İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ✶ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI ÇELİK BİR YAPININ EC 3 VE TÜRK STANDARTLARINA GÖRE BOYUTLANDIRILMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Murat KARACA

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği – Yapı Anabilim Dalı

Programı: Deprem Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alpay ÖZGEN

OCAK 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ✶ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI ÇELİK BİR YAPININ EC 3 VE TÜRK STANDARTLARINA GÖRE BOYUTLANDIRILMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Murat KARACA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Ocak 2005

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Alpay ÖZGEN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Gülay ALTAY(B.Ü)

: Doç.Dr. Güliz BAYRAMOĞLU (İ.T.Ü)

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Tezin hazırlanması sırasında bana yol gösteren ve yardımları ile çalışmalarımı yönlendiren başta Sayın hocam Prof. Dr. Alpay ÖZGEN'e ve Doç. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU'na, en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Murat KARACA
İnşaat Mühendisi

24.12.2004

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **vii**
TABLO LİSTESİ **viii**
ŞEKİL LİSTESİ **ix**
SEMBOL LİSTESİ **xi**
ÖZET **xvi**
SUMMARY **xvii**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı 1

2. EC 3 VE TS 648 YÖNETMELİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI **2**
2.1. Genel İlkeler 2
2.1.1. EC 3 yönetmeliğinin hesap metodunun genel ilkeleri 2
2.1.2. Genel kurallar 3
2.1.2.1. Yapı çeliği malzeme özellikleri 3
2.1.2.2. Taşıyıcı sistem 4
2.1.2.3. Taşıyıcı elemanlar 4
2.1.2.4. Yükler, yük ve dayanım faktörleri 10
2.1.2.5. Güvenlik düzeyinin seçimi 10
2.1.2.6. Taşıma yükü altındaki kontroller 11
2.1.2.7. Kesitlerin taşıma gücü 11
2.1.3. TS 648 yönetmeliğinin hesap metodunun genel ilkeleri 12
2.1.4. Genel kurallar 12
2.1.4.1. Yapı çeliği malzeme özellikleri 12
2.1.4.2. Taşıyıcı sistem 12
2.1.4.3. Taşıyıcı elemanlar 12
2.1.4.4. Yükler ve kombinasyonlar 12
2.1.4.5. Emniyet gerilmeleri 13
2.1.5. Genel ilkeler açısından karşılaştırma 13
2.2. Birleşimler 16
2.2.1. EC 3 yönetmeliğine göre bulonlu birleşimlerin tasarlanması 16
2.2.1.1. Bulon malzemesi 16
2.2.1.2. Bulonlu birleşimlerin sınıflandırılması 17
2.2.1.3. Bulon kenar ve delik mesafeleri 18
2.2.1.4. Kesit etkilerinin birleşim elemanlarına dağıtılması 19
2.2.1.5. Delik cidarında ezilme kontrolü 19
2.2.1.6. Makaslama kontrolü 19

2.2.1.7. Bulonların çekme dayanımı 19
2.2.1.8. Bulon eksenine dik ve kuvvet ekseni ile aynı doğrultuda kuvvetlerin birlikte aktarılması 20
2.2.1.9. Yüksek mukavemetli kayma dayanımlı birleşimler 20
2.2.2. EC 3 yönetmeliğine göre kaynaklı birleşimlerin tasarlanması 21
2.2.2.1. Kaynak dikişi çeşitleri 21
2.2.2.2. Köşe kaynak dikişinin dayanımı 21
2.2.2.3. Küt kaynak dikişinin dayanımı 23
2.2.3. TS 648 yönetmeliğine göre bulonlu birleşimlerin tasarlanması 23
2.2.3.1. Normal bulonlar 24
2.2.3.2. Yüksek mukavemetli bulonlar 26
2.2.4. TS 648 yönetmeliğine göre kaynaklı birleşimlerin tasarlanması 28
2.2.4.1. Kaynak dikişlerinin hesabı 28
2.2.5. Birleşimler açısından karşılaştırma 29
2.3. Çekme Çubukları 32
2.3.1. EC 3 yönetmeliğine göre çekme çubuklarının tasarlanması 32
2.3.2. TS 648 yönetmeliğine göre çekme çubuklarının tasarlanması 33
2.3.2.1. Gerilme kontrolü 34
2.3.3. Çekme çubukları açısından karşılaştırma 34
2.4. Basınç Çubukları 35
2.4.1. EC 3 yönetmeliğine göre basınç çubuklarının tasarlanması 35
2.4.1.1. Tek parçalı basınç çubukları 36
2.4.1.2. Çok parçalı basınç çubukları 38
2.4.1.3. Çok parçalı örgü çubuklu basınç çubukları 38
2.4.1.4. Çok parçalı bağ levhalı basınç çubukları 38
2.4.1.5. Çok parçalı küçük aralıklı basınç çubukları 39
2.4.1.6. Köşelemesine korniyerlerle oluşturulan çok parçalı basınç çubukları 39
2.4.2. TS 648 yönetmeliğine göre basınç çubuklarının tasarlanması 41
2.4.2.1. Tek parçalı basınç çubukları 42
2.4.2.2. Çok parçalı basınç çubukları 43
2.4.2.3. I.grup çubuklar 43
2.4.2.4. II.grup çubuklar 44
2.4.2.5. III.grup çubuklar 44
2.4.3. Basınç çubukları açısından karşılaştırma 45
2.5. Kirişler 48
2.5.1. EC 3 yönetmeliğine göre kirişlerin tasarlanması 48
2.5.1.1. Eğilme momenti etkisi 48
2.5.1.2. Kesme kuvveti etkisi 48
2.5.1.3. Eğilme momenti ve kesme kuvveti etkisi 50

2.5.1.4. Kullanılabilirlik sınır durumlarında kirişlerin sehimleri 50
2.5.2. TS 648 yönetmeliğine göre kirişlerin tasarlanması 51
2.5.2.1. Eğilme momenti ve normal kuvveti etkisi 51
2.5.2.2. Kesme kuvveti etkisi 52
2.5.2.3. Kıyaslama gerilmesi kontrolü 53
2.5.2.4. Yanal burulmalı burkulma kontrolü 53
2.5.2.5. Sehim kontrolü 53
2.5.3. Kirişler açısından karşılaştırma 53
2.6. Normal Kuvvet ve Eğilme Momentine Maruz Elemanlar 55
2.6.1. EC 3 yönetmeliğine göre tasarım 55
2.6.1.1. Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisi altında enkesit kontrolü 55
2.6.1.2. Eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvet etkisi altında enkesit kontrolü 55
2.6.1.3. Eğilme momenti ve eksenel çekme etkisi 56
2.6.1.4. Yanal burulmalı burkulma dayanımı 57
2.6.1.5. Eğilme momenti ve eksenel basınç etkisi 58
2.6.2. TS 648 yönetmeliğine göre tasarım 60
2.6.3. Normal kuvvet ve eğilme momentine maruz elemanlar açısından karşılaştırma 60

3. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZ) 62
3.1. Giriş ve Genel İlkeler 62
3.2. Dorusal Olmayan Analizin Kısıtlayıcı Unsurları 64
3.3. Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz İçin Metodlar 64
3.3.1. Kapasiteyi belirlemek için adım adım işlemler 65

4. UYGULAMA 69
4.1. Yükler 69
4.1.1. Zati yükler 69
4.1.1.1. Çatı katı yükleri 69
4.1.1.2. Ara kat yükleri 69
4.1.1.3. Cephe zati yükleri 69
4.1.2. Hareketli yükler 70
4.1.2.1. Kar yükü 70
4.1.2.2. Ara kat döşeme hareketli yükü 70
4.1.2.3. Çatı katı döşeme hareketli yükü 70
4.1.3. Rüzgar yükleri 70
4.1.4. Deprem yükleri 70
4.2. Yük Analizi 71
4.2.1. Düşey yükler 71
4.2.1.1. Çatı katı yükleri 71
4.2.1.2. Ara kat yükleri 72

4.2.2. Yatay yükler 73
4.2.2.1. Rüzgar yükleri 73
4.2.2.2. Deprem yükleri 73
4.3. Taşıyıcı Sistemin TS 648 ve ABYYHY' e Göre Boyutlandırılması 74
4.3.1. Yük durumları ve kombinasyonlar 74
4.3.1.1. Yük durumları 74
4.3.1.2. Kombinasyonlar 74
4.3.2. Sap 2000 modeli 75
4.3.3. Kullanılan profillerin enkesit özellikleri 77
4.3.4. Kolon hesabı 78
4.3.5. Çerçeve kirişi hesabı 80
4.3.6. Döşeme kirişleri ve tali kirişlerin hesabı 82
4.3.7. Düşey stabilite bağlantılarının boyutlandırılması 85
4.3.8. Birleşim ve detay hesapları 85
4.3.8.1. Kolon eki hesabı 85
4.3.8.2. Ankastre kolon ayağı hesabı 87
4.3.8.3. Rijit kolon-kiriş birleşim hesabı 89
4.3.8.4. Düşey çapraz birleşim detayı hesabı 91
4.3.8.5. Düşey çapraz dikme kirişi birleşim detayı 92
4.3.8.6. Döşeme tali kiriş birleşim detayı 94
4.3.9. Yanal deplasman kontrolü 94
4.4. Taşıyıcı Sistemin EC 3' e Göre Boyutlandırılması 95
4.4.1. Yük durumları ve kombinasyonlar 95
4.4.1.1. Yük durumları 95
4.4.1.2. Kombinasyonlar 95
4.4.2. Kullanılan profillerin enkesit özellikleri 95
4.4.3. Kolon hesabı 97
4.4.4. Çerçeve kirişi hesabı 98
4.4.5. Düşey stabilite bağlantılarının boyutlandırılması 100
4.4.6. Birleşim ve detay hesapları 101
4.4.6.1. Rijit kolon-kiriş birleşim hesabı 101
4.4.6.2. Ankastre kolon ayağı hesabı 102
4.5. Yanal Deplasman Kontrolü 103
4.6. EC 3 ve TS 648 Uygulamalarının Karşılaştırılması 104
4.7. Pushover Analiz Uygulaması 105
4.7.1. Sap 2000 moment-eğrilik diyagramının kullanılması durumu 105
4.7.2. Elle hesaplanan moment-eğrilik diyagramının kullanılması durumu 107

KAYNAKLAR **110**

ÖZGEÇMİŞ **111**

KISALTMALAR

SI	: Uluslararası Birim Sistemi
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
TS 498	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS 648	: Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
TS 4561	: Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları
EC 3	: Eurocode No3: Common Unified Rules for Steel Structures
TS 500	: Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
ATC	: Applied Technology Council

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1.	Çeliğin akma gerilmesinin ve çekme dayanımının nominal değerleri ……..……..	3
Tablo 2.2.	Etkilere uygulanacak olan kısmi güvenlik katsayıları ……..	10
Tablo 2.3.	Genel ilkeler açısından karşılaştırma …….	15
Tablo 2.4.	Bulonların f_{yb} akma gerilmesinin ve f_{ub} çekme dayanımının nominal değerleri ……..…	16
Tablo 2.5.	Bulonlu birleşimlerin teşkil şekilleri …….....	17
Tablo 2.6.	Bulonlu birleşim tipleri …….....	17
Tablo 2.7.	Bulonların gerilme alanı değerleri …….....	19
Tablo 2.8.	β_w düzeltme katsayısı değerleri ……..…….....	23
Tablo 2.9.	Bulonlara ait çekirdek alanları ……...	25
Tablo 2.10.	Bulonlara ait emniyet gerilmeleri (kg/cm^2) ……..	25
Tablo 2.11.	Bulon aralıkları ve kenar uzaklıklar ……..	26
Tablo 2.12.	Bulonlara ait emniyet gerilmeleri (kg/cm^2) ……	26
Tablo 2.13.	Kaymaya karşı emniyet katsayıları (ν) ……	27
Tablo 2.14.	Temas yüzeylerindeki sürtünme katsayısı (μ) …….	27
Tablo 2.15.	Z_{em} çekme kuvveti değerleri ……..……...	27
Tablo 2.16.	Kaynaklı birleşimlerde emniyet gerilmeleri (kg/cm^2) ……..	29
Tablo 2.17.	Birleşimler açısından karşılaştırma ……	31
Tablo 2.18.	Çekme Kontrolü …….	32
Tablo 2.19.	Çekme çubukları açısından karşılaştırma ……..	34
Tablo 2.20.	α kusur katsayısı değerleri …….	36
Tablo 2.21.	Basınç çubukları açısından karşılaştırma ……..	45
Tablo 2.22.	Düşey yer değiştirmeler için sınır değerler ……	50
Tablo 2.23.	Kirişler açısından karşılaştırma ……..	54
Tablo 2.24.	Normal kuvvet ve eğilme momentine maruz elemanlarda karşılaştırma ……..	62
Tablo 4.1.	Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve basıncı ……..	72
Tablo 4.2.	Toplam bina yükleri ……..	73
Tablo 4.3.	Katlara etkiyen deprem yüklerinin tayini ……..	74
Tablo 4.4.	Kolon-kiriş-düşey çapraz profillerinin enkesit özellikleri …….	77
Tablo 4.5.	Maksimum yanal kat ötelenme sınırları …….	94
Tablo 4.6.	Taşıyıcı sistem maksimum yanal kat ötelenme değerleri ……..	94
Tablo 4.7.	Kolon-kiriş-düşey çapraz profillerinin enkesit özellikleri …….	96
Tablo 4.8.	EC 3'e göre taşıyıcı sistem maksimum yanal kat ötelenme değerleri …….	103
Tablo 4.9.	EC 3 ve TS 648'e göre uygulama sonuçları ……..	104
Tablo 4.10.	EC 3 ve TS 648'e göre yanal deplasman sonuçları ……..	104

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Enkesit sınıflarının davranışını gösteren diyagram..... 4
Şekil 2.2 : Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları..... 6
Şekil 2.3 : Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları..... 7
Şekil 2.4 : Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları..... 8
Şekil 2.5 : Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları..... 9
Şekil 2.6 : Delik aralıklarının notasyonları……..... 18
Şekil 2.7 : Basınca maruz yapı elemanlarında şaşırtmalı delik düzeni..... 18
Şekil 2.8 : Bulonlarda makaslama ve çekme kuvvetleri arasında karşılıklı etkileşim..... 20
Şekil 2.9 : Kaynak dikişi çeşitleri..... 22
Şekil 2.10 : Kaynak gerilmelerinin bileşenlerine ayrılması..... 23
Şekil 2.11 : Bulonların tek ve çift tesirli çalışma durumu..... 24
Şekil 2.12 : Bulon delik aralıklarının notasyonları..... 25
Şekil 2.13 : Şaşırtmalı delikler için p,s mesafeleri gösterimi..... 33
Şekil 2.14 : Enkesitlerin burkulma gerilmesi eğrileri..... 36
Şekil 2.15 : Enkesitlerin burkulma gerilmesi eğrileri 37
Şekil 2.16 : İki parçalı örgü çubuklu basınç çubukları ve S_v'nin tayini..... 40
Şekil 2.17 : σ_{Kr} ,Taşıma gerilmeleri eğrisi…..... 41
Şekil 2.18 : Gerilme eğrileri karşılaştırması..... 47
Şekil 2.19 : A_v kesme kuvveti enkesit alanları..... 49
Şekil 2.20 : Kesme kuvvetine maruz elemanlarda maksimum d/t oranları 49
Şekil 2.21 : Buruşma katsayısı değerleri 50
Şekil 2.22 : Gözönüne alınacak deplasmanlar..... 51
Şekil 2.23 : Normal kuvvet ve kesme kuvveti etkimesi halinde $M_{N,V,Rd}$ indirgenmiş plastik moment bağıntıları 56
Şekil 2.24 : Etkili boy katsayıları..... 57
Şekil 2.25 : C_1 değerleri ve ψ'nin tanımı..... 58
Şekil 2.26 : β_M moment katsayısı..... 61
Şekil 3.1 : Taban kesme kuvveti - Tepe noktası deplasmanı ilişkisi..... 66
Şekil 3.2 : Yatay Yük Dağılımları..... 67
Şekil 3.3 : Birinci mod için atalet kuvvetleri dağılımı..... 68
Şekil 4.1 : Sap2000 3D statik sistem modeli..... 75
Şekil 4.2 : Sap2000 statik sistem modeli boy kesit görünüşü..... 75
Şekil 4.3 : Sap2000 statik sistem modeli enkesit görünüşü..... 76
Şekil 4.4 : Sap2000 statik sistem modeli tipik kat döşemesi plan görünüşü..... 76
Şekil 4.5 : Kolon burkulma boyu redörleri..... 78
Şekil 4.6 : Kolon moment değerleri..... 79
Şekil 4.7 : Kompozit döşeme kesit görünüşleri..... 83

Sayfa No

Şekil 4.8 : Kompozit döşeme statik sistemi..... 83
Şekil 4.9 : Kompozit döşeme statik en kesiti..... 84
Şekil 4.10 : Kolon ek detayı..... 86
Şekil 4.11 : Kolon eki gövde bulon dağılımı..... 87
Şekil 4.12 : Ankastre kolon ayağı detayı..... 88
Şekil 4.13 : Taban plakası çekme basınç kuvvetleri..... 88
Şekil 4.14 : Kayma kaması kaynak kesiti..... 89
Şekil 4.15 : Rijit kolon-kiriş birleşim detayı 90
Şekil 4.16 : Düşey çapraz birleşim detayı 91
Şekil 4.17 : Düşey çapraz dikme detayı 92
Şekil 4.18 : Döşeme tali kiriş birleşim detayı 93
Şekil 4.19 : Rijit kolon-kiriş birleşim detayı..... 101
Şekil 4.20 : Ankastre kolon ayağı detayı..... 102
Şekil 4.21 : İlk plastik mafsalın oluşumu..... 105
Şekil 4.22 : Sistemde mekanizma durumunun oluşması..... 106
Şekil 4.23 : Sap 2000 taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı ilişkisi diyagramı (kN–cm) 106
Şekil 4.24 : İlk plastik mafsalın oluşumu..... 108
Şekil 4.25 : Sistemde mekanizma durumunun oluşması..... 109
Şekil 4.26 : Sap 2000 taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı ilişkisi diyagramı (kN–cm) 109

SEMBOL LİSTESİ

$\mathbf{A_o}$	: Etkin Yer İvmesi Katsayısı
I	: Bina Önem Katsayısı
n	: Hareketli Yük Katılım Katsayısı
Z3	: Yerel Zemin Sınıfı
$\mathbf{T_A}$, $\mathbf{T_B}$	: Spektrum Karakteristik Periyotları
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
$\mathbf{T_{1A}}$	: Binanın ampirik bağıntı ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu
$\mathbf{T_1}$	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
$\mathbf{H_N}$	: Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
$\mathbf{w_i}$	: Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
$\mathbf{g_i}$	: Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük
$\mathbf{q_i}$	: Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
g	: Yerçekimi ivmesi ($9{,}81 m/s^2$)
$\mathbf{H_N}$	: Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
T	: Bina doğal titreşim periyodu
S(T)	: Spektrum Katsayısı
A(T)	: Spektral İvme Katsayısı
$\mathbf{\sum W}$	: Yapının toplam ağırlığı
$\mathbf{R_a(T)}$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
$\mathbf{\Delta F_N}$	: Binanın tepesine etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
$\mathbf{F_i}$	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
$\mathbf{(\Delta_i)_{max}}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum göreli kat ötelemesi
$\mathbf{d_i}$	: Binanın i'inci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme
$\mathbf{h_i}$	: Binanın i'inci katının kat yüksekliği
$\mathbf{V_i}$	: i'inci kattaki kesme kuvveti
$\mathbf{\sum w_j}$	: i'inci katın üstündeki kat ağırlıkları toplamı
$\mathbf{q_w}$	: Emme (hız basıncı)
$\mathbf{p_w}$	: Rüzgar Basıncı
$\mathbf{C_p}$	: Emme Katsayısı
$\mathbf{\sum WX}$	: X yönü için rüzgar yüklemesi taban kesme kuvveti
$\mathbf{\sum WY}$	: Y yönü için rüzgar yüklemesi taban kesme kuvveti
h	: Profil yüksekliği
b	: Profil başlık genişliği
$\mathbf{t_w}$	: Profil gövde kalınlığı
$\mathbf{t_f}$	: Profil başlık kalınlığı
r	: Profil boyun eğriliği
A	: Profil enkesit alanı

