 1926 cm^3$, $I_y = 9239 cm^4$, $i_y = 7,57 cm$, $W_y = 615,9 cm^3$, $A = 161,30 cm^2$

N_{max} = 93,58t M_{max}=7,91tm'dir

Eksenel basınçlı eğilmeye uğrayan kesitler aşağıdaki şartı sağlamalıdır.

$$\frac{s_b}{s_{b,emn}} + \frac{C_{mx}.s_{bx}}{1-\left(\frac{s_b}{s_{bE,emn,x}}\right)s_{Bx,emn}} + \frac{C_{my}.s_{bx}}{1-\left(\frac{s_b}{s_{bE,emn,y}}\right)s_{By,emn}} \text{ £ } 1$$

$$s_{bE,emn,x} = \frac{p^2 E}{(K.s_b/i_b)^2}.\frac{1}{2,5}$$

$$s_{bE,emn,x} = \frac{8290467}{(1,2*2,68/13,82)^2}.\frac{1}{2,5} = 15,309 \; t/cm^2$$

$$i_y = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} * 2,05 * 30^3}{2,05 * 30 + \frac{1}{6} * 1,15(32 - 2 * 2,05)}} = 8,30cm$$

$$\frac{s}{i_y} = \frac{268}{8,30} = 32 \ , \ C_0 = 2,18$$

$$s_B = \left[0,67 - \frac{2400 * (32)^2}{90000000 * 2,18}\right] * 2400$$

$$s_B = 0,6 s_a$$

Çerçevelerde yanal deplasman olduğu için $C_m = 0,85$'dir. Basit kirişler doğrultusunda moment olmadığı için;

$$\frac{s_b}{s_{b,emn}} + \frac{C_{mx} . s_{bx}}{1 - \left(\frac{s_b}{s_{bE,emn,x}}\right) s_{Bx,emn}} \leq 1 \text{ olur.}$$

$$s_b = \frac{N}{F} = \frac{93,58}{161,30} = 0,58 \ t/cm^2$$

$$s_{bx} = \frac{M}{W} = \frac{791}{1926} = 0,411 \ t/cm^2$$

$$s_{b,emn} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{l}{l_p}\right)^2\right] s_a}{n}$$

$l < l_p$ olduğu için;

$$s_{b,emn} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{28,4}{131,4}\right)^2\right] 2400}{n}$$

$20 < l < l_p$ olduğu için;

$$n = 1,5 + 1,2\left(\frac{l}{l_p}\right) - 0,2\left(\frac{l}{l_p}\right)^3$$

$$n = 1,76$$

$$s_{b,emn} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{l}{l_p}\right)^2\right] 2400}{1,76} = 1,339 \; t/cm^2$$

$$\frac{0,58}{1,339} + \frac{0,85.0,411}{1 - \left(\frac{0,58}{15,309}\right) 1,44} = 0,802 \leq 1$$

olduğu için kesitin burkulma güvenliği sağlanmaktadır.

E3.7.4 A-C Aksı Kolonların Burkulma Dayanımı-Eksenel Basınçlı Eğilme

IPE 450 kesitinin özellikleri

$h = 45\,cm,\;\; t_b = 1,46\,cm,\;\; t_g = 0,94\,cm,\;\; b=19cm,\;\; I_x = 33740cm^4,\;\; i_x = 18,48cm,$
$W_x = 1500cm^3,\; I_y = 1676cm^4,\; i_y = 4,12cm,\; W_y = 176,4cm^3,\; A = 98,82cm^2$

$N_{max} = 93,58t$ $M_{max}=7,91tm$'dir

Eksenel basınçlı eğilmeye uğrayan kesitler aşağıdaki şartı sağlamalıdır.

$$\frac{s_b}{s_{b,emn}} + \frac{C_{mx}.s_{bx}}{1 - \left(\frac{s_b}{s_{bE,emn,x}}\right) s_{Bx,emn}} + \frac{C_{my}.s_{bx}}{1 - \left(\frac{s_b}{s_{bE,emn,y}}\right) s_{By,emn}} \leq 1$$

$$s_{bE,emn,x} = \frac{p^2 E}{\left(K.s_b / i_b\right)^2} . \frac{1}{2,5}$$

$$s_{bE,emn,x} = \frac{8290467}{\left(1,2*2,68/18,48\right)^2} . \frac{1}{2,5} = 10,949 \; t/cm^2$$

$$i_y = \sqrt{\frac{\frac{1}{12}*1,46*19^3}{1,46*19 + \frac{1}{6}*0,94(45 - 2*1,46)}} = 12,076cm$$

$$\frac{s}{i_y} = \frac{268}{12,076} = 22,19$$

$$C_0 = 1,922$$

$$s_B = \left[0,67 - \frac{2400*(22,19)^2}{90000000*2,18}\right]*2400$$

$$s_B = 0,6s_a$$

Çerçevelerde yanal deplasman olduğu için $C_m = 0,85$'dir. Basit kirişler doğrultusunda moment olmadığı için;

$$\frac{s_b}{s_{b,emn}} + \frac{C_{mx}.s_{bx}}{1-\left(\frac{s_b}{s_{bE,emn,x}}\right)s_{Bx,emn}} \pounds 1 \text{ olur.}$$

$$s_b = \frac{N}{F} = \frac{65,58}{98,82} = 0,664\ t/cm^2$$

$$s_{bx} = \frac{M}{W} = \frac{955}{1500} = 0,636\ t/cm^2$$

$$s_{b,emn} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{l}{l_p}\right)^2\right]s_a}{n}$$