$\mathbf{d}$	: Profil gövdesinin düz kısmının uzunluğu
$\mathbf{I_y}$	: Kuvvetli eksen atalet momenti
$\mathbf{I_z}$	: Zayıf eksen atalet momenti
$\mathbf{W_y}$	: Kuvvetli eksen elastik mukavemet momenti
$\mathbf{W_z}$	: Zayıf eksen elastik mukavemet momenti
$\mathbf{W_{pl,y}}$	: Kuvvetli eksen plastik mukavemet momenti
$\mathbf{W_{pl,z}}$	: Zayıf eksen plastik mukavemet momenti
$\mathbf{i_y}$	: Kuvvetli eksen atalet yarıçapı
$\mathbf{i_z}$	: Zayıf eksen atalet yarıçapı
$\mathbf{I_t}$	: Enkesitin burulma dayanımı
$\mathbf{I_w}$	: Enkesitin çarpılma dayanımı
$\mathbf{N_{sd}}$	: Kolon basınç kuvveti tasarım değeri
$\mathbf{V_{sd}}$	: Kolon kesme kuvveti tasarım değeri
$\mathbf{M_{sd}}$	: Ankastrelik momenti tasarım değeri
$\mathbf{e}$	: M_{sd}/N_{sd} dışmerkezliği
$\mathbf{b_p}$	: Taban levhası genişliği
$\mathbf{l_p}$	: Taban levhası uzunluğu
$\mathbf{h_z}$	: Çekme ankrajının basınç kenarına mesafesi
$\mathbf{D_c}$	: Beton basınç kuvveti
$\mathbf{f_{cd}}$	: Betonun tasarım basınç dayanımı
$\mathbf{Z_s}$	: Ankraj kuvveti
$\mathbf{V_z}$	: Taban levhası hesabında çekme bölgesinde hesaplanan kesme kuvveti
$\mathbf{M_z}$	: Taban levhası hesabında çekme bölgesinde hesaplanan eğilme momenti
$\mathbf{V_c}$	: Taban levhası hesabında basınç bölgesinde hesaplanan kesme kuvveti
$\mathbf{M_c}$	: Taban levhası hesabında basınç bölgesinde hesaplanan eğilme momenti
$\mathbf{l_c}$	: Beton basınç gerilmelerinin boyu
$\mathbf{t_p}$	: Taban levhası kalınlığı
$\mathbf{f_y}$	: Çeliğin akma gerilmesi
$\gamma_{Mo}, \gamma_{M1}, \gamma_{M2}$	: Malzeme kısmi güvenlik çarpanları
$\boldsymbol{\tau}$	: Kayma gerilmesi
γ_{Mw}	: Kaynak için malzeme kısmi güvenlik çarpanı
$\mathbf{f_u}$	: Çeliğin çekme dayanımı
$\mathbf{a_{w,f}}$	: Başlık kaynak dikişlerinin kalınlığı
$\mathbf{a_{w,w}}$	: Gövde kaynak dikişlerinin kalınlığı
$\mathbf{a_w}$	: Kaynak dikişinin kalınlığı
$\mathbf{A_w}$	: Kaynak dikişinin alanı
$\mathbf{A_{w,f}}$	: Başlık(tek bir başlık) kaynak dikişlerinin alanı
$\mathbf{A_{w,w}}$	: Gövde kaynak dikişlerinin alanı
$\mathbf{f_{w,Rd}}$	: Kaynak dikişinin tasarım makaslama dayanımı
$\boldsymbol{\sigma_w}$	: Kaynağa etkiyen normal gerilme
$\mathbf{t}$	: Taban levhasının altındaki çimento harcının kalınlığı
$\mathbf{l}$	: Kayma kamasının çimento harcının altındaki kısımda boyu
$\mathbf{V_{c,Rd}}$	: Kama başlığının temas ettiği yüzeyde beton kesme dayanımı
$\mathbf{A_v}$	: Enkesit kesme kuvveti alanı
$\mathbf{V_{pl,Rd}}$	: Enkesitin plastik kesme dayanımı
$\mathbf{V_{w,Rd}}$	: Kaynakların plastik kesme dayanımı

$N_{fw,Rd}$: Başlık kaynaklarının çekme dayanımı
σ_w : Köşe kaynakta meydana gelen normal gerilme
d : Bulon çapı
d_o : Bulon deliği çapı
$F_{b,ek}$: Başlık ekinin enkesit alanı
$F_{nb,ek}$: Başlık ekinin net enkesit alanı
$\sum F_{nb,ek}$: Toplam başlık eki net enkesit alanı
$\sum F_{ng,ek}$: Toplam gövde eki net enkesit alanı
$F_{g,ek}$: Gövde ekinin enkesit alanı
$F_{ng,ek}$: Gövde ekinin net enkesit alanı
F_{np} : Profilin net enkesit alanı
$t_{b,ek}$: Başlık ek levhası kalınlığı
$\sum F_{n,ek}$: Toplam net enkesit alanı
$N_{pl,Rd}$: Brüt enkesit plastik tasarım dayanımı
$N_{u,Rd}$: Net enkesitin sınır tasarım dayanımı
$N_{t,Rd}$: Boyutlandırma çekme kapasitesi
$N_{b,ek}$: Başlık ekine gelen eksenel kuvvet
$F_{v,Rd}$: Bulonun makaslama dayanımı
$F_{b,Rd}$: Bulonun delik cidarında ezilme dayanımı
e_1 : Kuvvet doğrultusunda delik ekseninden levha kenarına olan mesafe
e_2 : Kuvvete dik doğrultuda delik ekseninden levha kenarına olan mesafe
p_1 : Kuvvet doğrultusunda bir birleşim elemanı ekseninden diğer bir birleşim elemanı eksenine olan mesafe
p_2 : Kuvvete dik doğrultuda bir birleşim elemanı ekseninden diğer bir birleşim elemanı eksenine olan mesafe
k_s : Delik büyüklüğünün ve formunun etkisini göz önüne alan katsayı
μ : Yüksek mukavemetli bulonlarda sürtünme katsayısı
$F_{s,Rd}$: Öngermeli yüksek mukavemetli bulonların sürtünme dayanımı
n : Kullanılan bulon sayısı
$g_ç$: Sabit yüklerden dolayı kirişte oluşan çizgisel yük
$q_ç$: Hareketli yüklerden dolayı kirişte oluşan çizgisel yük
$P_ç$: Kirişe etkiyen toplam çizgisel yük
M_{sd} : Boyutlandırma momenti
V_{sd} : Kesme kuvvetinin boyutlandırma değeri
$V_{wp,Rd}$: Profilin gövde plastik kesme kuvveti dayanımı
$N_{t,sd}$: Çekme kuvvetinin boyutlandırma değeri
$N_{w,Rd}$: Profilin gövdesinin plastik çekme dayanımı
$M_{pl,Rd}$: Plastik moment dayanımı
p : Plastik moment dayanımı azaltma katsayısı
$M_{N,V,Rd}$: Kesme kuvveti ve eksenel kuvvet nedeniyle indirgenmiş plastik moment dayanımı
n : Eksenel kuvvetin boyutlama değerinin $N_{pl,Rd}$'ye oranı
$N_{c,Sd}$: Basınç kuvvetinin boyutlandırma değeri
λ_y : Kuvvetli eksene göre basınç çubuğunun narinliği
λ_z : Zayıf eksene göre basınç çubuğunun narinliği
λ_1 : Kıyaslama narinliği
λ_{y1} : Kuvvetli eksen narinliğinin kıyaslama narinliğine oranı

λ_{z1} : Zayıf eksen narinliğinin kıyaslama narinliğine oranı
χ : Burkulma dayanımı indirgeme katsayısı
$N_{b,Rd}$: Basınç elemanının burkulma dayanımı
c : Enkesit sınıflandırılmasında basınca maruz başlık elemanı genişliği
β_A : Basınç çubuklarında kesit indirgeme katsayısı
$N_{b,Rd}$: Enkesitin burkulma dayanımı
$M_{V,Rd}$: Kesme kuvveti nedeniyle indirgenmiş plastik moment dayanımı
l_o : Bağlantı kirişi kritik uzunluğu
l_e : Bağlantı kirişi için seçilen dışmerkezlik
t_{be} : Berkitme kalınlığı
a : İki berkitme levhası arasında kalan kısmın uzunluğu
k_τ : Buruşma katsayısı
α : Kapasite katsayısı
R_{fy} : Birleştirilen parçanın plastik dayanımı
R_d : Birleşimin dayanımı
a : Köşe kaynak dikişi kalınlığı
$F_{w,Rd}$: Köşe kaynak dayanımı
d_{max} : Kullanılabilecek maksimum bulon çapı
f : Bulon geometri katsayısı
h : En dış bulonlar arası mesafe
N_m : Tek bir bulona etkiyen yatay kuvvet
N_v : Tek bir bulona etkiyen düşey kuvvet
N_R : Tek bir bulona etkiyen birleşke kuvveti
A_t : Çekme kuvveti alan brüt enkesit alanı
$A_{t,net}$: Çekme alan net enkesit alanı
A_v : Enkesit kesme kuvveti alanı
$A_{v,net}$: Enkesit kesme kuvveti net alanı
$A_{v,eff}$: Etkili makaslama alanı
K : Makaslama kopması kontrolünde kullanılan bulon katsayısı
n : Makaslama bölgesinde delik sayısı
$V_{eff,Rd}$: Etkili kesme dayanımı
$\sum I_{ek}$: Ek levhalarının toplam atalet momenti
I_f : Başlık eki atalet momenti
I_w : Gövde eki atalet momenti
M_f : Başlik ekine etkiyen eğilme momenti
Z : Tek bir başlık ekine etkiyen çekme kuvveti
D : Tek bir başlık ekine etkiyen basınç kuvveti
M_w : Gövde ekine etkiyen eğilme momenti
e : Gövde eki bulonlarının merkezinin dışmerkezliği
I_p : Polar atalet momenti
M_G : Gövde ek levhasında bulonların ağırlık merkezine etkiyen eğilme momenti
Z_1 : Başlık ek levhalarından alttakine gelen çekme kuvveti
Z_2 : Başlık ek levhalarından üsttekine gelen çekme kuvveti
$\sum F_k$: Toplam kaynak alanı
$\sum F_{w,k}$: Toplam gövde kaynak alanı
y : Kaynakların o noktasına göre tarafsız ekseninin uzaklığı
I_k : Kaynak atalet momenti

σ_{ka} : Tarafsız eksenin altında kaynak gerilmesi
$\sigma_{kü}$: Tarafsız eksenin üstünde kaynak gerilmesi
τ_k : Kaynak kayma gerilmesi
F_b : Profilin tek bir başlık alanı
F_g : Profil gövde alanı
P_b : Profilin tek bir başlığına etki eden kuvvet
P_g : Profilin gövdesine etki eden kuvvet
$F_{b,ek}$: Başlık ek levhası enkesit alanı
$F_{g,ek}$: Gövde ek levhası enkesit alanı
M : Tesir eğilme momenti
β_R : Betonun hesap mukavemeti
σ_F : Çelik malzemenin akma gerilmesi
x_{pl} : Tarafsız eksenin beton başlığın üst seviyesine olan mesafesi
z_a : Çekme kuvveti ile beton başlık üst seviyesi arasındaki mesafe
e : Trapezoidal levha diş yüksekliği
z : Çekme ve basınç kuvvetleri arasındaki mesafe
Z_a : Çekme kuvveti
D_b : Basınç kuvveti
b_{eff} : Çalışan efektif tabla genişliği
D_a : Çelik başlığa etkiyen basın kuvveti
E_b : Betonun elastisite modulü
$\max D_s$: Kamaların maksimum kayma kuvveti taşıma kapasitesi
n_{pl} : Gerekli kama sayısı
δ_{max} : Mesnetleri birleştiren doğruya göre en son durum sehimi
δ_2 : Değişken yükler ve sabit yüklerin zamana bağlı olarak meydana getirdikleri sehim
δ_0 : Ters sehim
Q_{pl} : Plastik kesme kuvveti
q^- : Normal kesme kuvvetinin plastik kesme kuvvetine oranı
σ_M : İndirgenmiş akma gerilmesi
M_{pl} : Plastikleşme momenti
k, k_w : Etkili boy katsayıları
l_{LT} : Eğilme düzlemi dışına burkulmada burkulma boyu
L_{LT} : Yanal doğrultuda tutulu noktalar arasındaki uzunluk
C_1 : Yanal burulmalı burkulmada kullanılan bir katsayı
λ_{LT} : Yanal burulmalı burkulma narinliği
χ_{LT} : Yanal burulmalı burkulma dayanımı indirgeme katsayısı
M_{cr} : Kritik moment
Ψ : Mesnetlenmemiş parçanın uç momentlerinin küçüğünün büyüğe olan oranı
λ_{LT1} : Yanal burulmalı burkulma narinliğinin kıyaslama narinliğine oranı
s_{ky} : Kuvvetli eksenin burkulma boyu
s_{kz} : Zayıf eksenin burkulma boyu
β : Burkulma boyu katsayısı
$M_{y,Sd}$: Kuvvetli eksen etrafındaki boyutlandırma moment değeri
$M_{z,Sd}$: Zayıf eksen etrafındaki boyutlandırma moment değeri
k_{LT} : Yanal burulmalı burkulmanın sebep olduğu göçmeyi kontrol eden etkileşim denklemlerinde kuvvetli eksen boyutlandırma momentlerine uygulanan katsayı

ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada çok katlı bir çelik büro yapısının EC 3'e göre statik hesabı ve dizaynı yapılmış, elde edilen sonuçlar mevcut TS standartlarıyla karşılaştırılmıştır. İlk bölümde EC 3 ve TS 648 yönetmeliklerinin genel ilkeler, birleşimler, çekme çubukları, basınç çubukları, kirişler ve eğilme etkisi altındaki elemanlar açısından teorik karşılaştırılması yapılmış, elde edilen sonuçlar ilgili bölümlerin son kısımlarında verilmiştir.

İkinci bölümde doğrusal olmayan statik analiz (Pushover analiz) konusu hakkında teorik bir araştırma yapılmıştır. Analiz hakkında genel ilkeler, analizi kısıtlayıcı unsurlar ve analiz metotları hakkında bilgiler verilmiştir. Sonuç kısmında ise kapasiteyi belirlemek için yapılacak olan işlemler adım adım tarif edilmiştir.

Uygulama kısmında kullanılan sistem x doğrultusunda 35,00 m. uzunluğa ve y doğrultusunda 15,00 m. genişliğe sahiptir. Sistemin planı Bölüm 4.3.2'de verilmiştir. X yönünde toplam 7 açıklık, y yönünde ise 3 açıklık bulunmaktadır. Bina büro yapısı olarak dizayn edilmiştir. Toplam olarak 5 kattan oluşmaktadır. Bütün kat yükseklikleri 3,25 m olup toplam bina yüksekliği 16,25 m'dir. Bina 2. Derece deprem bölgesindedir. Yerel zemin sınıfı ise Z2'dir. Deprem ve rüzgar nedeniyle meydana gelecek olan yer değiştirmeleri sınırlamak ve binanın rijitliğini artırmak amacıyla boyuna yönde süneklik düzeyi yüksek dışmerkez perdeler, enine yönde süneklik düzeyi yüksek çerçeveler tasarlanmıştır. Tüm yapı elemanları hadde profillerden teşkil edilmiş olup, sadece dışmerkez düşey çapraz profilleri boru profillerden teşkil edilmiştir. Döşeme sistemi olarak ekonomik çözüm elde etmek amacıyla kompozit döşeme sistemi kullanılmıştır.

Her iki yönetmelik içinde yapılan statik hesaplar Sap2000 Yapısal Analiz Programı yardımıyla yapılmıştır. Yük analizleri tamamlandıktan sonra, yüklerin sisteme etki ettirilmesi ve etki ettirilen yüklerin doğruluğu global yükleme çıktılarından kontrol edilmiştir. Bu sayede kurulan sistemin ve girilen yüklerden elde edilen mesnet reaksiyonlarının tutarlılığı karşılaştırılmış olup doğruluğu onaylanmıştır. Girdi ve çıktıların tutarlılığı kontrol edildikten sonra şartnamelere uygun olarak yük durumları ve kombinasyonlar düzenlenmiş olup, bu veriler ışığında yönetmeliklere uygun olarak eleman boyutlandırılması ve birleşim hesaplamaları tamamlanmıştır. Dizayn kriterleri olarak deplasman sınırları da göz önünde bulundurularak hesaplar yapılmıştır. Bu sebepten bazı durumlarda kesit gerilmeleri düşük değerlerde olmasına karşın deplasman koşullarının sağlayacak kesitlerin seçilmesine dikkat edilmiştir.

Yapının 3 boyutlu çizimleri Xsteel programı yardımıyla yapılmış, genel yerleşim, imalat resimleri ekte verilmiştir.

Sonuç olarak bina deprem ve rüzgar yüklerini ve diğer tüm etkileri yönetmeliklerde verilenler doğrultusunda karşılayacak biçimde tasarlanmıştır.

SUMMARY

In this study, designing and static analysis of a multi storey steel structure according to EC 3 has been made. The results of these has been compared with existing TS standarts. In first part, general rules, connections, tension elements, compression elements, beams and under bending moment effect elements has been investigated. The results were presented in conclusions.

In second parts, non-linear analysis method has been researched. Pushover analysis procedure has been presented step by step.

In practice parts, the system length of the structure on direction x is 35,00 m. The length of the structure on direction y is 15,00 m. The system plan can be found Part 2.5. Span number of x direction is 7. Span number of y direction is 3. The structure has been designed as an office building. There is a 5 storey in the structure. All storey has 3,25 m height. The building height is 16,25 m. The structure is in seismic zone 2. Due to earthquake and wind lateral loads effects, high ductile vertical bracing has been designed for longitudunal direction, high ductile moment frame has been design for transversal direction. All member of the structure, except for vertical bracing profile, are rolling profile. The vertical bracing profil has been selected as a pipe profile. For economical benefit, storey slabs have been designed as a composite.

Static analysis of the system for both standarts has been made by using Sap2000 structural analysis program. After finishing analysis of system loads, global load balance was checked. This ckecking is made for verifying the correction of load input and output. The combination of loads has been occured, and the system member design has been finished. The designing of the member have been made by concerning displacement conditions. For that reason, sometimes the member stress ratio is lower than expected.

The general arrangement and workshop drawing of the system have been prepared by using Xsteel modelling and detailing program.

As a result, the office building has been designed to response the effect of the seismic and wind lateral loads.

1.GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada çok katlı bir çelik büro yapısının EC 3'e göre statik hesabı ve dizaynı yapılmış, elde edilen sonuçlar mevcut TS standartlarıyla karşılaştırılmıştır. İlk bölümde EC 3 ve TS 648 yönetmeliklerinin genel ilkeler, birleşimler, çekme çubukları, basınç çubukları, kirişler ve eğilme etkisi altındaki elemanlar açısından teorik karşılaştırılması yapılmış, elde edilen sonuçlar ilgili bölümlerin son kısımlarında verilmiştir.

İkinci bölümde doğrusal olmayan statik analiz (Pushover analiz) konusu hakkında teorik bir araştırma yapılmıştır. Analiz hakkında genel ilkeler, analizi kısıtlayıcı unsurlar ve analiz metotları hakkında bilgiler verilmiştir. Sonuç kısmında ise kapasiteyi belirlemek için yapılacak olan işlemler adım adım tarif edilmiştir.

Uygulama kısmında çok katlı bir çelik büro yapısı EC 3'e göre ve TS 648'e göre çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sap2000 programı yardımıyla, yapıya ait bir aks için pushover analiz uygulanmıştır. İlk olarak programın kendi Moment-eğrilik eğrilerinden faydalanılarak bir çözüm yapılmıştır. Daha sonra hadde I kiriş için moment-eğrilik ilişkisi hesap edilerek programda tanımlanmak suretiyle ikinci bir analiz yapılmıştır. Elde edilen tüm veriler karşılaştırılarak sonuç kısmında verilmiştir.

2. EC 3 ve TS 648 YÖNETMELİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

2.1 Genel İlkeler

2.1.1 EC 3 Yönetmeliğinin Hesap Metodunun Genel İlkeleri

EC 3 çelik yapıların tasarım ve yapım işlerine ilişkindir. Bölüm 1.1 çelik yapıların yapımı hakkında temel kuralları içermektedir. EC 3 Bölüm 1.1'e göre kesit tesirlerinin hesabında, elastik veya plastik hesap yöntemleri kullanılır. Elastik hesap yöntemleri seçildiğinde hesabın geçerlilik alanını sınırlayan herhangi bir kural yoktur. Ancak, plastik analiz yöntemleriyle hesap yapabilmek için uyulması gereken bazı kurallar vardır. EC 3 yönetmeliği çelik yapıların taşıma gücü teorisine göre hesap yapabilme imkanını sunan yöntemleri benimsemiştir. EC 3 yönetmeliği çelik malzemenin plastik deformasyon yapabilme özelliğinden faydalanmaktadır.

Kesitlerin tasarım etkileri, ileride bahsedilecek olan, kısmi güvenlik katsayıları ile çarpılarak taşıyıcı sisteme etki ettirilir. Statik hesap, elastik global analiz veya plastik global analiz yöntemleriyle yapılabilir. Hesap, kesit etkilerinin deformasyonlar üzerinde etkilerini göz önüne alıp almama durumuna göre 1.mertebe yada 2.mertebe teorisine göre yapılır. 1.mertebe global analiz yöntemi , yanal deplasmanı önlenmiş çerçevelerin hesabında, yanal deplasman yapmadığı kabul edilen çerçevelerin hesabında kullanılabilir. 2.mertebe global analiz ise bütün hallerde kullanılabilir.

Elastik global analizde kesit etkileri malzemenin gerilme-deformasyon davranışının lineer olduğu kabul edilerek hesaplanır. Ancak kesit dayanım hesapları plastik esasa göre yapılmalıdır. Plastik global analiz yöntemi ise rijit-plastik yöntemler ve elastik-plastik yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Elastik plastik yöntemler elastik-mükemmel plastik ve elasto-plastik yöntemlerdir. Rijit-plastik yöntem bir veya iki katlı yapılara, mekanizma durumu tam oluşmamış çerçevelere ve kolonlarında yalnızca temele ankastre noktalarda plastik mafsal oluşan sistemlere uygulanabilir. Elastik-mükemmel plastik yönteminde enkesitin plastik momente ulaşana kadar tam elastik kaldığı, plastik momente ulaştığında tam olarak plastikleştiği kabul edilir. Plastik deformasyonların plastik mafsallarda yoğunlaştığı kabul edilir. Elasto-plastik

analiz yönteminde enkesit en dış lif akana kadar tam elastik kalır. Moment büyüdükçe enkesit plastikleşmeye ve plastikleşme eleman boyunca yayılmaya başlar.

2.1.2 Genel Kurallar

Bu bölümde yapısal çelik, taşıyıcı sistem ve taşıyıcı elemanlar, yük durumları ve kombinasyonlar, güvenlik düzeyinin seçimi, taşıma yükü altındaki kontroller ve kesitlerin taşıma gücü konularına değinilecektir.

2.1.2.1 Yapı Çeliği Malzeme Özellikleri

EC 3 yönetmeliğine uygun boyutlandırma sırasında kullanılacak olan sınır değerleri gösteren tablo aşağıda verilmiştir. Tablo 2.1'den anlaşılacağı üzere kullanılan yapı çeliğinin nominal sınır değerleri, elemanların başlık ve gövde kalınlıklarına göre farklılık göstermektedir. Tasarımda plastik analiz teorisi kullanılırsa yapısal çeliğin bu özelliklerine ilave olarak, kopma gerilmesinin akma gerilmesine oranı ve kopma uzamasının akma uzamasına oranının 1.2'den büyük olması gerekmektedir.

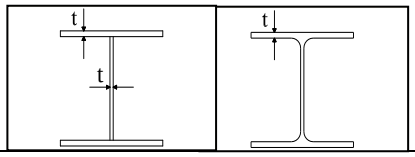
Tablo 2.1: Çeliğin akma gerilmesinin ve çekme dayanımının nominal değerleri (EC 3)

Nominal çelik kalitesi	Kalınlık t(mm)			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 100 mm	
	f_y(N/mm^2)	f_u(N/mm^2)	f_y(N/mm^2)	f_u(N/mm^2)
S 235 (Fe 360)	235	360	215	340
S 275 (Fe 430)	275	430	255	410
S 355 (Fe 510)	355	510	355	490

t: yapı elemanının nominal kalınlığıdır.
→hadde profilleri için başlık kalınlığı
→yapma kesitler için münferit elemanların kalınlığı (başlık, gövde)

f_y=akma gerilmesi

f_u=çekme dayanımı



Kullanılacak olan yapı çeliğinin karakteristik mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir.

E=21000 kN/cm^2 (Yapı çeliği elastisite modülü)

G=8100 kN/cm^2 (Yapı çeliği kayma modülü)

α_d= 0,000012 (Yapı çeliği ısı genleşme katsayısı)

ρ=78,5 kN/m^2 (Yapı çeliği yoğunluğu)

2.1.2.2 Taşıyıcı Sistem

EC 3 Bölüm 1.1'e göre taşıyıcı sistemler, düğüm noktaları ötelenebilen ve ötelenemeyen çerçeveler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ayrıca, sistemde oluşması mümkün geometrik kusurların ve ilave gerilmelerin dikkate alınması gerekmektedir.

2.1.2.3 Taşıyıcı Elemanlar

Taşıyıcı eleman enkesitleri 4 sınıfa ayrılmaktadır.

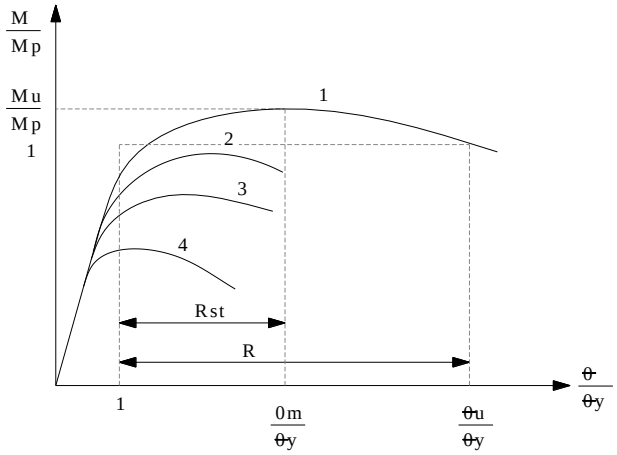
1.sınıf enkesitler (plastik enkesitler): Yeterli dönme kapasiteli plastik mafsallar oluşturabilen enkesitlerdir.

2.sınıf enkesitler (kompakt enkesitler): Maksimum plastik dayanıma sahip olup, sınırlı dönme kapasiteleri olan enkesitlerdir.

3.sınıf enkesitler (yarı kompakt enkesitler): En elverişsiz enkesit lifinde akma gerilmesine ulaşılan, fakat yerel buruşmalar sebebiyle plastik rezervleri kullanılamayan enkesitlerdir.

4.sınıf enkesitler (narin enkesitler): Basınca maruz enkesit kısımlarında meydana gelen yerel buruşmalar sebebiyle, tam elastik dayanıma ulaşamayan enkesitlerdir. Enkesitte göçme elastik bölgede meydana gelir.

Elastik analiz yöntemleri kullanıldığında uyulması gereken narinlik oranları ile plastik analiz yöntemleri kullanılması durumunda uyulması gereken narinlik oranları birbirinden farklıdır. Şekil 2.1 de plastik moment dayanımı-plastik dönme kapasitesi ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Enkesit sınıflarının davranışını gösteren diyagram (EC 3)

Burada R dayanımın tasarım değerini göstermektedir. Şekilden anlaşılacağı üzere eğrilerin altında kalan alanlar ne kadar fazla ise kesit o kadar sünek (düktil) davranış gösterecektir. Buna göre 1 numaralı eğri 1.sınıf enkesitleri göstermekte olup en fazla alana sahip olduğu için sünek (düktil) enkesitler olarak tanımlanır. 2 numaralı eğri 2.sınıf enkesitler olan kompakt enkesitleri, 3 numaralı eğri 3.sınıf enkesitler olan yarı kompakt enkesitleri göstermektedir. 4 numaralı eğri en az alana sahip olduğu için 4.sınıf enkesitler olan narin en kesitleri göstermektedir.

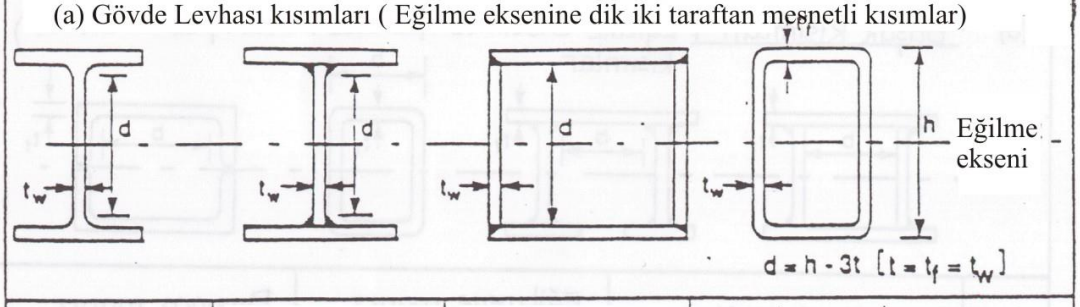
Enkesit sınıflarının hesabı aşağıda tanımlanan şekilde yapılacaktır. Hesap için gerekli olan sınır oranlar ise ilerleyen sayfalarda şekiller halinde tanımlanmıştır.

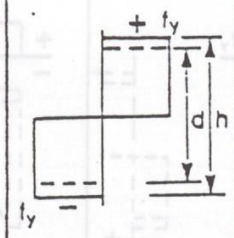
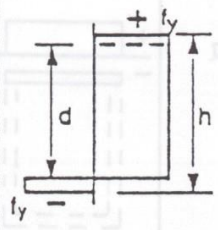
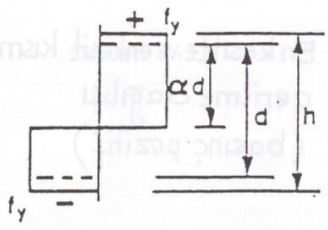
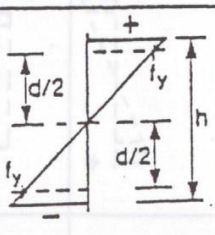
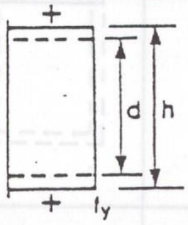
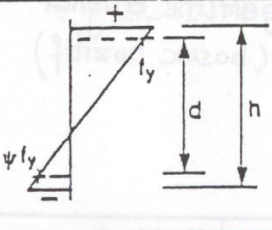
- 4.sınıf enkesitlerde enkesit buruşması sonucu enkesit dayanımı etkili genişlik kullanılarak hesaplanır.
- Enkesitler, basınca maruz kısımlarının boyut oranlarına bağlı olarak sınıflandırılır.
- Basınca maruz kısımlar, herhangi bir yükleme durumunda eksenel kuvvet veya eğilme momentiyle, tamamen veya kısmen zorlanan enkesit kısımlarıdır.
- Bir enkesitte basınca maruz kısımlar (başlık veya gövde) farklı sınıflara ayrılabilir.
- Bir enkesit, basınca maruz elemanlarının en elverişsiz sınıfına göre sınıflandırılır.
- Basınca maruz kısımların 1., 2., ve 3.sınıflara ayrılmasında sınır oranlar Şekil 2.2~2.5'de verilen tablolardan alınabilir. Basınca maruz bir enkesit kısmı sınıf 3'ün sınır oranlarını sağlamadığı takdirde sınıf 4'e girer.

Şekil 2.2 eğilme eksenine dik iki taraftan mesnetli gövde levhası kısımlarına ait değerleri, Şekil 2.3 eğilme eksenine paralel iki taraftan mesnetli başlık kısımlarına ait değerleri, Şekil 2.4 tek taraftan mesnetli başlık kısımlarına ait değerleri, Şekil 2.5 ise korniyer ve boru enkesitlere ait değerleri göstermektedir.

Eğilme eksenine dik iki taraftan mesnetli gövde levhası kısımlarının enkesit sınıflarının tayininde kullanılacak değerler için Şekil 2.2'e bakılacaktır.

(a) Gövde Levhası kısımları (Eğilme eksenine dik iki taraftan mesnetli kısımlar)



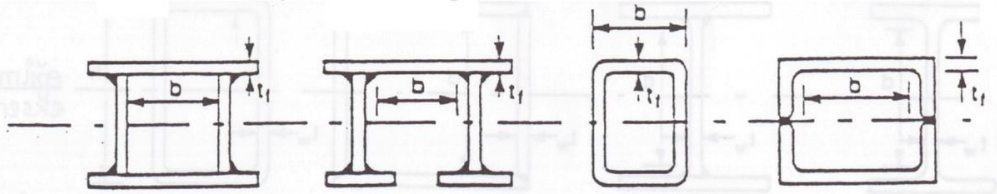
Sınıf	Eğilmeye maruz gövde levhası	Basınca maruz gövde levhası	Eğilme ve basınca maruz gövde levhası
Enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)			
1	$d/t_w \le 72\varepsilon$	$d/t_w \le 33\varepsilon$	eğer $\alpha > 0{,}5$: $d/t_w \le 396\varepsilon/(13\alpha - 1)$ eğer $\alpha < 0{,}5$: $d/t_w \le 36\varepsilon/\alpha$
2	$d/t_w \le 83\varepsilon$	$d/t_w \le 38\varepsilon$	eğer $\alpha > 0{,}5$: $d/t_w \le 456\varepsilon/(13\alpha - 1)$ eğer $\alpha < 0{,}5$: $d/t_w \le 41{,}5\varepsilon/\alpha$
Enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)			
3	$d/t_w \le 124\varepsilon$	$d/t_w \le 42\varepsilon$	eğer $\psi > -1$: $d/t_w \le 42\varepsilon/(0{,}67 + 0{,}33\psi)$ eğer $\psi \le -1$: $d/t_w \le 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$

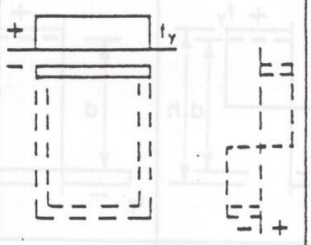
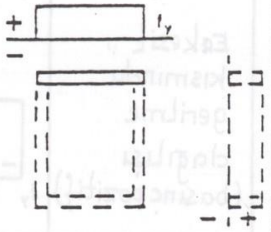
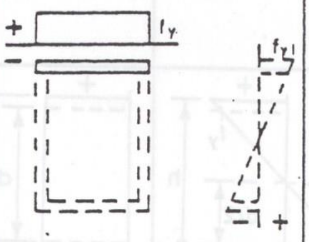
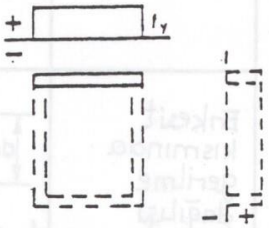
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355
	ε	1	0,92	0,81

Şekil 2.2: Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları (EC 3)

Eğilme eksenine paralel iki taraftan mesnetli başlık kısımlarının enkesit sınıflarının tayininde kullanılacak değerler için Şekil 2.3'e bakılacaktır.

(b) Başlık kısımları (Eğilme eksenine paralel iki taraftan mesnetli kısımlar)



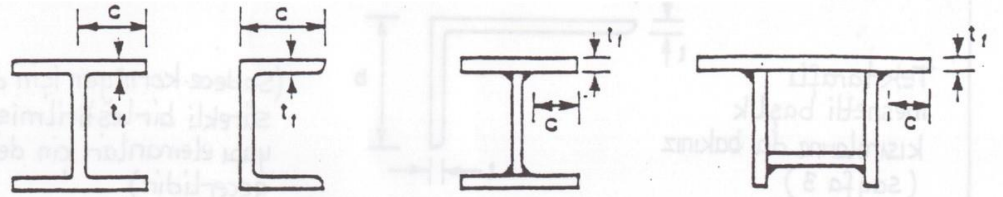
Sınıf	Enkesit şekli	Eğilmeye maruz enkesit	Basınca maruz enkesit
	Enkesitte ve enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)		
1	Hadde boru profiller Diğerleri	$(b-3t_f)/t_f \le 33\varepsilon$ $b/t_f \le 33\varepsilon$	$(b-3t_f)/t_f \le 42\varepsilon$ $b/t_f \le 42\varepsilon$
2	Hadde boru profiller Diğerleri	$(b-3t_f)/t_f \le 38\varepsilon$ $b/t_f \le 38\varepsilon$	$(b-3t_f)/t_f \le 42\varepsilon$ $b/t_f \le 42\varepsilon$
	Enkesitte ve enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)		
3	Hadde boru profiller Diğerleri	$(b-3t_f)/t_f \le 42\varepsilon$ $b/t_f \le 42\varepsilon$	$(b-3t_f)/t_f \le 42\varepsilon$ $b/t_f \le 42\varepsilon$

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355
	ε	1	0,92	0,81

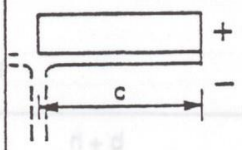
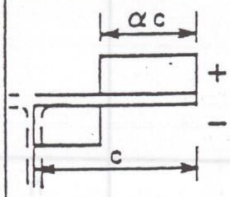
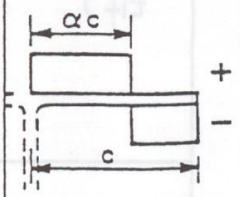
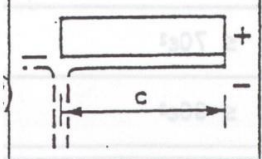
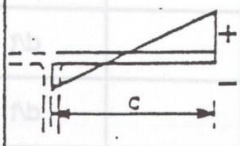
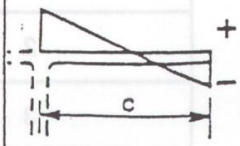
Şekil 2.3: Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları (EC 3)

Tek taraftan mesnetli başlık kısımlarının enkesit sınıflarının tayininde kullanılacak değerler için Şekil 2.4'e bakılacaktır.

(c) Başlık kısımları (Tek taraftan mesnetli kısımlar)



Hadde enkesitler — Kaynaklı enkesitler

Sınıf	Enkesit şekli	Basınca maruz başlık	Basınç ve eğilmeye maruz başlık	
			Başlık ucu basınç bölgesinde	Başlık ucu çekme bölgesinde
En kesitte ve enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)				
1	Hadde	$c/t_f \le 10\varepsilon$	$c/t_f \le \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t_f \le \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
	Kaynaklı	$c/t_f \le 9\varepsilon$	$c/t_f \le \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t_f \le \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	Hadde	$c/t_f \le 11\varepsilon$	$c/t_f \le \frac{11\varepsilon}{\alpha}$	$c/t_f \le \frac{11\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
	Kaynaklı	$c/t_f \le 10\varepsilon$	$c/t_f \le \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t_f \le \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
En kesitte ve enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)				
3	Hadde	$c/t_f \le 15\varepsilon$	$c/t_f \le 23\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$	
	Kaynaklı	$c/t_f \le 14\varepsilon$	$c/t_f \le 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$	

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$

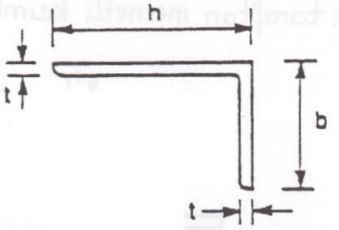
f_y	235	275	355
ε	1	0,92	0,81

Şekil 2.4: Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları (EC 3)

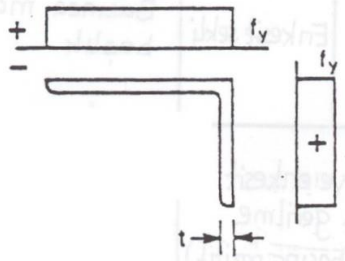
Korniyerler ve boru kesitlerin enkesit sınıflarının tayininde kullanılacak değerler için Şekil 2.5'e bakılacaktır.

(d) Korniyer

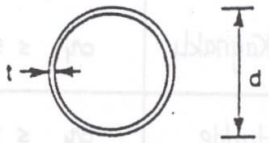
Tek taraflı mesnetli boşluk kısımlarına da bakınız (sayfa 3)



(Sadece korniyer için değil sürekli birleştirilmiş diğer yapı elemanları için de geçerlidir)

Sınıf	Basınca maruz enkesit
Enkesitte gerilme dağılışı (basınç pozitif)	
3	$\frac{h}{t} \le 15\varepsilon \quad : \quad \frac{b+h}{2t} \le 11{,}5\varepsilon$

e) Boru enkesitler



Sınıf	Eğilme ve /veya basınca maruz enkesit
1	$d/t \le 50\varepsilon^2$
2	$d/t \le 70\varepsilon^2$
3	$d/t \le 90\varepsilon^2$

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$

f_y	235	275	355
ε	1	0,92	0,81
ε^2	1	0,85	0,66

Şekil 2.5: Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları (EC 3)

2.1.2.4 Yükler, Yük ve Dayanım Faktörleri

EC 3 Bölüm 1.1'de yükler etkiler adı altında ele alınmakta, etkiler yapıya tatbik edilen yük veya deplasman olarak tanımlanmaktadır. Etkiler zamana bağlı değişimlerine göre sınıflandırılırlar. Bu etkiler; sabit etkiler (G) ve hareketli etkilerdir(Q). Etkilere uygulanacak yük faktörleri (γ_k) kısmi güvenlik katsayıları olarak isimlendirilmektedir. Etkilerin sınıfına göre ve etkinin dahil bulunduğu yük kombinasyonuna göre kısmı güvenlik katsayıları değişmektedir. Etkilere uygulanacak kısmi güvenlik katsayı değerleri Tablo 2.2'de aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.2: Etkilere uygulanacak olan kısmi güvenlik katsayıları (EC 3)

Taşıma Yükü Sınır Durumu	Kullanılabilirlik Sınır Durumu
Yalnız en elverişsiz etki eden hareketli etki Q $S_d = 1{,}35\Sigma G + 1{,}5Q$ Tüm hareketli yükler $S_d = 1{,}35\Sigma G + 1{,}35\Sigma Q$	Yalnız en elverişsiz etki eden hareketli etki Q $S_d = \Sigma G + Q$ Tüm hareketli yükler $S_d = \Sigma G + 0{,}9\Sigma Q$
En elverişsiz yük kombinasyonu esas alınır.	