$l < l_p$ olduğu için; $l = 52,03$

$$s_{b,emn} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{52,03}{131,4}\right)^2\right]2400}{n}$$

$20 < l < l_p$ olduğu için;

$$n = 1,5 + 1,2\left(\frac{l}{l_p}\right) - 0,2\left(\frac{l}{l_p}\right)^3$$

$$n = 1,963$$

$$s_{b,emn} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{l}{l_p}\right)^2\right]2400}{1,96} = 1,128\ t/cm^2$$

$$\frac{0,664}{1,128} + \frac{0,85.0,636}{1- \left(\frac{0,664}{10,949}\right)^{1,44}} = 0,934 \pounds 1$$

olduğu için kesitin burkulma güvenliği sağlanmaktadır.

E3.7.5 Bağlantı Kirişi ve Örgü Çubuklarının Kontrolü

Kısa uzunlukta link elemanı için

$$e \pounds 1,6\frac{M_p}{V_p}$$

olmalıdır. I kesitler ve dikdörtgen kutu kesitler için plastik moment kapasitesi[3]

$$M_p = s_a.W_p$$

$$W_p = \frac{b.d^2 - (b - t_g).(d - 2t_b)^2}{4}$$

IPE 400 için

$$W_p = \frac{18*40^2 - (18 - 0,86).(40 - 2*1,352)^2}{4}$$

$$W_p = 1238,38cm^3$$

$$M_p = 2,4.1238,38 = 2917,112tm$$

$$V_p = 0,55*2,4*(40 - 2*1,35)*0,86 = 42,34t$$

$$e \pounds 1,6\frac{2972,112}{42,34} = 112cm$$

D.G.Ç yapılırken kısa link esas alınmıştır.

Link Elemanının kesme Kontrolü

$$V_t \pounds 0,80V_p$$

Kesitte en fazla 15,18 t kesme kuvveti vardır. Link eleman gerekli şartı sağlamaktadır.

$$\frac{b_b}{2t_b} \pounds\ 0,31\sqrt{\frac{E}{s_a}}, \qquad \frac{18}{2*1,35} = 6,67 \pounds\ 0,31\sqrt{\frac{2100000}{2400}} = 9,16$$

Örgü Çubuklarının Kontrolü:

HE-B 260 kesitinin özellikleri

$h = 26\,cm,\quad t_b = 1,75\,cm,\quad t_g = 1,0\,cm,\quad b=26cm,\quad I_x = 14920cm^4,\quad i_x = 11,22cm,$
$W_x = 1148cm^3,\qquad I_y = 5135cm^4,\qquad i_y = 6,58cm,\qquad W_y = 395cm^3,$
$A = 118,40cm^2\ L_{ö} = 620,8cm$

$l = \frac{620,8}{6,58} = 94,34,\ l < 100$ şartı sağlanıyor.

Bağlantı kirişini kontrol eden kuvvet:

$V_p = 42,34t$

$L_{ö} = 620,8cm$

$N_{ö} = V_p * \tan a = 42,34*2,31 = 98,07$

$N_{bu} = 98,07*1,5 = 147,3t$

St 37 çubuğu için $w = 1,84$

$$N_{kr} = \frac{As_a}{w} = \frac{118,40*2,4}{1,84} = 154,43t$$

$N_{kr} > N_{bu}$

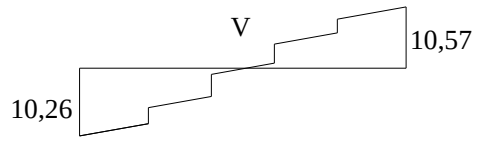
E3.8 Eurocode 3'e Göre Boyutlandırma Kontrolleri

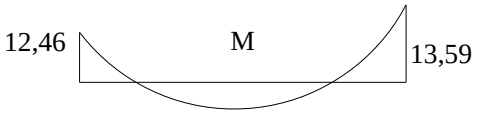
E3.8.1 Moment taşıyıcı Çerçevelerde Kontroller

Yapılan analizde en büyük kesit zoru ÇKB 24 kirişinde olmuştur.

IPE 400 kesitinin özellikleri

h: 40 cm, $t_b = 1,35\,cm$, $t_g = 0,86\,cm$, $d_g = 33,1cm$, b=18cm, $I_x = 23130cm^4$, $i_x = 16,55cm$, $W_x = 1156cm^3$, $I_y = 1318cm^4$, $i_y = 3,95cm$, $W_y = 146,4cm^3$





Kesitin başlık kontrolü:

$$\frac{d}{t_g} = \frac{33,1}{0,86} = 38,4 < 124e$$

$$\frac{c}{t_b} = \frac{(18 - 0,86)/2}{1,35} = 6,34 < 14e$$

Kesitte Kesme Dayanımı Kontrolü:

V_{sd} £ $V_{pl.Rd}$

şartı sağlanmalıdır.

$$V_{pl.Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}} \qquad A_v = 1,04.h.t_g$$

$$A_v = 1,04*40*,86 = 35,776cm^2$$

$$V_{pl.Rd} = \frac{35,776*2,4}{\sqrt{3}*1,1} = 45,06t$$

Kesitte en büyük kesme kuvveti 10,57t olduğu için kesitte kesme kuvveti dayanımı yeterlidir.