Mukavemetlere (dayanımlara) uygulanacak olan kısmi güvenlik katsayıları (γ_m)

Enkesitlerin akmaya karşı dayanımı için (γ_{m0}) =1,1

Enkesitlerin burkulmaya karşı dayanımı için (γ_{m1}) =1,1

Net enkesitlerin akmaya karşı dayanımı için (γ_{m2}) =1,25 olarak alınır.

2.1.2.5 Güvenlik Düzeyinin Seçimi

Taşıyıcı sistemin tasarımına yön veren iki ayrı sınır durum söz konusudur. Sınır durumları, taşıma yükü sınır durumu ve kullanma sınır durumu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Taşıma yükü sınır durumları, yapının veya yapıyı oluşturan elemanlardan birinin tümünün göçmesine veya içinde bulunan insanların güvenliğini tehlikeye sokacak derecede yapısal çökmeleri ifade eder. Kullanma sınır durumları ise daha çok binanın görünüşü, kullanılabilirliği ve taşıyıcı olmayan elemanlarının zarar görmesi durumudur. Yapının hesabında, yapının veya yapıyı oluşturan elemanların servis yüklerinde kullanma sınır durumlarını, taşıma yüklerinde taşıma

yükü sınır durumlarını aşmaması sağlanmalıdır. Kullanma sınır durumları aşağıda belirlendiği gibi tanımlanmıştır.

a) Yapının görünüm ve kullanımını etkileyecek kadar fazla olan deplasman ve şekil değişiklikleri

b) Binada bulunacak insanların rahatını bozacak veya içindeki eşyalara zarar verecek kadar fazla olan yer değiştirme ve çökmeler

c) Binanın taşıyıcı olmayan elemanlarına zarar verecek kadar fazla olan titreşim ve yer değiştirmeler

Deplasmanların hesabında ikinci mertebe teorilerinin ve kullanma durumlarında oluşabilecek plastik mafsalların etkileri dikkate alınmalıdır.

2.1.2.6 Taşıma Yükü Altındaki Kontroller

EC 3 yönetmeliğine göre yapı elemanları ve birleşimler sınır durum yöntemlerine göre boyutlandırılırlar. Bu yöntemde S_k , R_k (yükler mukavemetler vs.) büyüklüklerinin karakteristik değerleri γ_f, γ_m sabit kısmi güvenlik katsayıları ile çarpılmaktadır. Etkilerin boyutlandırma değerleri, mukavemetin boyutlandırma değerleri ile karşılaştırılır.

$$\gamma_f \times S_k \le \frac{R_k}{\gamma_m} \rightarrow \quad \frac{S_d}{R_d} \le 1 \text{ dir. Buradan; } S_d \le R_d \text{ elde edilir.} \qquad (2.1)$$

Burada S_d, etkilerin tasarım değerleri olan normal kuvvetler, eğilme momentleri, kesme kuvvetleri, gerilmeler, rijitlikler, sehimler ve deformasyonlardır.

R_d, mukavemetin tasarım değerleri olan taşıma gücü, statik denge, akma sınırı, çekme mukavemeti, sehim ve deformasyonların sınır değerleri ve titreşimlerdir.

2.1.2.7 Kesitlerin Taşıma Gücü

EC 3 Bölüm 1.1'e göre kesitlerin taşıma gücünü belirleyen durumlar; tüm enkesitin plastik dayanımı, birleşim yerlerinde net enkesit dayanımı, kesme dayanımı, yerel burkulma dayanımı ve kesme burkulmasıdır. Bir kesitin, kesit tesirlerine mukavemeti, kesitte bu kesit değerlerini dengeleyen oluşan deformasyonların göz önünde bulundurulduğu ve plastik yönden kabul edilebilir bir gerilme dağılımı bulunabildiği sürece mümkündür. Ayrıca enkesitin burkulmaya karşı dayanımı gösterilmeli ve sistemin stabilitesi sağlanmalıdır.

2.1.3 TS 648 Yönetmeliğinin Hesap Metodunun Genel İlkeleri

Çelik yapıların emniyet gerilmesi esasına göre boyutlandırılmasında, emniyet gerilmeleri orantılı sınır gerilmesinin altında kaldığından, malzeme tamamen lineer-elastik karakter gösterir. Dolayısıyla çelik taşıyıcı sistemlerin hesabı, elastisite teorisine dayanan hesap yöntemlerinden biriyle yapılabilir. Sonuç olarak hesaplanacak gerilmelerin emniyet gerilmelerini aşmadığı ve şekil değiştirmelerinde belirli sınırlar altında kaldığı gösterilerek, taşıyıcı sistemin veya elemanın yeterince boyutlandırılmış olduğu saptanmış olur.

2.1.4 Genel Kurallar

Bu bölümde yapısal çelik, taşıyıcı sistemler, taşıyıcı elemanlar, yük durumları ve kombinasyonlar son olarak da emniyet gerilmeleri konularına değinilecektir.

2.1.4.1 Yapı Çeliği Malzeme Özellikleri

Kullanılacak olan yapı çeliğinin karakteristik mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir.

$E=21000\ kN/cm^2$ (Yapı çeliği elastisite modülü)

$G=8100\ kN/cm^2$ (Yapı çeliği kayma modülü)

$\alpha_d= 0,000012$ (Yapı çeliği ısı genleşme katsayısı)

$\rho=78,5\ kN/m^2$ (Yapı çeliği yoğunluğu)

2.1.4.2 Taşıyıcı Sistem

Bu hesap yöntemi, deplasman ve gerilme kontrolü koşullarını sağlayan her türlü taşıyıcı sisteme uygulanabilir.

2.1.4.3 Taşıyıcı Elemanlar

Taşıyıcı elemanlar, sistemin düzlemiyle çakışan bir simetri düzlemine sahip olmalıdır. Boyutlandırma yerel burkulma olmayacak şekilde yapılmalıdır.

2.1.4.4 Yükler ve Kombinasyonlar

Yükler dayanım ve stabilite tahkikleri için TS 498'den alınmalıdır. Yapıya etkiyen yükler esas yükler ve tali yükler olarak ikiye ayrılmaktadır. Boyutlandırma ve gerilme tahkikleri ile her zaman en büyük enkesitleri gerektiren yükleme halleri dikkate alınmalı, kombinasyonlar bu kurala göre oluşturulmalıdır.

2.1.4.5 Emniyet Gerilmeleri

TS 648'e göre emniyet gerilmeleri şu şekildedir;

$$\sigma_{Hem}=\left(\frac{(0,6 \times \sigma_a)}{(0,5 \times \sigma_d)}\right)_{max}=\left(\frac{(0,6 \times 24)}{(0,5 \times 37)}\right)_{max}=14,4 \text{ kN/cm}^2 \text{ (Çekme, Eğilmede Çekme)} \quad (2.2)$$

Burada σ_a malzemenin akma gerilmesini, σ_d ise malzemenin çekme dayanım gerilmesini göstermektedir.

$$\tau_{Hem}=\frac{14,4}{\sqrt{3}}=8,31 \text{ kN/ cm}^2 \text{ (Kayma)} \quad (2.3)$$

ABYYHY Madde 8.2.3 uyarınca emniyet gerilmeleri rüzgarlı durum için %15, depremli durum içinde %33 oranında artırılmıştır. Buna göre;

$\sigma_{HZem}= 1,15\times14,4=16,56 \text{ kN/ cm}^2$

$\sigma_{HEQem}= 1,33\times14,4=19,15 \text{ kN/ cm}^2$

$\tau_{HZem}=\frac{16,56}{\sqrt{3}}=9,56 \text{ kN/ cm}^2$

$\tau_{HEQem}=\frac{19,15}{\sqrt{3}}=11 \text{ kN/ cm}^2$

$\sigma_{VHem}=0,75\times24=18,0 \text{ kN/ cm}^2$ (Kıyaslama gerilmesi)

$\sigma_{VHZem}=0,80\times24=19,2 \text{ kN/ cm}^2$ (Kıyaslama gerilmesi)

2.1.5 Genel İlkeler Açısından Karşılaştırma

EC 3 yönetmeliği yapı elemanlarının boyutlandırılmasında kısmi güvenlik katsayılarını kullanmaktadır. Bu yöntemde dış etkiler ve yapısal mukavemet değerleri değişken boyutlandırma parametreleridir. Yük kombinasyonları, yükün istatistiksel yönden değerlendirilmesi sonucunda elde edilen aşırı yükleme hali de göz önüne alınarak oluşturulur. Dolayısıyla bu yöntem olasılık teorisine dayalı bir yöntemdir. Ayrıca mukavemet dayanımı, çelik malzemesinin kalitesinin istatistiksel özellikleri değerlendirilerek, çelik kalitesinin nominal değerlerinden negatif yönde sapmaları da göz önünde tutularak belirlenen bir, kısmi güvenlik katsayısı ile azaltılır. Hesaplar çeliğin plastik malzeme karakteri davranışına göre yapılır. Çelik malzemenin plastik dayanımına göre boyutlandırma yapılır.

EC 3 yönetmeliği sınır durum yöntemi esas alınarak geliştirilmiştir. Sınır durum yöntemi, taşıma yükü sınır durumu ve kullanılabilirlik sınır durumu olmak üzere, iki kısma ayrılmıştır. Taşıma yükü sınır durumu emniyeti temel almaktadır. Bu durumda

yapının veya yapı elemanlarının maksimum dayanımının, belirli bir emniyet toleransı içerisinde kalınarak, maksimum etkilerden (kesit tesirleri, sehimler vb.) fazla olması durumudur. Taşıma yükü sınır durumuna göre yapılan hesaplarda stabilite, dayanım, ikinci mertebe etkileri ve yorulmalar kontrol edilir.

Stabilite kontrolünde stabiliteyi sağlayan etkilerin, stabiliteyi bozmaya çalışan dizayn etkilerinden fazla olup olmadığı araştırılır. Bu inceleme yapı elemanlarının stabilitesinden ziyade tüm yapının stabilitesini inceler. Statik denge kontrolü yapılır. Burkulmayla ilgili olan yapı elemanlarının stabilitesi dayanım kısmında incelenir. Dayanım kontrolünde etkilerin tasarım değerinin, dayanımın tasarım değerinin altında kalması incelenir. Bu incelemede enkesitin dayanımı, çubuk elemanların burulma ve burkulma dayanımları ve yapının mekanizma durumu araştırılır. Yapılacak olan dayanım kontrolleri ; enkesit dayanımı, eleman dayanımı, birleşim dayanımı kontrolü ve münferit elemanlarda stabilite kontrollerini içerir.

İkinci mertebe etkilerinin incelenmesinde yapının herhangi bir yerinde ikinci mertebe etkilerinden dolayı stabilitenin bozulup bozulmadığı kontrol edilir. Uygun analiz yöntemleri ve yük kombinasyonları seçilirse ikinci mertebe etkilerine göre kontrole gerek kalmaz. Ancak çok narin yapılarda ve yapı elemanlarında kontrol gereklidir. Yorulma dayanımı kontrolünün amacı yorulmadan dolayı göçmenin meydana gelmesinin önlenmesidir. Belirgin çevrimsel yüklemelerin etkimesi durumunda, ağır makineleri taşıyan yapılarda, önemli araç yüküne maruz alanlarda yorulma dayanım kontrolü yapılabilir.

Kullanılabilirlik sınır durumuna göre kontrolde normal kullanım koşulları altında sehimlerin belirli limitlerde kalıp kalmadığı incelenir. İncelemenin amacı kullanıcıların kendini rahatsız hissetmemesi ve rahatsız edici görünümlerin oluşmamasıdır.

TS 648 yönetmeliğinde ise, yapı elemanlarının boyutlandırılmasında emniyet faktörü ilkesi kullanılmaktadır. Emniyet faktörü ilkesi olasılık teorisine dayalı yöntemlerden türetilmemiştir. Emniyet faktörü değerleri mühendislik deneyimleri ile saptanmıştır. Emniyet gerilmeleri çeliğin akma sınırı değerinin bir emniyet faktörüne bölünmesi ile belirlenir. Bu da göçmeye karşı gerçek güvenliği göstermemektedir. Çelik yapıların hesabı emniyet faktörü ilkesine göre yapıldığından dolayı emniyet gerilmeleri orantılı sınır gerilmesinin altında kalmaktadır. Bu nedenle çelik lineer

elastik malzeme karakteri göstermektedir. Çelik malzemenin elastik dayanımına göre boyutlandırma yapılır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3: Genel ilkeler açısından karşılaştırma

<table>
<tr><th colspan="2">Hesap Metodlarının Karşılaştırılması</th></tr>
<tr><th>EC 3</th><th>TS 648</th></tr>
<tr><td>Sınır durum yöntemini benimsemiştir.
Yapının dayanım ve göçmesini incelemede taşıma yükü sınır durumu, deformasyonların ve titreşimlerin incelenmesinde ise kullanılabilirlik sınır durumu kullanılmaktadır.
Analizde elastik ve plastik global analiz yöntemleri kullanılmaktadır.
Tesirler ve dayanımlara istatistiksel esaslara dayalı olarak belirlenen kısmi güvenlik katsayıları uygulanmaktadır.
Çelik malzemenin plastik dayanımını kullanmaktadır.
Sonuçta dayanımlar, etkilerden belirli bir emniyet marjı ile büyük kalacak şekilde ve deformasyonlar yönetmelikte verilen limitlerin altında kalacak şekilde boyutlandırma yapılmaktadır.</td><td>Emniyet faktörü ilkesini kullanmaktadır.
Elastisite teorisine dayanan emniyet gerilmeleri yöntemini kullanmaktadır.
Çelik malzemenin tamamen lineer elastik karakter gösterdiği kabul edilmektedir.
Çelik malzemenin elastik özellikleri kullanılmaktadır.
Hesaplanan gerilmelerin emniyet gerilmelerini aşmadığı ve şekil değiştirmelerin yönetmelikçe belirtilen limitleri aşmadığı gösterilerek boyutlandırma yapılmaktadır.
Emniyet faktörü değerleri mühendislik deneyimleri ile saptanmıştır.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Çelik Malzeme</th></tr>
<tr><th>EC 3</th><th>TS 648</th></tr>
<tr><td colspan="2">EC 3 akma gerilmesi ve çekme dayanımının tespitinde nominal değerleri kullanmaktadır. Bu sebeple çelik malzemenin akma gerilmesi ve çekme dayanımı TS 648'e göre daha küçüktür.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Enkesitler</th></tr>
<tr><th>EC 3</th><th>TS 648</th></tr>
<tr><td>Enkesit dayanımlarını ve incelenecek analiz metodunu belirlemek için enkesit sınıfları 4 gruba ayrılmıştır.</td><td>Herhangi bir enkesit sınıflandırması bulunmamaktadır.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Yük ve Malzeme Katsayıları</th></tr>
<tr><th>EC 3</th><th>TS 648</th></tr>
<tr><td>Sınır duruma göre analiz yaptığı için yükler belirli kısmi güvenlik katsayıları ile artırılırken, dayanımlar da belirli kısmi güvenlik katsayılarına bölünmektedir.</td><td>Yüklere herhangi bir katsayı uygulanmaz . Emniyet gerilmeleri belirli güvenlik katsayılarına bölünerek elde edilmektedir.</td></tr>
</table>

2.2 Birleşimler

Birleşimler bulonlu birleşimler ve kaynaklı birleşimler olmak üzere iki grupta incelenecektir. Çelik yapıları oluşturan profil ve levhalar, birleşim araçları yardımıyla yapı kısımlarını oluşturacak şekilde birleştirilirler. Kaynaklı birleşimler çözülemeyen birleşimler, bulonlu birleşimler ise çözülebilen birleşimler olarak adlandırılırlar.

2.2.1 EC 3 Yönetmeliğine Göre Bulonlu Birleşimlerin Tasarlanması

Bulonlu birleşimlerin tasarlanması sırasında etkilere uygulanacak olan kısmi güvenlik katsayıları şu şekildedir.

Bulonlar için $\gamma_{Mb}=1,25$

Kayma mukavemetli bulonlu birleşimlerde;

kullanılabilirlik sınır durumu için $\gamma_{Ms,ser}=1,1$

taşıma yükü sınır durumu için $\gamma_{Ms,ult}=1,25$

Delik cidarı ezilmesinde malzeme göçmesi durumu için $\gamma_{Mb}=1,25$

Bulonlu birleşimde çekmede, net enkesitte yapı elemanında $\gamma_{M2}=1,25$ olarak alınır.

2.2.1.1 Bulon Malzemesi

Çelik yapılarda kullanılan bulonlar (4.6), (5.6), (8.8) ve (10.9) kalitelerindedir.

Sabit yüklere maruz birleşimlerde (4.6) ve (5.6) kalitede bulonlar, dinamik yüklere maruz birleşimlerde (8.8) ve (10.9) kalitede bulonlar kullanılır.

EC-3 yönetmeliğine uygun boyutlandırma sırasında birleşim elemanı olarak kullanılacak olan bulonlara ait akma gerilmesinin ve çekme dayanımının nominal değerleri aşağıda Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4: Bulonların f_{yb} akma gerilmesinin ve f_{ub} çekme dayanımının nominal değerleri (EC 3)

Bulon kalitesi	4.6	5.6	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm^2)	240	300	640	900
f_{ub} (N/mm^2)	400	500	800	1000

2.2.1.2 Bulonlu Birleşimlerin Sınıflandırılması

Tablo 2.5: Bulonlu birleşimlerin teşkil şekilleri (EC 3)

Birleşim	SL	SLP	GV	GVP
Malzeme kaliteleri	4.6, 5.6, 8.8, 10.9	4.6, 5.6, 8.8, 10.9	8.8, 10.9	8.8, 10.9
İzin verilen boşluk	≤ 1 mm M12~M14 ≤ 2 mm M16~M24 ≤ 3 mm M27 ve üstü	≤ 0.3 mm	≤ 3 mm M12 ≤ 4 mm M16~M22 ≤ 6 mm M24 ≤ 8 mm M27 ve üstü	≤ 0.3 mm
Kullanıldığı yapılar	Sabit yüklere maruz	Sabit yüklere maruz	Dinamik yüklere maruz	Dinamik yüklere maruz

Bulonlu birleşimler zorlanma tiplerine ve birleşim çeşitlerine göre 5 farklı gruba ayrılırlar. Bu gruplar Tablo 2.6'de gösterilmiştir.

Tablo 2.6: Bulonlu birleşim tipleri (EC 3)

Makaslama, delik cidarında ezilme ve kayma dayanımlı birleşimler		
Birleşim tipi	Koşul	Birleşim hakkında açıklama
Makaslama, delik cidarında	$F_{v,Sd} \le F_{v,Rd}$	Öngermesiz birleşim,
ezilmeye çalışan birleşim (A)	$F_{v,Sd} \le F_{b,Rd}$	Bulon kalitesi (4.6)~(10.9)
Kullanılabilirlik sınır durumunda	$F_{v,Sd} \le F_{v,Rd}$	Yüksek mukavemetli öngermeli bulonlar,
kayma dayanımlı birleşim (B)	$F_{v,Sd} \le F_{b,Rd}$	Kullanılabilirlik sınır durumunda kayma yok
Taşıma yükü sınır durumunda	$F_{v,Sd} \le F_{s,Rd}$	Yüksek mukavemetli öngermeli bulonlar,
kayma dayanımlı birleşim (C)	$F_{v,Sd} \le F_{b,Rd}$	Taşıma yükü sınır durumunda kayma yok
Çekme Etkisi Altındaki Birleşimler		
Birleşim tipi	Koşul	Birleşim hakkında açıklama
Öngermesiz birleşimler (D)	$F_{t,Sd} \le F_{t,Rd}$	Öngerme yok, bulon kalitesi (4.6)~(10.9)
Öngermeli birleşimler (E)	$F_{t,Sd} \le F_{t,Rd}$	Yüksek mukavemetli öngermeli bulonlar

Burada;

$F_{v,Sd}$, taşıma yükü sınır durumunda her bir bulonun makaslama tasarım kuvvetini,

$F_{v,Rd}$, her bir bulonun makaslama dayanım kuvvetini,

$F_{b,Rd}$, her bir bulonun delik cidarında ezilme dayanım kuvvetini,

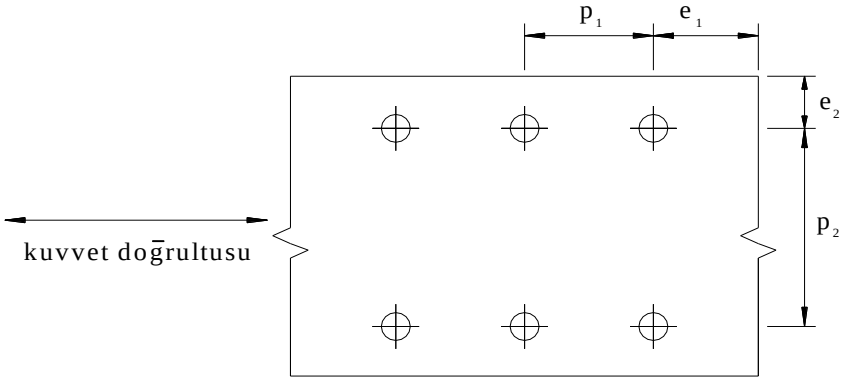
$F_{s,Rd}$, taşıma yükü sınır durumunda her bir bulonun kayma dayanım kuvvetini,

$F_{t,Sd}$, taşıma yükü sınır durumunda her bir bulonun çekme tasarım kuvvetini,

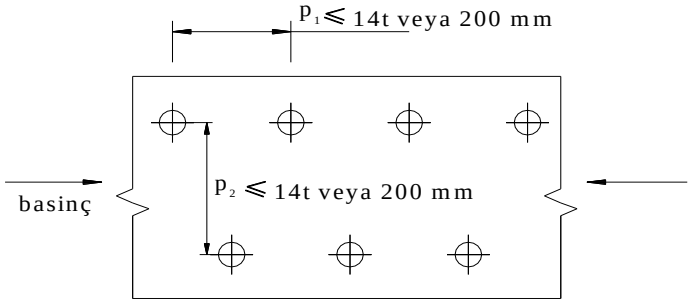
$F_{t,Rd}$, her bir bulonun çekme dayanım kuvvetini göstermektedir.