Moment Dayanımı Kuvveti

$$M_{el.d} = \frac{W_{el.d}.\sigma_a}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{el.d} = \frac{1156 * 2,4}{1,1} = 25,22tm$$

$$M_{max} \pounds 25,22tm$$

Kesitte moment dayanımı yeterlidir.

Kesme Burkulması Kontrolü:

$$V_{ba.Rd} = d.t_b.t_{ba} / g_{M1}$$

t_{ba}, $\bar{l}_w$ değerine göre hesaplanır.

$$\bar{l}_b = \frac{d/t_b}{37,4e\sqrt{k_r}}$$

$$\bar{l}_w = 0,283$$

$$t_{ba} = \frac{f_{yb}}{\sqrt{3}}$$

$$t_{ba} = \frac{2,4}{\sqrt{3}} = 1,38t$$

$$V_{ba.Rd} = \frac{33,1 * 1,35 * 1,38}{1,1} = 56,05t$$

$$0,5 * V_{ba.Rd} = 28,03t$$

$10,57t < 28,03t$ olduğundan kesitteki moment taşıma kapasitesinde herhangi bir azaltma söz konusu değildir.

Yanal Burkulma Tahkiki:

$$M_{b.Rd} = \frac{c_{LT}.b_w.W_{pl.y}.f_y}{g_{M1}}$$

$$b_w = \frac{W_{el.y}}{W_{pl.y}}$$

$$b_w = \frac{1156}{1238,38} = 0,9334$$

$$M_{cr} = \frac{C_1 p^2 E.I_y}{l^2_{LT}} \cdot \sqrt{\frac{k_1 I_b}{k_2 I_y} + \frac{l^2_{LT}.G.I_t}{p^2 E.I_y}}$$

$$l_{LT} = k_1.L$$

$$k_1 = 0,5 \qquad k_2 = 0,5$$

$$I_y = 1319cm^3$$

$$I_b = 458430,055$$

$$C_1 = 0,717$$

$$M_{cr} = \frac{0,717 * p^2 * 2100 * 1319}{73,75^2} \cdot \sqrt{\frac{0,5 * 458430}{0,5 * 1319} + \frac{73,75^2.807.38,35}{p^2 * 2100 * 1319}}$$

$$M_{cr} = 684tm$$

$$\bar{l}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl.y} * f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{l}_{LT} = \sqrt{\frac{1238 * 0,235}{6840}} = 0,21 < 0,4$ olduğundan yanal burkulma kontrolüne gerek yoktur.

Sehim Kontrolü:

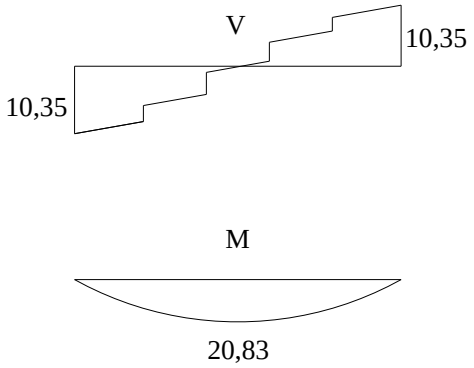
f:0,2 cm

$$f_{lim} < \frac{L}{250} = \frac{700}{250} = 2,80cm$$

E3.8.2 X Doğrultusu Kirişleri-Basit Kirişler

IPE 400 kesitinin özellikleri

h: 40 cm, $t_b = 1,35\,cm$, $t_g = 0,86\,cm$, $d_g = 33,1cm$, b=18cm, $I_x = 23130cm^4$, $i_x = 16,55cm$, $W_x = 1156cm^3$, $I_y = 1318cm^4$, $i_y = 3,95cm$, $W_y = 146,4cm^3$



Kesitin başlık kontrolü:

$$\frac{d}{t_g} = \frac{33,1}{0,86} = 38,4 < 124e$$

$$\frac{c}{t_b} = \frac{(18 - 0,86)/2}{1,35} = 6,34 < 14e$$

Kesitte Kesme Dayanımı Kontrolü:

V_{sd} £ $V_{pl.Rd}$

şartı sağlanmalıdır.

$$V_{pl.Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}} \qquad A_v = 1,04.h.t_g$$

$$A_v = 1,04*40*,86 = 35,776cm^2$$

$$V_{pl.Rd} = \frac{35,776*2,4}{\sqrt{3}*1,1} = 45,06t$$

Kesitte en büyük kesme kuvveti 10,35t olduğu için kesitte kesme kuvveti dayanımı yeterlidir.

Moment Dayanımı Kontrolü:

$$M_{el.d} = \frac{W_{el.d}.s_a}{g_{M0}}$$

$$M_{el.d} = \frac{1156*2,4}{1,1} = 25,22tm$$

$M_{max} £ 25,22tm$ kesitte moment dayanımı yeterlidir.

Kesme Burkulması Kontrolü:

$$V_{ba.Rd} = d.t_b.t_{ba} / g_{M1}$$

t_{ba}, $\bar{l}_b$ değerine göre hesaplanır.

$$\bar{l}_b = \frac{d/t_b}{37,4e\sqrt{k_r}}$$

$$\bar{l}_w = 0,283$$

$$t_{ba} = \frac{f_{yb}}{\sqrt{3}}$$

$$t_{ba} = \frac{2,4}{\sqrt{3}} = 1,38t$$

$$V_{ba.Rd} = \frac{33,1*1,35*1,38}{1,1} = 56,05t$$

$$0,5*V_{ba.Rd} = 28,03t$$

$10,57t < 28,03t$ olduğundan kesitteki moment taşıma kapasitesinde herhangi bir azaltma söz konusu değildir.

Yanal Burkulma Tahkiki

$$M_{b.Rd} = \frac{c_{LT}.b_w.W_{pl.y}.f_y}{g_{M1}}$$

$$b_w = \frac{W_{el.y}}{W_{pl.y}}$$

$$b_w = \frac{1156}{1238,38} = 0,9334$$

$$M_{cr} = \frac{C_1 p^2 E.I_y}{l^2_{LT}} . \sqrt{\frac{k_1 I_b}{k_2 I_y} + \frac{l^2_{LT}.G.I_t}{p^2 E.I_y}}$$

$l_{LT} = k_1.L$

$k_1 = 0,5 \qquad k_2 = 0,5$

$I_y = 1319cm^3$

$I_t = 38,35$

$I_b = 458430,055$

$C_1 = 1,132$

$$M_{cr} = \frac{1,132 * p^2 * 2100 * 1319}{132,5^2} . \sqrt{\frac{458430}{1319} + \frac{132,5^2.807.38,35}{p^2 * 2100 * 1319}}$$

$M_{cr} = 352tm$

$$\bar{l}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl.y} * f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{l}_{LT} = \sqrt{\frac{1238 * 0,235}{3520}} = 0,29 < 0,4$ olduğundan yanal burkulma kontrolüne gerek yoktur.

Sehim Kontrolü:

f:2,2 cm

$$f_{lim} < \frac{L}{250} = \frac{700}{250} = 2,80cm$$

E3.8.3 B Aksı Kolonların Burkulma Dayanımı-Eksenel Basınçlı Eğilme

HE-B 320 kesitinin özellikleri

h: 32 cm, $t_b = 2,05\,cm$, $t_g = 1,15\,cm$, b=30cm, $I_x = 30820cm^4$, $i_x = 13,82cm$, $W_x = 1926cm^3$, $I_y = 9239cm^4$, $i_y = 7,57cm$, $W_y = 615,9cm^3$, $A = 161,30cm^2$

Eksenel basınçlı eğilmeye uğrayan elemanlar aşağıdaki şartı sağlamalıdırlar.

$$\frac{N_{sd}}{c_{min} A.fy / g_{M1}} + \frac{k_x M_{x.Sd}}{W_{el.x} f_x / g_{M1}} + \frac{k_y M_{y.Sd}}{W_{el.y} f_y / g_{M1}} \pounds 1$$

$$\frac{N_{sd}}{c_y A.fy / g_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{x.Sd}}{c_{LT} W_{el.x} f_x / g_{M1}} + \frac{k_y M_{y.Sd}}{W_{el.y} f_y / g_{M1}} \pounds 1$$

Kesitin başlık kontrolü:

$$\frac{d}{t_g} = \frac{25,9}{1,15} = 22,52 < 124e$$

$$\frac{c}{t_b} = \frac{13,975}{2,05} = 6,81 < 14e$$

Moment Dayanımı Kontrolü

$$M_{el.d} = \frac{W_{el.d}.s_a}{g_{M0}}$$

$$M_{el.d} = \frac{1926 * 2,4}{1,1} = 42,02tm$$

$$M_{max} \pounds 42,02tm$$

Kesitte moment dayanımı yeterlidir.

$l_x = 19,39 \qquad b_0 = 1$

$$\bar{l}_b = \left(\frac{l}{l_1}\right) = \left(\frac{19,39}{93,9}\right) = 0,206$$

$c_x = 1$

$l_y = 35,40 \qquad b_0 = 1$

$\bar{l}_y = \left(\frac{l}{l_1}\right) = \left(\frac{35,40}{93,9}\right) = 0,37$

$c_x = 0,95 \qquad b_{mx} = 2,045$

$m_x = 0,206(2*2,045 - 4) = 0,033$

$k_y = 1 - \frac{0,033*1350,2}{0,95*161,3*23,5} = 0,87$

$\frac{1350,2}{0,95*161,3*2,35/1,1} + \frac{0,87*9200}{1926*23,5/1,1} = 0,56 \pounds 1$