2.2.1.3 Bulon Kenar ve Delik Mesafeleri

Kuvvet doğrultusunda delik ekseninden levha kenarına en küçük mesafe $e_1 = 1.2d_0$ olmalıdır. Burada d_0 delik çapıdır. Kuvvete dik doğrultuda delik ekseninden levha kenarına en küçük mesafe $e_2 = 1.5d_0$ olmalıdır. Dış etkilere veya korozif etkilere maruz yapı elemanlarında kuvvet ve kuvvete dik doğrultuda en büyük kenar mesafe 40 mm + 4t olmalıdır. Burada t birleştirilen en ince dış levha kalınlığıdır. Diğer hallerde maksimum kenar mesafeler 12t veya 150 mm'yi aşmamalıdır. Kuvvet doğrultusunda bir birleşim elemanı ekseninden, birleşim elemanı eksenine en küçük delik aralığı $p_1 = 2.2d_0$ olmalıdır. Kuvvete dik doğrultuda en küçük delik aralığı $p_2 = 3.0d_0$ olmalıdır. Kuvvet doğrultusunda en büyük delik aralıkları p_1 ve kuvvete dik doğrultuda en büyük delik aralıkları p_2 ,14t veya 200 mm'den küçük olanını aşmamalıdır. Delik aralıklarının notasyonları Şekil 2.6'da, basınca maruz yapı elemanlarında şaşırtmalı delik düzeni ise Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.6: Delik aralıklarının notasyonları



Şekil 2.7: Basınca maruz yapı elemanlarında şaşırtmalı delik düzeni

2.2.1.4 Kesit Etkilerinin Birleşim Elemanlarına Dağıtılması

Birleşimlerde genel olarak makaslama ve delik cidarında ezilme kontrolleri yapılır. Taşıma yükü sınır durumunda bulon göçmesine izin verilirse, $F_{v,Rd} < F_{b,Rd}$, kuvvetler birleşim araçlarına lineer olarak, delik cidarında ezilme esas ise, $F_{b,Rd} < F_{v,Rd}$, kuvvetler birleşim araçlarına plastik olarak dağılır.

2.2.1.5 Delik Cidarında Ezilme Kontrolü

Delik cidarında ezilmeye göre kuvvet aktaran birleşimlerde, bulonlar eksenine dik olarak zorlanırlar. Bulonlarda dinamik zorlanmalar varsa yorulma kontrolü yapılmalıdır. Birleşime giren her bir levha için ayrı ayrı hesap yapılmalıdır. Güvenli bir şekilde aktarılabilir kuvvet, bulonun gövdesi arasında ezilmeye göre hesaplanır. Birleşim güvenliği tahkiki $F_{b,Sd} \leq F_{b,Rd} = (2{,}5 \times \alpha \times f_u \times d \times t)/\gamma_{Mb}$ şeklinde yapılır. (2.4)

$F_{b,Rd}$ taşıma yükü sınır durumunda delik cidarında ezilme dayanımı kuvvetinin hesap değerini, t birleşim levha kalınlığını, d ise bulon çapını göstermektedir. α katsayısı yaklaşık olarak küçük zorlanmalar da 0,5, orta zorlanmalar da 0,75, yüksek zorlanmalar da ise 1,0 olarak alınabilir.

2.2.1.6 Makaslama Kontrolü

Makaslamaya göre kuvvet aktaran birleşimlerde, bulonlar eksenine dik olarak zorlanırlar. Güvenli bir şekilde aktarılabilir kuvvet, bulonun gövdesinde makaslama alanıyla aktardığı kuvvettir. Birleşim güvenliği tahkiki;

$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd} = (C_1 \times f_{ub} \times A_s)/\gamma_{Mb}$ şeklinde yapılır. (2.5)

A_s bulonun çekme kuvveti aktaran gerilme alanıdır. Tablo 2.7' da verilmiştir.

Tablo 2.7: Bulonların gerilme alanı değerleri (EC 3)

Bulon	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
A_s cm^2	0,85	1,57	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61

$F_{v,Rd}$ taşıma yükü sınır durumunda makaslama dayanımı hesap değeridir.

C_1=0,6 (4.6, 5.6 ve 8.8), C_1=0,5 (4.8, 5.8, 6.8 ve 10.9) olarak alınır.

2.2.1.7 Bulonların Çekme Dayanımı

Güvenli bir şekilde aktarılabilir kuvvet, bulonun en kesit alanıyla aktardığı kuvvettir.

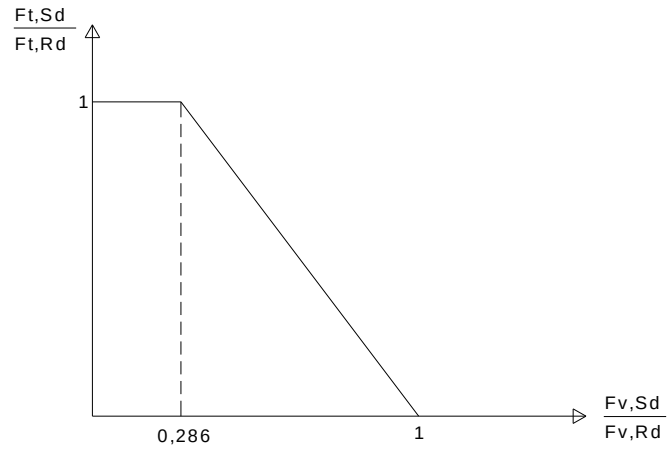
Birleşim güvenliği tahkiki; $F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd} = (0{,}9 \times f_{ub} \times A_s)/\gamma_{Mb}$ şeklinde yapılır. (2.6)

$F_{t,Rd}$ taşıma yükü sınır durumunda çekme dayanımı hesap değeridir.

2.2.1.8 Bulon Eksenine Dik ve Kuvvet Ekseni İle Aynı Doğrultuda Kuvvetlerin Birlikte Aktarılması

Herhangi bir birleşimde, birleşimi oluşturan bulonlar, aynı anda çekme kuvveti ve makaslama etkisi altında kalıyorsa, aşağıda verilecek olan karşılıklı etkileşim koşulunu sağlamalıdır.

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1{,}4 \times F_{t,Rd}} \leq 1 \qquad (2.7)$$



Şekil 2.8: Bulonlarda makaslama ve çekme kuvvetleri arasında karşılıklı etkileşim (EC 3)

Şekil 2.8' de bulon tam dayanımlı bir şekilde makaslamaya maruz kalırsa, gelebilecek ilave bir çekme kuvvetini aktarılamaz. Fakat tam dayanımlı bir şekilde çekmeye maruz kalırsa, ilaveten %28,6 oranında makaslama etkisini de taşıyabilir.

2.2.1.9 Yüksek Mukavemetli Kayma Dayanımlı Birleşimler

Kayma dayanımlı birleşimler dinamik yüklere maruz yapı elemanlarında kullanılır. Kayma dayanımlı birleşimler, öngörülen P_v öngerme kuvveti ile gerilerek, birleştirilen parçaların özel olarak işlenmiş temas yüzeylerinde bulon eksenine dik sürtünme yardımıyla yük aktarırlar. Kayma dayanımlı birleşimlerde ilave olarak makaslama ve delik cidarında ezilme kuvvetleri de aktarılabilir. Birleşim güvenliği tahkiki; $F_{s,Sd} \leq F_{s,Rd} = \frac{0{,}7 \times \mu \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Ms}} \times n \times k_s$ şeklinde yapılır. (2.8)

μ katsayısı montaj öncesi sürtünme yüzey durumuna göre değişen bir katsayı olup;

μ=0,5 $\rightarrow$ Eğer yüzeye kum püskürtülerek gevşek pas uzaklaştırılmışsa ve yüzeye kum püskürtülerek çinko veya alüminyum bazlı bir kay boya ile boyanmışsa

μ=0,4 $\rightarrow$ Eğer yüzeye kum püskürtülmüş ve alkali çinko silikat boya ile boyanmışsa

μ=0,3 $\rightarrow$ Yüzey tel fırça ile temizlenmiş ise

μ=0,2 $\rightarrow$ Yüzey işlenmemiş ise şeklinde dikkate alınır.

$F_{s,Rd}$ öngermeli yüksek mukavemetli bulonun sürtünme dayanımı hesap değeridir.

n sürtünme oluşturan derz sayısını, k_s delik büyüklüğünün ve formunun etkisini göz önüne alan bir katsayıdır.

2.2.2 EC 3 Yönetmeliğine Göre Kaynaklı Birleşimlerin Tasarlanması

Kaynaklı birleşimlerde en az 4 mm kalınlığında yapı elemanı kullanılmalıdır. Birleşimlerde S 235, S 275 ve S 355 kalitelerinde çelik malzeme kullanılabilir. Kaynak malzemesinin kalitesi kullanılan çeliğin kalitesine uygun olmalıdır.

2.2.2.1 Kaynak Dikişi Çeşitleri

Kaynak dikişi tipleri Şekil 2.9'da verilmiştir. Bunlar küt dikişler, köşe dikişler, birleşim dikişleri, yarık dikişler ve nokta dikişlerdir.

2.2.2.2 Köşe Kaynak Dikişinin Dayanımı

Köşe kaynak dikişlerinde dikiş kalınlığı a ≥ 3 mm olmalıdır. Etkili uzunluk, dikişlerin köşelerde döndürülen kısımlarda dahil tüm boyudur. Kaynak boyu ez az 40 mm yada 6a < l < 150a olmalıdır. 150a kaynak boyundan uzun bindirmeli eklerde köşe dikişinin boyu, β_{Lw} katsayısıyla çarpılarak azaltılır.

$$\beta_{Lw} = \frac{1,2 - 0,2 \times L_j}{150a} \leq 1,0 \qquad (2.9)$$

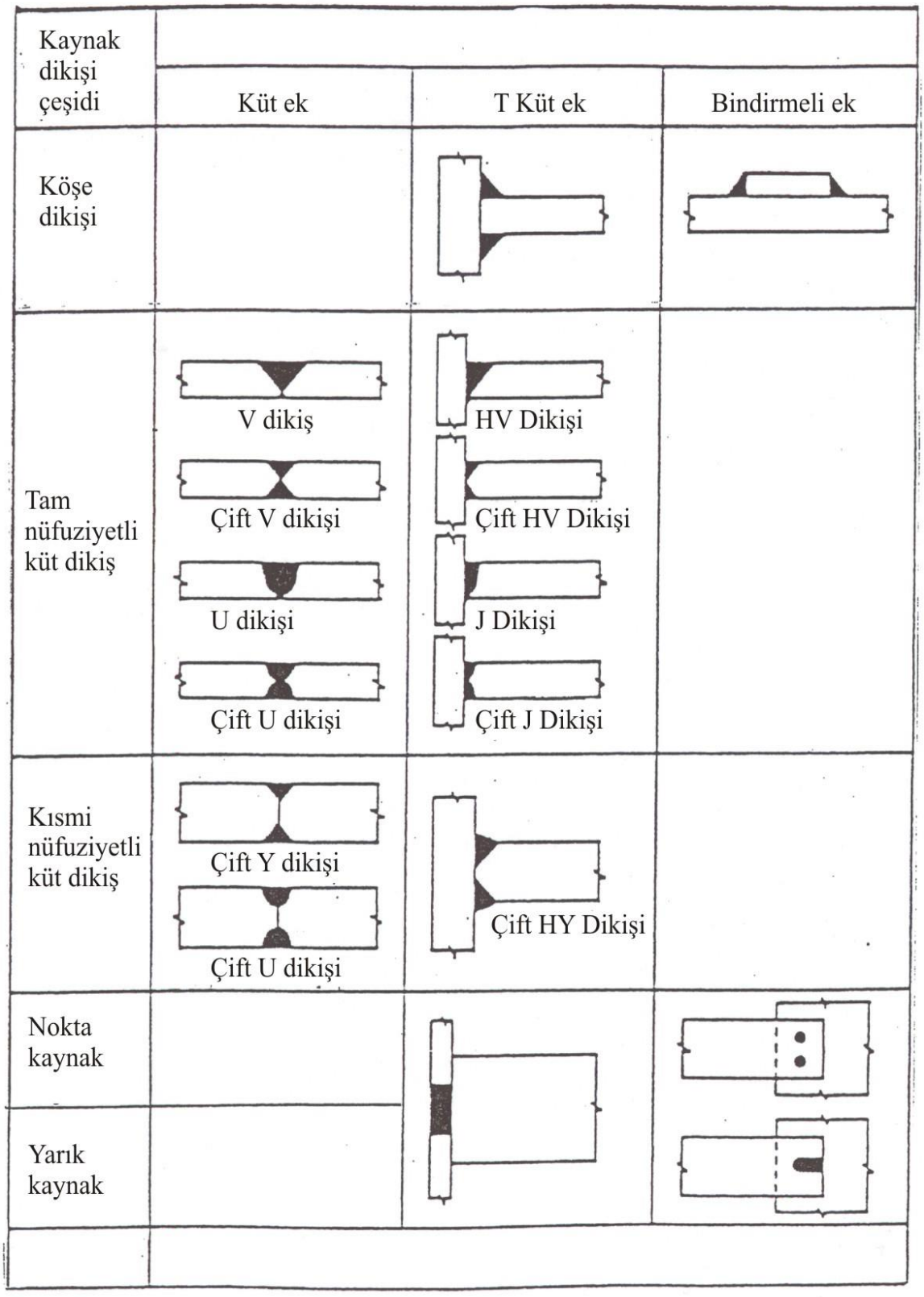
Birim kaynak boyunun dayanımı, bir köşe kaynağının dayanımı her noktasında, birim kaynak boyunda bütün kuvvetlerin bileşkesi, dayanımını aşmadığı takdirde yeterli kabul edilir. Kaynak dikişi doğrultusundan bağımsız olarak, kaynak dayanımının tahkiki; $\sigma_R = \sqrt{\sigma_A{}^2 + (\tau_1{}^2 + \tau_2{}^2)} \leq f_{vw,d}$ şeklinde yapılır. (2.10)

Kaynak gerilmelerinin bileşenlerine ayrılması Şekil 2.10'da aşağıda gösterilmiştir.

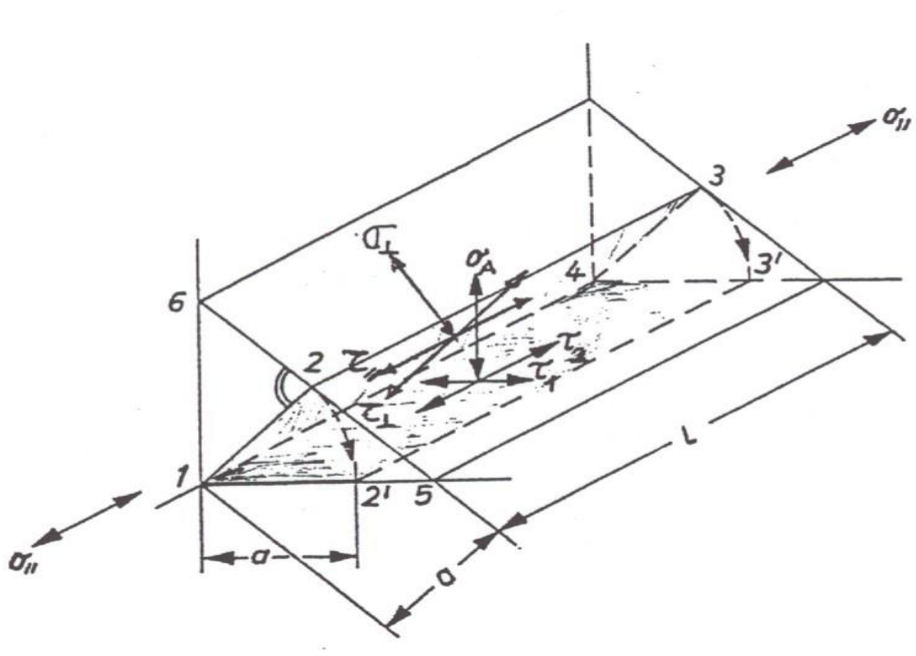
$f_{vw,d}$ kaynak dikişinin tasarım makaslama dayanımı;

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{Mw}} \qquad \text{bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir.} \qquad (2.11)$$

f_u birleşimin en zayıf elemanının nominal çekme dayanımıdır. β_w ise düzelme katsayısı olup değerleri aşağıda Tablo 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.9: Kaynak dikişi çeşitleri (EC 3)



Şekil 2.10: Kaynak gerilmelerinin bileşenlerine ayrılması

Tablo 2.8: β_w düzeltme katsayısı değerleri (EC 3)

Çelik	Çekme dayanımı f_u	Düzeltme katsayısı β_w
S 235 (Fe 360)	360 N/mm^2	0.80
S 275 (Fe 430)	430 N/mm^2	0.85
S 355 (Fe 510)	510 N/mm^2	0.90

2.2.2.3 Küt Kaynak Dikişinin Dayanımı

Küt kaynak dikişlerinde dikiş kalınlığı birleştirdiği elemanların en incesinin kalınlığına eşittir. Küt kaynak dikişlerinde dikiş boyu birbirine kaynaklanan elemanların genişliğine eşittir. Tam küt kaynak dikişinin tasarım dayanımı, birleştirdiği parçalardan zayıf olanının tasarım dayanımına eşittir. Burada kaynak dikişi dayanımının, uygun bir elektrotla çekildiği kabul edilirse, akma ve kopma gerilmesi değerlerinin kaynaklı numunelerle yapılan çekme deneylerinde, en az çeliğin akma ve kopma değerlerinde olduğu kabul edilir. Kısmi küt dikişlerin tasarım dayanımı köşe kaynaklardaki gibi hesaplanır.

2.2.3 TS 648 Yönetmeliğine Göre Bulonlu Birleşimlerin Tasarlanması

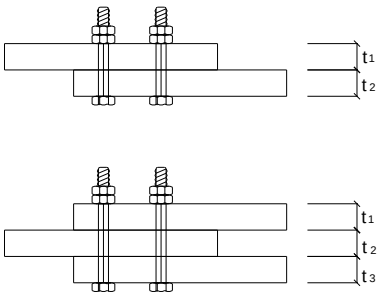
Bulonlu birleşimler normal bulonlar ve yüksek mukavemetli bulonlar olmak üzere ikiye ayrılır.

2.2.3.1 Normal Bulonlar

Normal bulonlar kendi içinde kaba bulonlar ve uygun bulonlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Kaba bulonlarda bulon gövde çapı(d) delik çapından(D) 1 mm kadar azdır. d=D-1 mm dir. Uygun bulonlarda ise gövde çapı ile delik çapı birbirine eşittir. d=D dir. Yüksek yapılarda 20 ila 30 mm'lik çaplarda 0,3 mm ye kadar tolerans kabul edilir. (D-d ≤ 3 mm) Kaba bulonlarda diş açılmış kısmın dışında kalan gövde kısmı işlenmemiştir. Uygun bulonlarda ise bu kısım, deliğe tam uyacak şekilde, tornalanmak suretiyle düzgün olarak işlenmiştir. Normal bulonlar gövdede makaslama ve delik çevresinde ezilme gerilmelerine göre hesaplanan bulonlardır. Bulonlar birleşimde gövde eksenine dik etki alacak şekilde kullanılırlar. Bu sebeple gövdelerinde makaslama gerilmeleri, gövdeleri ile delik cidarları arasında da basınç gerilmeleri oluşur. Gövdeye paralel etki aktarmada çekme gerilmeleri oluşur. Makaslama ve ezilmeye göre yapılacak olan hesaplarda bulonun gövde çapı d dikkate alınırken, çekmeye göre yapılacak olan hesaplarda bulonun en zayıf kesiti olan diş açılmış kısmı olan dişdibi enkesiti dikkate alınır. Birleşim aracının gövdesinde makaslamaya çalışan kesit adedi, onun tek tesirli veya çift tesirli çalışma durumunu ortaya çıkarır. Birleşim aracı, gövde ve delik arasında oluşacak olan basınç gerilmelerinin yayılışı tek yada çift tesirli olma durumuna göre değişiklik göstermektedir. Bir bulonlu birleşimde yapılacak olan tahkikler aşağıda verilmiştir.