$k_{LT} = 1 - \frac{m_{LT}.N_{sd}}{c_y.A.f_y}$

$m_{LT} = 0,15\bar{l}_y.b_{M.LT} - 0,15 \qquad b_{M.LT} = 2,045$

$m_{LT} = 0,15*0,37*2,045 - 0,15 = 0,036$

$k_{LT} = 1 - \frac{0,036*1350,2}{0,95*161,3*23,5} = 0,986$

$l_{LT} = k_1.L = 0,5*2,68 = 1,34$

$k_1 = 0,5 \qquad k_2 = 0,5$

$I_y = 615,9cm^3$

$I_t = 562,53$

$I_b = 138577,5$

$C_1 = 2,609$

$$M_{cr} = \frac{2,609 * p^2 * 2100 * 615,9}{134^2} \cdot \sqrt{\frac{138577,5}{615,9} + \frac{134^2 * 807 * 562,53}{p^2 * 2100 * 615,9}}$$

$$M_{cr} = 545,38tm$$

$$\bar{l}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl.y} * f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{l}_{LT} = \sqrt{\frac{2026 * 0,235}{5453}} = 0,29$$

$$c_{LT} = 0,9775$$

$$\frac{1350,2}{0,95 * 161,3 * 23,5/1,1} + \frac{0,986 * 9200}{0,975 * 1926 * 23,5/1,1} = 0,639 \pounds 1$$

E3.8.4 A-C Aksı Kolonların Burkulma Dayanımı-Eksenel Basınçlı Eğilme

IPE 450 kesitinin özellikleri

$h = 45\,cm,\ t_b = 1,46\,cm,\ t_g = 0,94\,cm,$ b=19cm, $I_x = 33740cm^4,\ i_x = 18,48cm,$
$W_x = 1500cm^3,\ I_y = 1676cm^4,\ i_y = 4,12cm,\ W_y = 176,4cm^3,\ A = 98,82cm^2$

Eksenel basınçlı eğilmeye uğrayan elemanlar aşağıdaki şartı sağlamalıdırlar.

$$\frac{N_{sd}}{c_{min} A.fy / g_{M1}} + \frac{k_x M_{x.Sd}}{W_{el.x} f_x / g_{M1}} + \frac{k_y M_{y.Sd}}{W_{el.y} f_y / g_{M1}} \pounds 1$$

$$\frac{N_{sd}}{c_y A.fy / g_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{x.Sd}}{c_{LT} W_{el.x} f_x / g_{M1}} + \frac{k_y M_{y.Sd}}{W_{el.y} f_y / g_{M1}} \pounds 1$$

Kesitin başlık kontrolü:

$$\frac{d}{t_g} = \frac{42,08}{1,15} = 44,8 < 124e$$

$$\frac{c}{t_b} = \frac{9,03}{1,46} = 6,18 < 14e$$

Moment Dayanımı Kontrolü

$$M_{el.d} = \frac{W_{el.d}.s_a}{g_{M0}}$$

$$M_{el.d} = \frac{1500*2,4}{1,1} = 32,72tm$$

$$M_{max} \pounds 32,72tm$$

Kesitte moment dayanımı yeterlidir.

$$l_x = 14,50 \qquad b_0 = 1$$

$$\bar{l}_b = \left(\frac{l}{l_1}\right) = \left(\frac{14,50}{93,9}\right) = 0,154$$

$$c_x = 1$$

$$l_y = 65,04 \qquad b_0 = 1$$

$$\bar{l}_y = \left(\frac{l}{l_1}\right) = \left(\frac{65,04}{93,9}\right) = 0,693$$

$$c_y = 0,8477 \quad b_{mx} = 3,13$$

$$m_x = 0,154(2*3,13 - 4) = 0,348$$

$$k_y = 1 - \frac{0,348*773,1}{0,8477*98,82*23,5} = 0,863$$

$$\frac{773,1}{0,8477*98,82*23,5/1,1} + \frac{0,863*1052}{1500*23,5/1,1} = 0,715 \pounds 1$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{m_{LT}.N_{sd}}{c_y.A.f_y}$$

$$m_{LT} = 0,15\bar{l}_y.b_{M.LT} - 0,15 \qquad b_{M.LT} = 3,13$$

$$m_{LT} = 0,15*0,693*3,13- \ 0,15 = 0,17$$

$$k_{LT} = 1- \ \frac{0,17*773,1}{0,8477*98,82*23,5} = 0,933$$

$$l_{LT} = k_1.L = 0,5*2,68 = 1,34$$

$$k_1 = 0,5 \qquad k_2 = 0,5$$

$$I_y = 1676,4cm^3$$

$$I_t = 153,21$$

$$I_b = 89302,5$$

$$C_1 = 2,609$$

$$M_{cr} = \frac{2,609*p^2*2100*1676}{134^2}.\sqrt{\frac{89302,5}{1676} + \frac{134^2*807*153,21}{p^2*2100*1676}}$$

$$M_{cr} = 466,23tm$$

$$\bar{l}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl.y}*f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{l}_{LT} = \sqrt{\frac{1623,92*0,235}{466,23}} = 0,904$$

$$c_{LT} = 0,904$$

$$\frac{773,1}{0,8477*98,82*23,5/1,1} + \frac{0,933*10520}{0,904*1500*23,5/1,1} = 0,76 £ 1$$