1-) Makasla gerilmesi tahkiki:

$$\tau_a = \frac{N_b}{m \dfrac{\pi \times d^2}{4}} \le \tau_{a,em} \qquad (2.12)$$



m=1 tek tesirli birleşimler için,

m=2 çift tesirli birleşimler için

Şekil 2.11: Bulonların tek ve çift tesirli çalışma durumu

2-) Ezilme (Basınç) gerilmesi tahkiki:

$$\sigma_l = \frac{N_b}{d \times t_{min}} \le \sigma_{l,em} \qquad (2.13)$$

$t_{min}=\min(t_1; t_2)$

$t_{min}=\min(t_2; t_1+ t_3)$ olarak tesir durumuna göre belirlenir.

3-) Çekme gerilmesi tahkiki:

$$\sigma_z = \frac{Z_b}{A_d} \leq \sigma_{z,em} \qquad (2.14)$$

A_d bulon çekirdek alanını göstermektedir. Bu değerler Tablo 2.9'de verilmiştir.

Tablo 2.9: Bulonlara ait çekirdek alanları (TS)

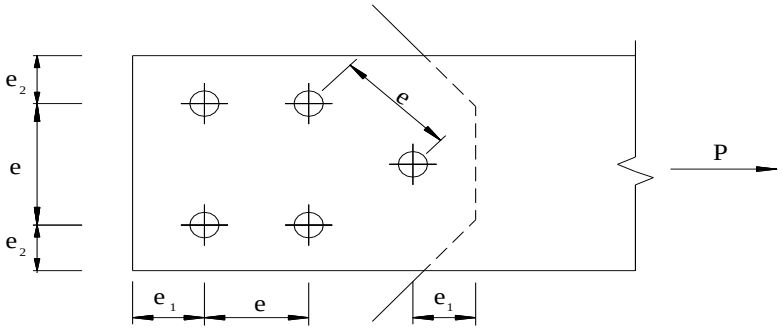
Bulon	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
A_d cm^2	0,74	1,41	2,2	2,76	3,17	4,19	5,09

Bulonlara ait emniyet gerilmeleri Tablo 2.10'da aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.10: Bulonlara ait emniyet gerilmeleri (kg/cm^2) (TS)

Bulon malzemesi	St 37		St 52	
Yükleme hali	(H)	(HZ)	(H)	(HZ)
$\tau_{a,em}$	1400	1600	2100	2400
$\sigma_{l,em}$	2800	3200	4200	4800
$\sigma_{z,em}$	480	540	720	810

Burada; N_b bir bulona etkiyen kesme kuvvetini, Z_b ise bir bulona etkiyen çekme kuvvetini göstermektedir. σ_l bulona etkiyen ezilme gerilmesini, τ_a bulona etkiyen makaslama gerilmesini σ_z ise bulona etkiyen çekme gerilmesini göstermektedir. Kuvvet aktaran bulonlara ait delik aralıkları ile kenar uzaklıklara ait notasyonlar aşağıda Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12: Bulon delik aralıklarının notasyonları

Kuvvet aktaran bulonlara ait delik aralıkları ile kenar uzaklıklar ait uyulması gereken mesafeler aşağıda Tablo 2.11'da verilmiştir. Burada d bulon çapını göstermektedir.

Tablo 2.11: Bulon aralıkları ve kenar uzaklıklar (TS)

	Binalar, Krenler	Köprüler
min e	3d	
min e_1	2d	
min e_2	1,5d	
max e	8d, 15t	6d, 12t
max e_1 max e_2	3d, 6t	

2.2.3.2 Yüksek Mukavemetli Bulonlar

Bu bulonlar yüksek mukavemetli çelikle üretilirler. Makaslama ve delik çevresinde ezilmeye göre hesaplanan yüksek mukavemetli bulonlu birleşimler ve sürtünme kuvvetli birleşimler olmak üzere iki türlüdür.

Delik ve gövde çapları arasındaki fark ≤ 1 mm ise SL birleşimi, ≤ 3 mm ise SLP birleşimi söz konusudur. SL birleşimler kaba bulonlardan yapıldığı için hareketsiz yüklerin hakim olduğu yapı kısımlarında kullanılmalıdır. Hareketli yüklerin hakim olduğu yapı kısımlarında ise SLP birleşimler kullanılmalıdır. SL ve SLP birleşimler normal bulonlar gibi hesaplanır. Tek fark kullanılan çelik malzemesinin farklı olduğu durumlarda emniyet gerilmesi değerlerinin farklı olmasıdır. Bulon eksenine dik doğrultuda olmak üzere, her makaslama alanı için bir bulonun taşıyabileceği kuvvet;

$$N_{SLem}\,;N_{SLPem} = \tau_{sem} \times \frac{\pi \times d^2}{4} \text{ olarak hesaplanır.} \qquad (2.15)$$

Sanal ezilme kontrolü; $\sigma_l = \frac{N_b}{d \times t_{min}} \le \sigma_{l,em}$ şeklinde kontrol edilir. (2.16)

Burada $\sigma_{l,em}$ { 4800 kg/cm^2 ; 5400 kg/cm^2 } değerlerini alır.

SL ve SLP birleşimlerinde τ_{sem} emniyet gerilmeleri Tablo 2.12'de verilmiştir.

Tablo 2.12: Bulonlara ait emniyet gerilmeleri (kg/cm^2)

Birleşim	SL		SLP	
Yükleme hali	H	HZ	H	HZ
τ_{sem}	2400	2700	2800	3200

GV ve GVP birleşimleri hareketli ve hareketsiz yüklerin hakim olduğu yapılarda kullanılabilir. Delik ve gövde çapları arasındaki fark ≤ 1 mm ise GV birleşimi, ≤ 3 mm ise GVP birleşimi söz konusudur. Büyük ve belirli sıkma momentleri uygulanmak suretiyle bulonlara P_v ön germe kuvveti verilir. Bu P_v kuvveti, birleştirilen elemanların birleşim yüzeylerine basınç kuvveti olarak etkiyeceğinden,

bulon eksenine dik doğrultuda, bir elemandan diğerine kuvvet aktarılması temas yüzeylerinden sürtünme kuvveti yoluyla olur. Kuvvet aktarılması GV birleşimlerinde sadece sürtünme kuvveti yoluyla, GVP birleşimlerinde ise aynı zamanda makaslama ve delik çevresinde ezilme yoluyla meydana geldiği kabul edilir. GV birleşimlerinde, bulonun eksenine dik olarak, bir birleşim yüzeyinden bulonun emniyetle aktarabildiği kuvvet; $N_{GVem} = \frac{\mu}{\nu} P_v$ olarak hesaplanır. (2.17)

Burada; μ temas yüzeylerindeki sürtünme katsayısını, ν ise kaymaya karşı emniyet katsayısını göstermektedir. Bu değerler Tablo 2.13 ve Tablo 2.14'de gösterilmiştir.

Tablo 2.13: Kaymaya karşı emniyet katsayıları (ν)

Yükleme durumu	(H)	(HZ)
Genelde statik yük	1,25	1,10
Genelde dinamik yük	1,40	1,25

Tablo 2.14: Temas yüzeylerindeki sürtünme katsayısı (μ)

Montaj öncesi yüzey durumu	St 37	St 52
Kum püskürtülerek hazırlanmış	0,50	0,55
2 kere oksijen aleviyle yakılmış	0,50	0,55
Tel fırça ile temizlenmiş	0,30	0,30

GVP birleşimlerinde, bir sürtünme veya makaslama yüzeyinden, bulon eksenine dik doğrultuda olmak üzere, bir bulonun emniyetle aktarabileceği kuvvet;

$N_{GVPem} = \frac{1}{2} N_{SLPem} + N_{GVem}$ olarak hesaplanır. (2.18)

Öngerme kuvvetinden dolayı birleştirilen elemanların temas yüzeylerinde bir basınç etkisi kalmıştır. Bu nedenle ilave çekme kuvvetleri Z_{em} çekme kuvvetlerini aşmamalıdır. Z_{em} çekme kuvvet değerleri Tablo 2.15'de aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.15: Z_{em} çekme kuvveti değerleri

Binalar		Köprü ve krenlerde	
Yükleme hali			
H	HZ	H	HZ
$0,7P_v$	$0,8P_v$	$0,6P_v$	$0,7P_v$

Yüksek mukavemetli bulonların (kısmi ön gerilmeli ya da ön gerilmesiz), dış yüklerden dolayı çekmeye çalıştırılması durumunda, bulon ekseni doğrultusunda bir bulonun emniyetle taşıyabileceği çekme kuvveti;

$Z_{em} = \sigma_{zem} \times A_s$ şeklinde hesaplanır. (2.19)

Burada σ_{zem} { 3600 kg/cm^2 ; 4100 kg/cm^2 } değerlerini alır.

2.2.4 TS 648 Yönetmeliğine Göre Kaynaklı Birleşimlerin Tasarlanması

Köşe kaynak kalınlığı; yüksek yapılarda 3 mm ≤ a ≤ 0,7× t_{min} olarak, köprülerde ise 3,5 mm ≤ a ≤ 0,7× t_{min} olarak tanımlanmıştır. Kaynak boyu 10a;15a < l < 100a olarak tanımlanmıştır.

Küt kaynak dikişlerinin kalınlığı birleşime giren parçalardan küçük olanının kalınlığına eşittir. a=t_{min}

2.2.4.1 Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Kaynak dikişlerinin alanı a×l olarak ifade edilir. Kaynak dikişlerinin basit zorlanmaya maruz olması durumunda dikişin aktarabildiği N kuvveti, dikişe dik doğrultuda normal kuvvet (çekme, basınç) veya dikiş doğrultusunda kayma kuvveti olabilir. Normal gerilme tahkiki ve makaslama gerilmesi tahkiki ;

$$\sigma_K , \tau_K = \frac{N}{\sum al} \le \sigma_{K_{em}} , \tau_{K_{em}}$$ olarak hesaplanır. (2.20)

Eğilme momenti aktaran ek ve birleşimlerde yapılacak olan normal gerilme tahkiki;

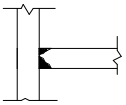
$$\sigma_K = \frac{M}{W_k} \le \sigma_{K_{em}}$$ olarak hesaplanır. (2.21)

Burada W_k kaynak mukavemet momentini ifade etmektedir. Kaynak dikişleri iki eksenli gerilme durumuna maruzsa kıyaslama gerilmesi tahkiki yapılmalıdır.

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_k^{\,2} + \tau_k^{\,2}}$$ (2.22)

Kaynak dikişlerine ait emniyet gerilmeleri aşağıda Tablo 2.14'da verilmiştir. Burada, hadde profilleri eklerinde küt kaynaklı birleşimlerden kaçınılmalıdır. t ≤ 11mm ise ve ışın kontrolü yapılıyorsa Tablo 2.16'deki değerler aksi takdirde ise * işaretli değerler kullanılmalıdır.

Tablo 2.16: Kaynaklı birleşimlerde emniyet gerilmeleri (kg/cm^2) (TS)

Dikiş türü	Zorlama	Kontrol durumu	St 37		St 52	
			H	HZ	H	HZ
Küt	Basınç; Eğilmede basınç	Kontrollü ve Kontrolsüz	1400	1600	2400	2700
	 Çekme; Eğilmede çekme	*Önceki sayfaya bakınız.	1100	1250	1700	1900
			700*	800*	1200*	1350*
		Işın kotrollü	1400	1600	2400	2700
	Çekme; Eğilmede çekme	Kontrolsüz	1100	1250	1700	1900
Köşe	Basınç; Çekme	Kontrollü ve Kontrolsüz	1100	1250	1700	1900
	Eğilmede basınç					
	Eğilmede çekme					
	Kıyaslama gerilmesi					
Genel	Kayma	Kontrollü ve kontrolsüz	1100	1250	1700	1900

2.2.5 Birleşimler Açısından Karşılaştırma

EC 3 yönetmeliğine göre birleşimler sınır durum yöntemlerine göre boyutlandırılırlar. Birleşimlerin tasarım etkileri birleşim vasıtaları için belirtilen kısmi güvenlik katsayıları ile çarpılarak elde edilir.

EC yönetmeliğine göre bulonlu birleşimler zorlanma tiplerine göre farklı şekillerde hesaplanabilirler. Bulonlu birleşimler için makaslama ve delik cidarında ezilme kontrolü yapılır. Bu kontroller sonucunda kuvvetlerin birleşim araçlarına lineer yada plastik olarak dağıldığı tespit edilir. Bulonlu birleşimlerin güvenle aktarabildiği kuvvetin belirli bir kısmi güvenlik katsayısına bölünmesi sonucunda birleşimlerin makaslama, delik cidarında ezilme ve çekme dayanımları hesap edilir.

EC yönetmeliğine göre köşe kaynak dikişlerinin minimum kalınlığı a=3mm olmalıdır. Kuvvet aktarabilen minimum kaynak boyu 40mm veya 6a'dır. 150a kaynak boyundan uzun bindirmeli eklerde kaynak boyunun hesabında katsayılar uygulanmak suretiyle indirgenme yapılır. Birim kaynak boyunda bütün kuvvetlerin bileşkesi, kaynağın dayanımı aşmadığı takdirde yeterli boyutlandırma yapılmış kabul edilir. Küt kaynak dikişinin kalınlığı birleştirdiği elemanların en incesinin kalınlığına

eşittir. Tam küt kaynak dikişinin tasarım dayanımı, birleştirdiği parçalardan zayıf olanının tasarım dayanımına eşittir. Küt kaynak dikişinin dayanımının, akma ve kopma gerilmesi değerlerinin kaynaklı numunelerle yapılan çekme deneylerinde, en az çeliğin akma ve kopma değerlerinde olduğu kabul edilir.

TS 648 yönetmeliğine göre birleşim hesaplarında statik hesap lineer-elastik malzeme esaslarına göre yapılır. TS 648 yönetmeliğine göre birleşimler için emniyet gerilmeleri malzemenin kopma mukavemeti dikkate alınarak hesaplanır. Birleşimler için hesaplanan gerilmelerin birleşimlere ait emniyet gerilmelerinin altında kaldığı gösterilmek suretiyle birleşimlerin yeterince boyutlandırıldığı saptanmış olur.

TS 648 yönetmeliğine göre bulonlu birleşimler için gövde de makaslama gerilmesi, delik çevresinde ezilme(basınç) gerilmesi ve çekme kuvveti sonucunda çekme gerilmeleri tahkiki yapılır. Öngermeli bulon hesabında öngerme kuvvetinden dolayı birleştirilen elemanların temas yüzeylerinde kalan basınç etkisi de göz önüne alınır.

TS 648 yönetmeliğine göre minimum köşe kaynak kalınlığı 3 mm dir. Kaynak boyu 100a'yı geçemez. Kaynaklı birleşimlerde gelen etkiye kaynak alanı karşı koyar. Bu tesirler altında normal gerilme ve makaslama gerilmesi tahkikleri yapılır. Birleşim makasla ve normal gerilme etkisi altındaysa kıyaslama gerilmesi kontrolü yapılır. Küt kaynaklı birleşimlerde çekme emniyet gerilmesi değerleri basınç emniyet gerilmesi değerlerine oranla oldukça düşüktür.

EC 3 yönetmeliği birleşimler açısından daha gerçekçi analiz imkanları sunmaktadır. Elemanların plastik dayanımlarından da faydalandığı için EC 3 yönetmeliği daha işlevsel ve ekonomik birleşim imkanları vermektedir. Küt kaynaklı birleşimlerde EC 3 yönetmeliği tam küt kaynak dayanımını en az malzeme dayanımı kadar alırken, TS 648 yönetmeliği küt kaynaklı birleşimlerden mümkün mertebe kaçınılmasını tavsiye etmektedir. EC 3 yönetmeliğine göre hesaplanan bulon gerilme alan değerleri A_s (Bkz. Tablo 2.7) ile TS 648 yönetmeliğine göre hesaplanan çekirdek alanlar A_d (Bkz. Tablo 2.10) birbirinden farklıdır. EC 3 yönetmeliğini birçok levhanın birleştiği bulonlu birleşimlerde her bir levha için ayrı ayrı hesap yaparken, TS 648 yönetmeliği bu tarz birleşimlerde tesir faktörünü göz önüne almaktadır. EC 3 yönetmeliğinin öngördüğü delik toleransları ve delikler arası mesafeler (Bkz. Şekil 2.6 ve Şekil 2.7) ile TS 648 yönetmeliğinin öngördüğü delik toleransları ve delikler arası mesafeler (Bkz. Şekil 2.12 ve Tablo 2.11) birbirinden farklıdır.

Tablo 2.17: Birleşimler açısından karşılaştırma

Birleşimler	
EC 3	**TS 648**
• Birleşimler taşıma yükü sınır durumuna göre boyutlandırılır. • Birleşim elemanları, analiz sonucunda bulunan iç kuvvetleri karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır.	• Birleşim hesapları malzemenin lineer elastik karakter gösterdiği kabulüne göre yapılır. • Birleşimler için hesaplanan gerilmeler bileşimlere ait emniyet gerilmelerinin altında kalmalıdır.
Bulonlu Birleşimler	
EC 3	**TS 648**
• Bulonlu birleşimlerin teşkil şekilleri Tablo 2.5'ten, birleşim tipleri ise Tablo 2.6'dan alınacaktır. • Bulonlu birleşimler zorlanma tiplerine ve birleşim çeşitlerine göre farklı gruplara ayrılmaktadır. • Birleşimlere kuvvetler elastik veya plastik olarak dağıtılabilmektedir. • Bulon ve delik mesafeleri TS 648'le farklılık göstermektedir (Bkz. Bölüm 2.2.1.1.3). • Birleşimlere ait toleranslar uygulamayı daha kolaylaştırıcı mertebelerdedir (Bkz. Tablo 2.5). Bu toleranslarda yönetmeliğe uygun olarak global analizlerde ele alınmaktadır. • Çekme kuvveti aktaran gerilme alanları As, TS 648'le farklılık göstermektedir.	• Bulonlu birleşimler makaslama, ezilme, eksenel çekme ve kayma kuvvetine göre hesaplanır. • Bulonlu birleşimler EC 3'teki gibi SL, SLP, GV, GVP şeklinde teşkil edilirler. Ancak uygulanan delik toleransları EC 3'e göre daha azdır. • Birleşimler elastik sınırlar içinde kalacak şekilde hesaplanır.. Birleşim elemanlarına gelen etkilerin birleşimlere elastik dağıldığı kabul edilir. • Bulon ve delik mesafeleri EC 3'e göre farklılık göstermektedir (Bkz. Şekil 2.12, Tablo 2.11). • Çekme gerilmesi tahkikinde kullanılacak olan Ad bulon çekirdek alanı EC 3 ile farklılık göstermektedir (Bkz. Tablo 2.9). • Öngermeli yüksek mukavemetli bulonların hesabında öngerme kuvvetinden dolayı temas yüzeyinde kalan basınç etkisi dikkate alınmaktadır.
Kaynaklı Birleşimler	
EC 3	**TS 648**
• Kaynak dikişlerinin dayanımını limit duruma göre hesaplamaktadır. • Tam küt kaynak dayanımını en az malzeme dayanımı kadar aldığı için, herhangi bir kontrol yapılmamaktadır. • Kısmi küt kaynak ve köşe kaynak dikişlerinde makaslama tasarım dayanımına göre tek bir kontrol yapılmaktadır (Bkz. Denklem 2.11). • Kaynak dikişlerinin kuvvet aktarabilmesi için gereken minimum kaynak uzunluğu ve etkiyen gerilmelerin kaynak dikişlerine uniform dağılması için gereken maksimum kaynak uzunluğu değerleri TS 648'den farklıdır. • Maksimum kaynak uzunluğunun aşılması durumunda kaynak uzunluğu katsayılar yardımıyla indirgenir.	• Kaynak dikişlerinin hesabı lineer-elastik malzeme kabulüne göre yapılır. • Tam küt kaynak dikişlerinin çekme emniyet gerilmeleri, basınç emniyet gerilmelerine göre daha düşüktür (Bkz. Tablo 2.16). • Kaynak dikişlerinde tek çeşit gerilme durumunda yönetmelikte verilen emniyet gerilmelerine göre kontrol yapılmalıdır. İki farklı çeşit gerilme etkimesi durumunda ayrıca kıyaslama gerilmesi kontrolü yapılması gerekir. • Maksimum ve minimum kaynak uzunlukları EC 3'e göre farklılık göstermektedir.