E3.8.5 Örgü Çubuğunda Eksenel Basınç Kontrolü

HE-B 260 kesitinin özellikleri

$h = 26\,cm,\quad t_b = 1,75\,cm,\quad t_g = 1,0\,cm,\quad b=26cm,\quad I_x = 14920cm^4,\quad i_x = 11,22cm,$
$W_x = 1148cm^3, I_y = 5135cm^4, i_y = 6,58cm, W_y = 395cm^3, A = 118,40cm^2$
$L_{ö} = 620,8cm$

$N_{sd} \pounds N_{c.Rd}$

$N_{c.Rd} = Af_y / g_{M0}$

$N_{c.Rd} = 118,4 * 23,5 / 1,1 = 2519kN$

Burkulma dayanımı

$N_{b.Rd} = c\, b_A A f_y / g_{M1}, \qquad b_A = 1$

$l = 94,34 \qquad l_1 = 93,9$

$\bar{l}_y = \left(\frac{l}{l_1}\right) = \left(\frac{94,34}{93,9}\right) = 1,004 < 1,5$

$c_{LT} = 0,6656$

$N_{b.Rd} = 0,6656 * 118,4 * 23,5 / 1,1 = 1683,6kN$

$N_{sd} \pounds N_{b.Rd}$ kesitin burkulma dayanımı sağlanıyor.

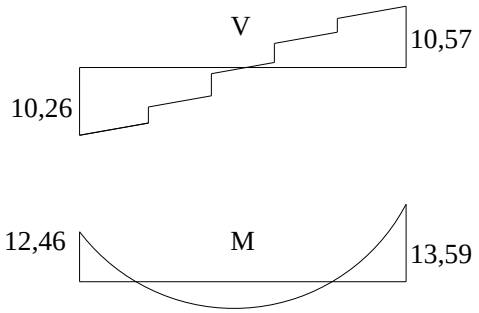
E3.9 Eurocode 3'e Göre Boyutlandırma

E3.9.1 Moment taşıyıcı Çerçevelerde Kesit Seçimi

IPE 330 kesiti seçilirse;

IPE 330 kesitinin özellikleri;

h: 33 cm, $t_b = 1,15\,cm,\quad t_g = 0,75\,cm,\quad d_g = 27,9\,cm,\quad b=16cm,\quad I_x = 11770cm^4,$
$i_x = 13,71cm,\ W_x = 713,1cm^3,\ I_y = 788,1cm^4,\ i_y = 3,55cm,\ W_y = 98,52cm^3$



Kesitin başlık kontrolü:

$$\frac{d}{t_g} = \frac{27,9}{0,75} = 37,2 < 124e\,,\ e = 1$$

$$\frac{c}{t_b} = \frac{(16 - 0,75)/2}{1,15} = 6,63 < 14e$$

Kesitte Kesme Dayanımı Kontrolü:

$$V_{sd}\ £\ V_{pl.Rd}$$

şartı sağlanmalıdır.

$$V_{pl.Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}g_{M0}} \qquad A_v = 1,04.h.t_g$$

$$A_v = 1,04*33*0,75 = 25,74cm^2$$

$$V_{pl.Rd} = \frac{25,74*2,4}{\sqrt{3}*1,1} = 32,424t$$

Kesitte en büyük kesme kuvveti 10,57t olduğu için kesitte kesme kuvveti dayanımı yeterlidir.

Moment Dayanımı Kuvveti

$$M_{el.d} = \frac{W_{el.d}.s_a}{g_{M0}}$$

$$M_{el.d} = \frac{713,1*2,4}{1,1} = 15,55tm$$

$M_{max} \pounds 25,22tm$

Kesitte moment dayanımı yeterlidir.

Kesme Burkulması Kontrolü:

$V_{ba.Rd} = d.t_b.t_{ba} / g_{M1}$

t_{ba}, $\bar{l}_w$ değerine göre hesaplanır.

$$\bar{l}_b = \frac{d/t_b}{37,4e\sqrt{k_r}}$$

$\bar{l}_w = 0,281$

$$t_{ba} = \frac{f_{yb}}{\sqrt{3}}$$

$$t_{ba} = \frac{2,4}{\sqrt{3}} = 1,38t$$

$$V_{ba.Rd} = \frac{27,9*1,15*1,38}{1,1} = 40,25t$$

$0,5*V_{ba.Rd} = 20,126t$

$10,57t < 20,126t$ olduğundan kesitteki moment taşıma kapasitesinde herhangi bir azaltma söz konusu değildir.

Yanal Burkulma Tahkiki:

$$M_{b.Rd} = \frac{c_{LT}.b_w.W_{pl.y}.f_y}{g_{M1}}$$

$$b_w = \frac{W_{el.y}}{W_{pl.y}}$$

$$b_w = \frac{713,1}{762,15} = 0,935$$

$$M_{cr} = \frac{C_1 p^2 E.I_y}{l^2_{LT}} . \sqrt{\frac{k_1 I_b}{k_2 I_y} + \frac{l^2_{LT}.G.I_t}{p^2 E.I_y}}$$

$l_{LT} = k_1.L$

$k_1 = 0,5 \qquad k_2 = 0,5$

$I_y = 788,1cm^4, \qquad I_t = 20,539cm^4$

$I_b = 199866,59cm^6$

$C_1 = 0,717$

$$M_{cr} = \frac{0,717 * p^2 * 2100 * 788,1}{73,75^2} . \sqrt{\frac{0,5 * 199866,59}{0,5 * 788,1} + \frac{73,75^2.807.20,539}{p^2 * 2100 * 788,1}}$$

$M_{cr} = 346,61tm$

$$\bar{l}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl.y} * f_y}{M_{cr}}}$$

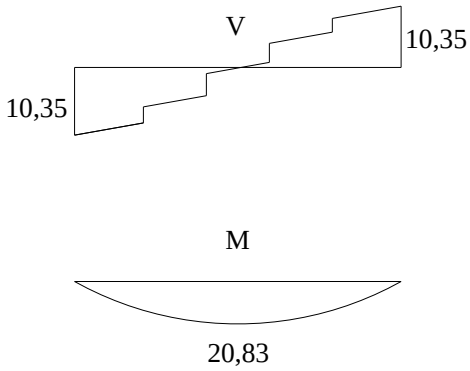
$\bar{l}_{LT} = \sqrt{\frac{762,15 * 0,235}{346,61}} = 0,227 < 0,4$ olduğundan yanal burkulma kontrolüne gerek yoktur.

E3.9.2 X Doğrultusu Kirişleri-Basit Kirişler

IPE 360 kesiti seçilirse;

IPE 360 kesitinin özellikleri

h: 36 cm, $t_b = 1,27\,cm$, $t_g = 0,80\,cm$, $d_g = 31,86\,cm$, b=17cm, $I_x = 16270cm^4$, $i_x = 14,95cm$, $W_x = 903,6cm^3$, $I_y = 1043cm^4$, $i_y = 3,79cm$, $W_y = 122,8cm^3$



Kesitin başlık kontrolü:

$$\frac{d}{t_g} = \frac{31,86}{0,80} = 39,83 < 124e$$

$$\frac{c}{t_b} = \frac{(17 - 0,80)/2}{1,27} = 6,38 < 14e$$

Kesitte Kesme Dayanımı Kontrolü:

$$V_{sd} \text{ £ } V_{pl.Rd}$$

şartı sağlanmalıdır.

$$V_{pl.Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}g_{M0}} \qquad A_v = 1,04.h.t_g$$

$$A_v = 1,04*36*0,80 = 29,95cm^2$$

$$V_{pl.Rd} = \frac{35,776*2,4}{\sqrt{3}*1,1} = 37,72t$$

Kesitte en büyük kesme kuvveti 10,35t olduğu için kesitte kesme kuvveti dayanımı yeterlidir.

Moment Dayanımı Kontrolü:

$$M_{el.d} = \frac{W_{el.d}.s_a}{g_{M0}}$$

$$M_{el.d} = \frac{903,6 * 2,4}{1,1} = 19,71tm$$

$M_{max} > 19,71tm$ olduğu için kesitte moment dayanımı yeterli değildir. Daha önce yapılan hesaplarda yeterli moment taşıma kapasitesi bulunan IPE 400 kesiti seçilmelidir.

E3.9.3 B Aksı Kolonların Burkulma Dayanımı-Eksenel Basınçlı Eğilme

HE-B 260 kesiti seçilirse;

HE-B 260 kesitinin özellikleri

$h = 26cm,\ \ t_b = 1,75cm,\ \ t_g = 1,0cm,\ \ b=26cm,\ \ I_x = 14920cm^4,\ \ i_x = 11,22cm,$
$W_x = 1148cm^3,\ I_y = 5135cm^4,\ i_y = 6,58cm,\ W_y = 395cm^3,\ A = 118,40cm^2$

Eksenel basınçlı eğilmeye uğrayan elemanlar aşağıdaki şartı sağlamalıdırlar.

$$\frac{N_{sd}}{c_{min} A.fy / g_{M1}} + \frac{k_x M_{x.Sd}}{W_{el.x} f_x / g_{M1}} + \frac{k_y M_{y.Sd}}{W_{el.y} f_y / g_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{N_{sd}}{c_y A.fy / g_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{x.Sd}}{c_{LT} W_{el.x} f_x / g_{M1}} + \frac{k_y M_{y.Sd}}{W_{el.y} f_y / g_{M1}} \leq 1$$

Kesitin başlık kontrolü:

$$\frac{d}{t_g} = \frac{20,5}{1,0} = 20,5 < 124e$$

$$\frac{c}{t_b} = \frac{12,5}{1,75} = 7,14 < 14e$$

Moment Dayanımı Kontrolü

$$M_{el.d} = \frac{W_{el.d}.s_a}{g_{M0}}$$

$$M_{el.d} = \frac{1148 * 2,4}{1,1} = 25,04tm$$

$M_{max} = 9,20 \leq 25,04tm$ Kesitte moment dayanımı yeterlidir.