2.3 Çekme Çubukları

Eksenleri doğrultusunda yalnızca çekme türünde normal kuvvet aktaran çubuklardır. Çelik yapılarda kafes kirişlerde, stabilite elemanlarında, gergi çubuklarında ve ankrajlar da çekme kuvveti aktaran elemanlar olarak kullanılırlar. Çubuk kesitleri tek yada çok parçalı olarak düzenlenebilir. Kesitlerin en az bir simetri ekseninin olmasına dikkat edilmelidir.

Çekme çubukları hesabında en etkin parametrelerden birisi birleşimde kullanılan birleşim aracının türüdür. Hesaplarda bulon delikleri, profillerin yarılması ve oyulması sebebiyle oluşan zayıflamış en elverişsiz net enkesit dikkate alınır.

2.3.1 EC 3 Yönetmeliğine Göre Çekme Çubuklarının Tasarlanması

Statik hesap yapılarak, kısmi güvenlik katsayıları uygulanmış dış etkilerden meydana gelen en elverişsiz çekme kuvvetinin değeri elde edilir. Çekme kuvvetinin boyutlandırma da kullanılacak olan bu en elverişsiz değeri aşağıda Tablo 2.18'da verilen kontrolleri sağlamalıdır.

Tablo 2.18: Çekme Kontrolü (EC 3)

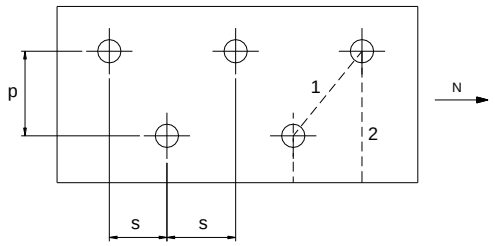
Çekme kontrolü $N_{Sd} \leq N_{t,Rd}$	
En kesit dayanımının kontrolü	Deliklerden geçen kritik en kesite göre net en kesit alanının sınır dayanımının kontrolü
$N_{Sd} \leq N_{pl,Rd} = Af_y / \gamma_{Mo}$	$N_{Sd} \leq N_{u,Rd} = 0.9\ A_{net}\ f_u / \gamma_{M2}$
N_{Sd} = Dış etkilerden meydana gelen çekme kuvveti tasarım değeri $N_{pl.Rd}$ = Brüt en kesit plastik tasarım dayanımı $N_{u,Rd}$ = Net en kesitin sınır tasarım dayanımı A_{net}=Net en kesit alanı Güvenlik Katsayıları: γ_{Mo}= 1.10, γ_{M2}=1.25	

Bir enkesitin en elverişsiz net alanı, brüt alandan bağlantı elemanlarının tüm delikleri veya diğer enkesit boşlukları çıkartılarak hesaplanır. Bir bağlantı elemanının delik alanı delik ekseni düzleminde deliğin brüt alanıdır. Bağlantı elemanlarının şaşırtmalı olmayan deliklerinde, toplam delik alanı, eleman eksenine dik enkesitte, kritik kesitte tüm delik enkesitleri alanlarının toplamıdır.

Bağlantı elemanları şaşırtmalı düzenlenmiş ise, çıkartılacak toplam delik alanı aşağıdaki değerlerden büyük olanı olur.

- Yukarıda bahsi geçen kritik kesitte hesaplanan toplam delik alanı

- Enkesitte bir kritik diyagonal veya zikzak doğrusu boyunca, tüm delik enkesit alanlarının toplamı eksi her bir diyagonal doğrultu sayısı adedince $\frac{s^2 t}{4p}$ olarak hesaplanır. Burada; s çekme çubuğu ekseni doğrultusunda şaşırtmalı delik eksenleri arasındaki mesafeyi, p ise çekme çubuğu eksenine dik doğrultuda şaşırtmalı delik eksenleri arasındaki mesafeyi göstermektedir. Bu durum aşağıda şekil 2.13'de gösterilmiştir.



Şekil 2.13: Şaşırtmalı delikler için p,s mesafeleri gösterimi

2.3.2 TS 648 Yönetmeliğine Göre Çekme Çubuklarının Tasarlanması

Boyutlandırma ve gerilme tahkikleri için her zaman en büyük enkesitleri gerektiren yükleme hali göz önünde tutulmalıdır.

Çekme çubuklarının gerilme hesabında çubuğun faydalı enkesit alanı olan F_n kullanılır. Faydalı enkesit alanı ve elverişsiz faydalı genişlik (yırtılma çizgisi) üzerine düşen deliklerin enkesit alanının dolu enkesit alanından çıkarılmasıyla elde edilir. Eğer delikler bir diyagonal üzerinde veya şaşırtmalı olarak yerleştirilmişlerse faydalı genişlik, toplam genişlikten yırtılma çizgisi üzerindeki deliklerin çaplarının toplamı çıkarılarak elde edilir. Bu durum ; $F_n = F - \Delta F$ olarak ifade edilir. (2.23)

Burada, ΔF enkesitte delik, kesim ve benzeri nedenlerle oluşan zayıflama miktarı olarak tanımlanır. Faydalı alan elde edilen faydalı genişlikle ortalama kalınlığın çarpılmasıyla elde edilir. Delikler göz önüne alınarak elde olunan faydalı genişlik hiçbir durumda toplam genişliğin %85'ini geçemez. Faydalı alan ve genişlik hesaplarında cıvata delikleri çapları deliklerin anılan çaplarından 1 mm artırılarak kullanılmalıdır. Köşebentlerde brüt genişlik, kol uzunluklarının toplamından kalınlık çıkarılarak elde edilir. Karşılıklı kollardaki delikler arasında enlemesine mesafenin hesabında dıştan dışa mesafeden kalınlık çıkarılır.

2.3.2.1 Gerilme Kontrolü

Birleşim elemanı bulon ise ;

$$\sigma = \frac{N}{F_n} \leq \sigma_{çem} \tag{2.24}$$

Çekme emniyet gerilmesi ($\sigma_{çem}$) faydalı enkesitte en fazla $\sigma_{çem} \leq 0.6 \times \sigma_a$ olmalıdır.

Ayrıca bu değer çekme dayanımının (σ_d) yarısını aşmamalıdır. $\sigma_{çem} \leq 0.5 \times \sigma_d$

Yük durumuna göre bazen çekmeye ve bazen de basınca çalışan çubukları basınca göre de boyutlandırmak gerekmektedir. Bu gibi durumlarda narinlik $\lambda \leq 250$ olmalıdır. Eksantrik zorlamaya maruz çekme çubukları, genel olarak boylama kuvvet ve eğilme için hesaplanır.

2.3.3 Çekme Çubukları Açısından Karşılaştırma

EC 3 yönetmeliğine göre çekme çubukları hesabında kısmi güvenlik katsayıları uygulanmış dış etkilerden meydana gelen en elverişsiz çekme kuvvetinin tasarım değeri olan N_{Sd} elde edilir. TS 648 yönetmeliğinde ise boyutlandırma ve gerilme tahkikleri için her zaman en büyük enkesitleri gerektirecek olan yüklemeler ve kombinasyonlar göz önüne alınır. Yapılan tahkik ve kontrollere ait farklılıklar Tablo 2.19'da verilmiştir

Tablo 2.19: Çekme çubukları açısından karşılaştırma

Çekme Çubukları	
EC 3	**TS 648**
• Çekme çubuklarının dayanımı plastik dayanıma göre hesaplamaktadır. • Çekme çubuklarının hesabında iki tahkik yapılmaktadır. Birinci tahkik enkesitin plastikleştiğini yani aktığını kabul ederek brüt enkesit dayanımı kontrolü yapar. İkinci tahkik ise deliklerden dolayı zayıflamış net enkesitte gevrek kopma dayanımı kontrolü yapar (Bkz. Tablo 2.18). • Net enkesit alanı, enkesitte aynı çizgi üzerindeki toplam zayıflama miktarının, enkesit alanından çıkarılması ile hesaplanır (Bkz. Şekil 2.13). • Simetrik veya simetrik olmayan birleşimlerde eksantrisite olması durumunda çekme dayanımı hesabı efektif alana göre yapılır.	• Çelik malzemenin tamamen lineer elastik karakter gösterdiği kabul edilmektedir. • Çekme çubuklarında net enkesit alanına göre tek bir gerilme kontrolü yapılır. • Net enkesit alanı, belirlenen yırtılma çizgisi üzerindeki deliklerin çaplarının toplamının, toplam genişlikten çıkarılması ile elde edilir. • Gerilme hesaplarında her zaman çubuğun faydalı enkesit alanı kullanılır.

2.4 Basınç Çubukları

Eksenel doğrultuda basınç kuvveti aktaran elemanlardır. Çelik yapılarda kolonlarda, kafes kirişlerde ve stabilite elemanlarında basınç elemanları olarak kullanılır. Çekme çubuklarında malzeme dayanımı aşıldığında kopma meydana gelirken, basınç çubuklarında çok daha düşük gerilmelerde çubuk elemanın burkulması sonucunda çubuk stabilitesini kaybederek taşıma dayanımına ulaşır. Basınç çubuklarında dayanımın saptanmasında burkulma olayı esas olduğundan dolayı, bir stabilite problemi bahis konusudur. Burkulma yükünün hesabında basınç çubuğu için geometrik sınır koşullarına (mesnetlenme şekillerine) uygun keyfi fakat mantıklı bir deformasyon şekli kabul edilir. Basınç çubuğunun şekil değiştirmiş hali için denge denklemleri ($\Sigma H=0$, $\Sigma V=0$ ve $\Sigma M=0$) yazılarak homojen bir denklem elde edilir. Bu denklemin çözümü P_{ki} ideal kritik eğilme burkulması yükünü verir. İki ucundan eksenel merkezi basınç kuvveti etkisinde , malzemesi Hooke kanununa uyan prizmatik bir çubuk için ideal eğilme burkulması yükü;

a) Deformasyonların küçük olması
b) Malzemenin elastik, izotrop olması
c) İç gerilmelerin (artık) mevcut olmaması
d) Çubuk ekseninin ideal doğru olması
e) Kuvvetin ideal olarak eksenel etkimesi koşulları varsayımlarına dayanarak;

s burkulma boyu ise $P_{ki} = P_E = \dfrac{\pi^2 \times E \times I}{s^2}$ olarak elde edilir. (2.25)

2.4.1 EC 3 Yönetmeliğine Göre Basınç Çubuklarının Tasarlanması

Taşıma güvenliği kontrolünde, kullanma yüklerinden meydana gelen kesit etkileri yük kısmi güvenlik katsayısı γ_F ile çarpılır. Enkesit dayanımları ise malzeme kısmi güvenlik katsayısı γ_M ile bölünür. Doğrusal çubukların eksenel basınç kuvvetleri altında burkulma güvenliğinin kontrolü;

$N_{Sd} = \gamma_F \times N_S \le N_{b,Rd} = \chi \times \beta_A \times A \dfrac{f_y}{\gamma_M}$ şeklinde yapılır. (2.26)

Burada; $N_{b,Rd}$ enkesitin burkulma dayanımını, β_A ise kesit indirgeme katsayısını göstermektedir. β_A=1 (1.,2. ve 3. sınıf enkesitlerde), $\beta_A = \dfrac{A_{eff}}{A}$ (4.sınıf enkesitlerde) olarak alınır. Malzeme kısmi güvenlik katsayısı ise γ_M=1.10 olarak alınır.

2.4.1.1 Tek Parçalı Basınç Çubukları

Bu gruba giren basınç çubukları, tek profillerden veya bu profillerin çubuk boyunca sürekli olarak lama yada profillerle güçlendirilmiş birleşik kesitleri olarak teşkil edilirler. Burkulma güvenliğinin kontrolü şu şekilde yapılır.

a) Çubuğun asal eksenlerine dik doğrultularda burkulma boyu tayin edilir. Enkesit karakteristiklerine göre kullanılacak olan burkulma eğrisi tayin edilir.

b) Asal eksenlere dik doğrultuda;

1) narinliğin tayini $\lambda = l / i$ (2.27)

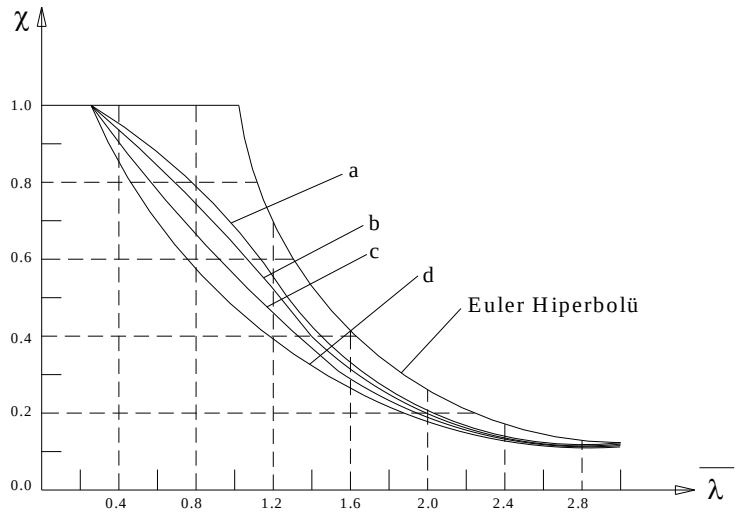
2) kıyaslama narinliğinin tayini $\lambda_1 = \pi\sqrt{E / f_y}$ (2.28)

3) $\bar{\lambda} = \dfrac{\lambda}{\lambda_1}\sqrt{\beta_A} = \sqrt{N_{pl}/N_{cr}}$ tayini (2.29)

4) indirgeme katsayısı tayini $\chi = \dfrac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}} \le 1$ (2.30)

$\varphi = \dfrac{1}{2}\left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2\right]$ bağlantıları yardımıyla hesaplanır. (2.31)

Burada α kusur katsayısıdır. Burkulma gerilmesi eğrilerine bağlı olarak (bkz. Şekil 2.14) tayin edilir. χ indirgenme değerleri, burkulma gerilmesi eğrilerinden yada tablolardan alınır. Kusur katsayıları aşağıda Tablo 2.20' de verilmiştir.



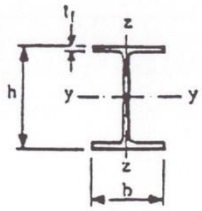
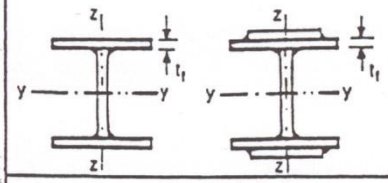
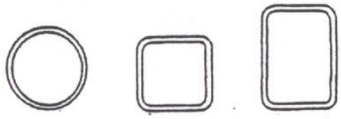
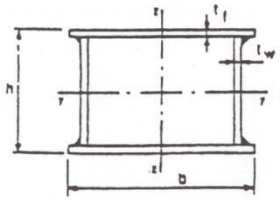
Şekil 2.14: Enkesitlerin burkulma gerilmesi eğrileri (EC 3)
-Eğilmeli burkulmada a, b, c, d eğrileri kullanılır.

Tablo 2.20: α kusur katsayısı değerleri (EC 3)

Burkulma gerilmesi eğrisi	a	b	c	d
α	0.21	0.34	0.49	0.76

c) Burkulma güvenliği kontrolü $N_{Sd} \le N_{b,Rd}$ şeklinde tamamlanır. (2.26)

Aşağıda Şekil 2.15'de enkesitlerin burkulma gerilmesi eğrileri gösterilmiştir.

Enkesit	Sınırlar	Eksene dik doğrultuda burkulma	Burkulma gerilmesi eğrisi
Hadde I kesitler 	h/b > 1,2: $t_f \leq 40mm$	y - y z - z	a b
	$40mm < t_f \leq 100mm$	y - y z - z	b c
	h/b ≤ 1,2: $t_f \leq 100mm$	y - y z - z	b c
	$t_f > 100mm$	y - y z - z	d d
Kaynaklı I kesitler 	$t_f \leq 40mm$	y - y z - z	b c
	$t_f > 40mm$	y - y z - z	c d
Boru ve Kutu kesitler 	Sıcak haddelenmiş	Herhangi	a
	Soğukta şekil verilmiş; fyb*) kullanılıyor.	Herhangi	b
	Soğukta şekil verilmiş; fya*) kullanılıyor.	Herhangi	c
	Genel olarak (aşağıdaki durumlar hariç)	Herhangi	b
	Kalın kaynak dikişleri ve $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	y - y z - z	c c
U-, L-, T- ve dolu kesitler 		Herhangi	c
*) Bkz. Standart 5.5.1.4 (4)			

2.15: Enkesitlerin burkulma gerilmesi eğrileri (EC 3)

2.4.1.2 Çok Parçalı Basınç Çubukları

İki yada daha fazla profilin birbirlerine, düzgün aralıkta ve beraber çalışacak şekilde özel bir bağlantı ile bağlanmasıyla teşkil edilirler.

2.4.1.3 Çok Parçalı Örgü Çubuklu Basınç Çubukları

İki eş kesitte paralel başlık profili ve düzgün üçgen örgüden oluşan çok parçalı basınç çubuklarıdır.

a) Burkulma güvenliğinin kontrolü tek parçalı basınç çubuklarındaki gibi yapılır. Fakat malzemesiz eksene dik burkulmada I_{eff} etkili atalet momenti hesaplanmalıdır.

$I_{eff} = 0{,}5 \times h_o^2 \times A_f$ olarak hesaplanır. (2.32)

Burada; A_f bir başlık çubuğunun enkesit alanını, h_o ise başlık çubuklarının ağırlık merkezlerinin arasındaki mesafeyi göstermektedir.

b) Başlık çubuklarında burkulma kontrolü hesabında çubuk ortasında $N_{f,Sd}$ başlık çubuk kuvveti, $N_{f,Sd} = 0{,}5N_{Sd} + M_s / h_o$ olarak hesaplanır. (2.33)

M_s çubuk ortasında oluşan eğrilik , $M_s = \dfrac{N_{Sd} \times e_o}{1 - \dfrac{N_{Sd}}{N_{cr}} - \dfrac{N_{Sd}}{S_v}}$ olarak hesaplanır. (2.34)

$e_o = l / 500$ dür. $N_{cr} = \pi^2 \times E \times I_{eff} / l^2$ olarak hesaplanır. (2.35)

S_v örgü çubuğunun kayma rijitliğidir. Şekil 2.16'da göre hesaplanacak.

c) Örgü çubukları çubuk uçlarındaki V_s kesme kuvvetine göre hesaplanır.

$V_s = \pi \times M_s / l$ (2.36)

Bir diyagonalde N_d çubuk kuvveti; $N_d = \pm \dfrac{V_s \times d}{n \times h_o}$ olarak hesaplanır. (2.37)

Burada d diyagonal çubuk boyunu, n paralel örgü düzlemi sayısını, h_o ise başlık çubuklarının ağırlık merkezlerinin arasındaki mesafeyi göstermektedir.

2.4.1.4 Çok Parçalı Bağ Levhalı Basınç Çubukları

Basınç kuvvetine maruz iki eş kesitte paralel başlık çubuğu ve bunlara düzgün aralıklarla rijit olarak bağlanan bağ levhalarından oluşan çerçeve çubuklarlardır.

a) Burkulma güvenliğinin kontrolü tek parçalı basınç çubuklarındaki gibi yapılır. Fakat malzemesiz eksene dik burkulmada I_{eff} etkili atalet momenti hesaplanmalıdır.

$I_{eff} = 0{,}5 \times h_o^2 \times A_f + 2\mu I_f$ olarak hesaplanır. (2.38)

Burada A_f bir başlık enkesitinin alanıdır.

$i_o = \sqrt{(0{,}5 \times I_1) / A_f}$ olmak üzere $I_1=I_{eff}$ (μ=1) dır. (2.39)

$\lambda = l/i_o$ olarak hesaplanır. Burada; $\lambda \leq 75$ için μ=1 olarak

$75 < \lambda < 150$ için $\mu=2-\lambda/75$ olarak

$\lambda \geq 150$ için μ=0 olarak alınır.

b) Başlık çubuklarında burkulma kontrolü hesabı;

$$N_{f,Sd} = 0{,}5\left(N_{Sd} + \frac{M_s \times h_o \times A_f}{I_{eff}} \right)$$ olarak hesaplanır. (2.40)

S_v örgü çubuğunun kayma rijitliğidir. Farklı koşullara bağlı olarak değişik formüllerle elde edilir.

c) Örgü çubukları kontrolünde

Kesme kuvveti $V_s = \pi \times M_s / l$ olarak hesaplanır. (2.36)

Başlık çubuklarında $\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rd}} + \frac{k \times M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$ kontrolü yapılır. (2.41)

Bu kontrolde başlık çubuklarında $0{,}5N_{Sd}$ kuvveti etki ettirilir. $k \leq 1{,}5$ dir. $N_{b,Rd}$ başlık çubuğunun burkulma dayanımı, M_{Rd} ise başlık enkesitinin moment dayanımıdır.