$l_x = 23,88 \quad b_0 = 1$

$\bar{l}_b = \left(\frac{l}{l_1}\right) = \left(\frac{23,88}{93,9}\right) = 0,254$

$c_x = 0,988$

$l_y = 40,72 \quad b_0 = 1$

$\bar{l}_y = \left(\frac{l}{l_1}\right) = \left(\frac{40,72}{93,9}\right) = 0,433$

$c_x = 0,933 \quad b_{mx} = 2,045$

$m_x = 0,254(2*2,045 - 4) = 0,022$

$k_y = 1 - \frac{0,022*1350,2}{0,933*118,4*23,5} = 0,98$

$$\frac{1350,2}{0,933*118,4*23,5/1,1} + \frac{0,98*9200}{1148*23,5/1,1} = 0,939 \le 1$$

E3.9.4 A-C Aksı Kolonların Burkulma Dayanımı-Eksenel Basınçlı Eğilme

IPE 400 kesiti seçilirse;

IPE 400 kesitinin özellikleri

h: 40 cm, $t_b = 1,35\,cm$, $t_g = 0,86\,cm$, $d_g = 33,1\,cm$, b=18cm, $I_x = 23130cm^4$, $i_x = 16,55cm$, $W_x = 1156cm^3$, $I_y = 1318cm^4$, $i_y = 3,95cm$, $W_y = 146,4cm^3$, $A = 84,46cm^2$

Eksenel basınçlı eğilmeye uğrayan elemanlar aşağıdaki şartı sağlamalıdırlar.

$$\frac{N_{sd}}{c_{min} A.fy/g_{M1}} + \frac{k_x M_{x.Sd}}{W_{el.x} f_x / g_{M1}} + \frac{k_y M_{y.Sd}}{W_{el.y} f_y / g_{M1}} \le 1$$

$$\frac{N_{sd}}{c_y A.fy/g_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{x.Sd}}{c_{LT} W_{el.x} f_x / g_{M1}} + \frac{k_y M_{y.Sd}}{W_{el.y} f_y / g_{M1}} \le 1$$

Kesitin başlık kontrolü:

$$\frac{d}{t_g} = \frac{33,1}{0,86} = 38,48 < 124e$$

$$\frac{c}{t_b} = \frac{8,57}{1,35} = 6,34 < 14e$$

Moment Dayanımı Kontrolü

$$M_{el.d} = \frac{W_{el.d}.s_a}{g_{M0}}$$

$$M_{el.d} = \frac{1500*2,4}{1,1} = 25,22tm$$

$$M_{max} £ 25,22tm$$

Kesitte moment dayanımı yeterlidir.

$$l_x = 16,19 \qquad b_0 = 1$$

$$\bar{l}_b = \left(\frac{l}{l_1}\right) = \left(\frac{16,19}{93,9}\right) = 0,172$$

$$c_x = 1$$

$$l_y = 67,84 \qquad b_0 = 1$$

$$\bar{l}_y = \left(\frac{l}{l_1}\right) = \left(\frac{65,04}{93,9}\right) = 0,723$$

$$c_y = 0,8477 \quad b_{mx} = 3,13$$

$$m_x = 0,172(2*3,13- 4) = 0,388$$

$$k_y = 1- \frac{0,388*773,1}{0,8477*84,46*23,5} = 0,822$$

$$\frac{773,1}{0,8477*84,46*23,5/1,1}+\frac{0,822*10520}{1156*23,5/1,1}=0,86\pounds 1$$

E3.9.5 Örgü Çubuğunda Eksenel Basınç Kontrolü

HE-B 200 kesiti seçilirse;

HE-B 200 kesitinin özellikleri

$h=20\,cm,\quad t_b=1,50\,cm,\quad t_g=0,90\,cm,\quad b=20cm,\quad I_x=5696cm^4,\quad i_x=8,54cm,$
$W_x=569,6cm^3,\qquad I_y=2003cm^4,\qquad i_y=5,07cm,\qquad W_y=200,3cm^3,$
$A=78,08cm^2\quad L_{ö}=620,8cm$

$N_{sd}\pounds N_{c.Rd}$

$N_{c.Rd}=Af_y/g_{M0}$

$N_{c.Rd}=78,08*23,5/1,1=1668kN$

Burkulma dayanımı

$N_{b.Rd}=c\,b_A Af_y/g_{M1},\qquad b_A=1$

$l=122,44\qquad l_1=93,9$

$\bar{l}_y=\left(\frac{l}{l_1}\right)=\left(\frac{122,44}{93,9}\right)=1,30<1,5$

$c_{LT}=0,4703$

$N_{b.Rd}=0,4703*78,08*2,35/1,1=784,4kN$

$N_{sd}\pounds N_{b.Rd}$ kesitin burkulma dayanımı sağlanmaktadır.

ÖZGEÇMİŞ

Serdar ÖZGÜL

1979 yılında Kırşehir'de doğdu. 1993–1996 yılları arasında Bursa özel Nilüfer Fen Lisesi'nde okudu. 1996 yıllında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı; 2001 yılında mezun oldu. Aynı yıl, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı İşletmesi Yüksek Lisans Programına başladı.

Nisan 2004'de bir yapı denetim firmasında inşaat mühendisi olarak çalışmaya başlamış ve Aralık 2005'da işten ayrılmıştır.