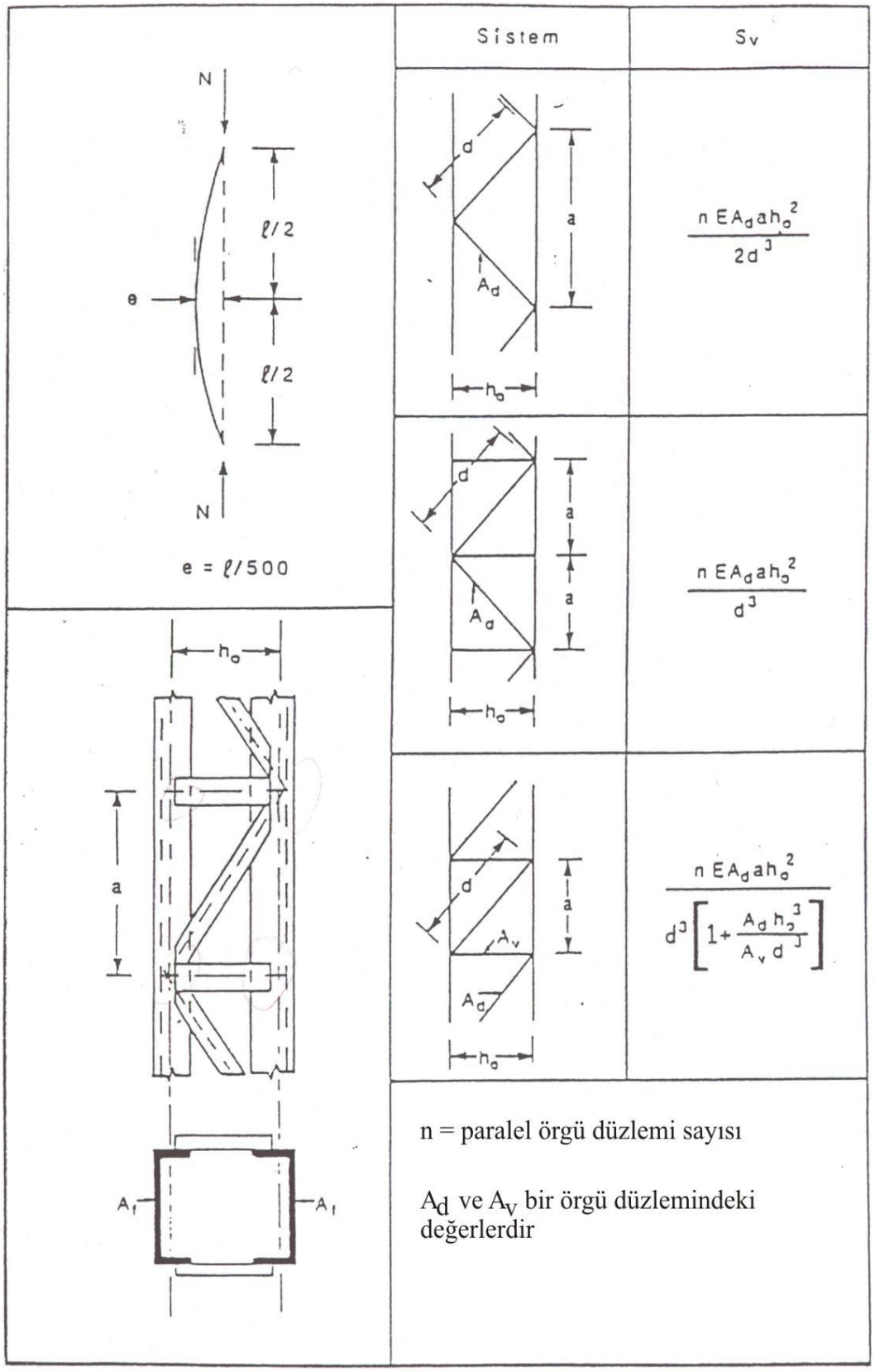
2.4.1.5 Çok Parçalı Küçük Aralıklı Basınç Çubukları

Çubukları birbirine küçük aralıkta düzenlenmiş çok parçalı basınç çubuklarıdır. Bulon veya kaynaklı birleşimlerinin $15i_{min}$'den küçük aralıkta yapılması halinde çerçeve çubukları olarak hesaplanmasına gerek yoktur. Burada i_{min} tek bir parçanın en küçük atalet yarıçapıdır. Bu gruba giren çubuklar tek parçalı basınç çubukları gibi hesaplanırlar. V_s kesme kuvveti yapı elemanına etki eden eksenel kuvvetin %2.5'ine eşit alınabilir ve 2.36 bağıntısına göre hesaplanabilir.

2.4.1.6 Köşelemesine Korniyerlerle Oluşturulan Çok Parçalı Basınç Çubukları

Köşelemesine konmuş eşit kollu korniyerlerden ve çift bağ levhalarından oluşan çok parçalı basınç çubukları, eğer her iki düzlemde de burkulma boyları eşit ve bağlantıların aralığı $70i_{min}$'dan küçük ise, tek parçalı basınç çubukları gibi x-x eksenine dik burkulmaya göre kontrol edilebilir. Farklı kollu korniyerlerde

$i_x = \frac{i_0}{1{,}15}$ kabul edilir. i_o çok parçalı çubuğun en küçük atalet yarıçapıdır. (2.42)



2.16: İki parçalı örgü çubuklu basınç çubukları ve S_v'nin tayini (EC 3)

2.4.2 TS 648 Yönetmeliğine Göre Basınç Çubuklarının Tasarlanması

Basınç çubuklarının emniyet yüklerinin saptanmasında, burkulma olayı esas olduğundan, bir stabilite problemi söz konusudur. Basınç çubuklarının hesabı ω metodu ile yapılır. Merkezi basınç kuvveti etkisinde, malzemesi Hooke kanununa uyan, iki ucu mafsallı, prizmatik bir çubuk için ideal eğilme burkulması yükü

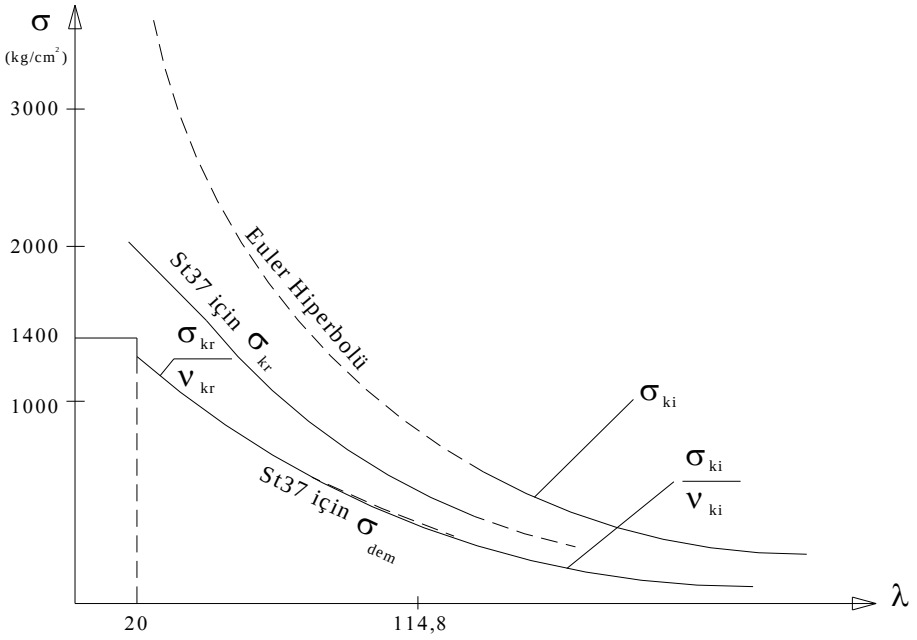
$P_{ki} = P_E = \frac{\pi^2 \times E \times I}{s^2}$ formülü ile ifade edilir. (2.25)

Euler burkulma gerilmesi $\sigma_{Ki} = \frac{P_{Ki}}{F} = \frac{\pi^2 \times E}{\lambda^2}$ olarak tarif edilmiştir. (2.43)

λ çubuk narinliği ile σ_{Ki} ideal burkulma gerilmesi arasındaki bağıntıyı gösteren 2.43 bağıntısının, kartezyen eksen takımındaki eğrisi Euler hiperbolünü verir. Çelik malzeme, $\sigma \le \sigma_p$ (orantılı sınır gerilmesi) olduğu takdirde Hooke kanununa uyan bir malzemedir. σ_p=0.8×σ_F (akma sınır gerilmesi) kabul edilir. Euler formülü $\sigma_{Ki} \le \sigma_p$ olması durumunda geçerlidir. Eğer $\sigma_{Ki} = \sigma_p$ ise, narinlik değeri;

$\lambda_p = \pi\sqrt{E / \sigma_p} \cong 100$ olur. (2.44)

$\lambda > \lambda_p$ olduğu durumlarda Euler formülü geçerlidir. $\lambda < \lambda_p$ olduğu durumlarda çelik malzeme elasto-plastik davranış gösterdiği için Euler formülü geçerli değildir. Bu bölgede taşıma yüküne göre hesap yapılır. Bunun için σ_{Kr} taşıma gerilmesi değerleri hesaplanmıştır. Taşıma gerilmeleri eğrisi Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2.17: σ_{Kr} ,Taşıma gerilmeleri eğrisi (TS)

Basınç çubuğunun emniyetli durumda olması demek, $\sigma = P / F$ ortalama gerilmesinin σ_{Ki} veya σ_{Kr} gerilmelerinin belirli bir emniyet kadar altında kalması demektir. σ_{Kr} değerleri saptanırken gerçeğe yakın kabuller yapılırken, σ_{Ki} değerleri ideal kabullere göre bulunmuştur. Bu sebeple bu gerilmelere farklı emniyet sayıları uygulanacaktır. Burada σ_{dem} burkulma emniyet gerilmesi değeri;

$$\sigma_{dem} = \min\left(\frac{\sigma_{Kr}}{\nu_{Kr}}, \frac{\sigma_{Ki}}{\nu_{Ki}}\right) \text{ olarak tarif edilmiştir.} \qquad (2.45)$$

ν_{Ki}=2,5 (ideal burkulma emniyet sayısı), ν_{Kr}= 1,5 (taşıma yükü emniyet sayısı) olarak tarif edilmiştir. Şekil 2.6'da burkulma emniyet gerilmesini oluşturan eğriler gösterilmiştir. Eğrilerde yatay eksen narinliği düşey eksen ise burkulma emniyet gerilmesi değerlerini göstermektedir. Malzemenin St 37 olması durumunda bu iki eğri λ=114,8 olan bir noktada, malzemenin St 52 olması durumunda bu iki eğri λ=89 olan bir noktada kesişmektedir. Basınç çubuğunun emniyetli durumda bulunması demek; $\sigma = P/F \le \sigma_{dem}$ tahkikinin sağlanması demektir. (2.46)

σ_{dem} burkulma emniyet gerilmeleri λ narinliğine göre değişkendir. Emniyet gerilmelerini sürekli değişken almak yerine ω burkulma sayıları tarif edilmiştir. Bu sebeple burkulma etkisindeki çubuklardaki gerilme tahkiki;

$$\omega = \frac{\sigma_{em}}{\sigma_{dem}} \rightarrow \sigma = \omega \frac{P}{F} \le \sigma_{em} \text{ bağıntısı yardımıyla yapılır.} \qquad (2.47)$$

2.4.2.1 Tek Parçalı Basınç Çubukları

Merkezi basınca çalışan çubukların ω metodu ile tahkikinde, enkesitlerin asal eksenlerine dik doğrultularda burkulma durumları göz önüne alınır. Öncelikle çubuğun sistem içindeki durumuna ve uç şartlarına göre burkulma boyları (s_{kx} ve s_{ky}) saptanır. Sonra her iki doğrultudaki burkulma da narinlik değerleri(λ_x ve λ_y) tespit edilir. Büyük olan narinliğe karşı gelen ω değeri ilgili tablolardan alınarak 2.47 formülü yardımıyla gerilme tahkiki yapılır.

$$\left.\begin{aligned}\lambda_x &= \frac{s_{kx}}{i_x}\\ \lambda_y &= \frac{s_{ky}}{i_y}\end{aligned}\right\} \rightarrow \lambda_{max} \rightarrow \omega \text{ elde edilir. 2.47 bağıntısına göre tahkik yapılır.} \qquad (2.48)$$

2.4.2.2 Çok Parçalı Basınç Çubukları

Enkesiti oluşturan birbirinden ayrık parçaları, beraber çalışmalarını sağlamak amacıyla özel bağlantı elemanlarıyla birbirlerine bağlanmak suretiyle çok parçalı basınç çubukları teşkil edilir. Çok parçalı basınç çubuklarının enkesitleri farklı karakterde asal eksenler gösterirler. x-x ekseni çubuğu teşkil eden profil enkesitlerinin tamamını kestiği için, profiller arasında bir kayma kuvveti oluşmaz. y-y ekseni malzemesiz eksen olduğu için, bu eksen etrafında eğilme durumunda profiller arasında kayma kuvveti oluşur. Bu sebeple bu düzlemde burkulma hesaplarında ideal narinlik dikkate alınır. Çok parçalı basınç çubuklarının malzemesiz eksene dik burkulma tahkiklerinde, hakiki $\lambda_y = s_{ky} / i_y$ narinliği yerine;

$\lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^{\,2} + \lambda_1^{\,2}}$ ideal narinliği alınmalıdır. (2.49)

çerçeve bağlantılar için $\lambda_1 = s_1 / i_1$ bağıntısı yardımıyla, (2.50)

kafes bağlantılı çubuklarda ise $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{F}{2 \times F_D} \times \frac{d^3}{s_1 \times e^2}}$ olarak hesaplanır. (2.51)

Burada; s_1 başlık çubuğu burkulma boyunu, e başlık çubukları eksenler arası mesafe, d kafes bağlantı boyu, F başlık çubukları alanı, F_D kafes bağlantı elemanları alanını göstermektedir. Çok parçalı basınç çubukları hesap bakımından 3 gruba ayrılmıştır.

2.4.2.3 I.Grup Çubuklar

Bu gruba giren çubuklarda, asal eksenlerden biri malzemeli eksen, diğeri ise malzemesiz eksen konumundadır. Hesaplar x-x malzemeli eksene ve y-y malzemesiz eksene göre yapılır.

a) x-x malzemeli eksene göre hesap;

Genelde tek parçalı çubuğun burkulması gibidir. i_x farklı enkesitli çubuklar durumu hariç doğrudan profil tablosundan alınabilir.

$\lambda_x = s_{kx} / i_x$ hesaplanarak narinlik bulunmuş olur. (2.48)

b) y-y malzemesiz eksene göre hesap;

Kayma şekil değiştirmesini hesaba katan λ_{yi} itibari narinlik derecesi ile çalışılır. Önce I_y eylemsizlik momenti değeri hesaplanır. Sonra y-y ekseni atalet yarıçapı yardımıyla λ_y narinlik değeri tespit edilir. λ_1 değeri 2.50 ve 2.51 bağıntıları yardımıyla bulunduktan sonra 2.49 bağıntısı ile hesap tamamlanır. İki eksen göre

narinlik değerleri tespit edildikten sonra maksimum narinlik değerine karşılık gelen burkulma sayısı tablolardan alınır, 2.47 bağıntısında yerine konur.

2.4.2.4 II.Grup Çubuklar

Çubuklarda enkesit köşelere konmuş iki korniyerle oluşturulmaktadır. Bu grupta malzemeli eksen çubukların kenarlarına paralel kendi x ve y eksenleri ile çakışmaz. Hesapların sadece malzemeli eksen etrafındaki burkulmaya göre yapılması yeterlidir. İki asal eksen için belirlenen s_{kx} ve s_{ky} burkulma boyları farklı ise;

$s_k = (s_{kx} + s_{ky}) / 2$ şeklinde alınabilir. (2.52)

a) Eşit kollu korniyerler kullanılması durumunda;

$\lambda_{max} = \lambda_x = \frac{s_k}{i_\xi} \rightarrow \omega_{max}$ bulunup, 2.47 bağıntısı uygulanarak hesap tamamlanır (2.53)

Burada i_ξ bir korniyere ait atalet yarıçapını ifade etmektedir.

b) Değişik kollu korniyerler kullanılması durumunda;

Enkesitin korniyer uzun kollarına paralel malzemesiz eksen atalet yarıçapı i_o hesap edilir. Buradan; $i_x = i_o / 1{,}15$ malzemeli eksen atalet yarıçapı hesap edilir. (2.54)

$\lambda_{max} = \lambda_x = \frac{s_k}{i_x} = \frac{1{,}15 \times s_k}{i_o} \rightarrow \omega_{max}$ bulunup, 2.47 bağıntısı uygulanır. (2.55)

2.4.2.5 III.Grup Çubuklar

Her iki asal ekseni de malzemesiz eksen durumundaki çubuklar bu gruba girer. Her iki eksen etrafında da ideal narinlik derecelerine (λ_{xi} ve λ_{yi}) göre hesap yapılır.

a) x-x malzemesiz eksene göre hesap;

2.48 bağıntısı yardımıyla x-x ekseni narinliği ve2.50 ile 2.51 bağıntıları yardımıyla λ_{1x} narinliği hesap edilir. Buradan $\lambda_{xi} = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_{1x}^2}$ bağıntısı ile, (2.56)

x-x malzemesiz ekseni ideal narinlik derecesi tespit edilir.

b) y-y malzemesiz eksene göre hesap;

$\lambda_y = s_k / i_y$ bağıntısı yardımıyla y-y ekseni narinliği ve 2.50 ile 2.51 bağıntıları yardımıyla λ_{1y} narinliği hesap edilir. Buradan $\lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_{1y}^2}$ bağıntısı ile, (2.49)

y-y malzemesiz ekseni ideal narinlik derecesi tespit edilir. Bu iki narinlik değeri kıyaslanmak suretiyle λ_{maz} tespit edilir. Burkulma katsayısı tespit edilir, 2.47 bağıntısı yardımıyla hesaplar tamamlanmış olur.

2.4.3 Basınç Çubukları Açısından Karşılaştırma

Tablo 2.21: Basınç çubukları açısından karşılaştırma

Tek Parçalı Basınç Çubukları	
EC 3	**TS 648**
• Enkesitin asal eksenlerine dik doğrultuda burkulma güvenliği kontrolü yapılır. Burkulma dayanımının kontrolünde enkesit sınıflarına bağlı olarak burkulma gerilmesi eğrileri yardımıyla tayin edilen χ indirgeme katsayıları kullanılır. Kullanılan burkulma eğrileri malzemeden ve imalattan kaynaklanan kusurları da kapsamaktadır(Bkz. Şekil 2.14). • Denklem 2.26'ya göre burkulma güvenliği kontrolü tahkiki tamamlanır. • Şekil 2.16'da görüldüğü üzere EC 3 yönetmeliği çeliğin plastik deformasyon yapabilme özelliğinden faydalandığı için TS 648'e göre daha ekonomik tarafta kalmaktadır. • χ indirgeme katsayılarının hesabında boyutsuz $\bar{\lambda}$ referans narinliği kullanılır.	• Enkesitin asal eksenlerine dik doğrultuda burkulma güvenliği kontrolü yapılır. Basınç çubuklarının burkulması hesabında ω metodu kullanılmaktadır. • ω burkulma sayıları çekme emniyet gerilmesinin burkulma emniyet gerilmesine bölünmesi ile elde edilen boyutsuz bir katsayıdır. Narinliğe bağlı olarak, çelik kalitesine göre ilgili tablolardan alınır.
Çok Parçalı Basınç Çubukları	
EC 3	**TS 648**
• Çok parçalı basınç çubuklarında basınç elemanının geometrik kusurlarını hesaba katmak amacıyla e_0 başlangıç eğriliği tanımlanmıştır. • Malzemeli eksene dik burkulma kontrolü tek parçalı basınç çubukları gibi yapılmaktadır. • Malzemesiz eksene dik burkulmada çubuk ortasındaki kesitte burkulma dayanımı incelenir. Bunun sebebi e_0 eğriliğinden dolayı oluşan M_s momentinin en büyük değerine çubuk ortasında ulaşmasıdır. Burada I_{eff} etkili atalet momenti hesaplanır. Ayrıca M_s momentinin hesabı için S_v kayma rijitliği hesaplanmalıdır. Eğer başlık çubukları örgü çubukları ile bağlanıyorsa örgü çubukları, çubuk uçlarına etkiyen V_s kesme kuvvetine göre kontrol edilir. Eğer başlık çubukları örgü çubukları ile birbirine bağlanıyorsa bağ levhaları son gözde elde edilen kesit etkilerine göre kontrol edilir. • Küçük aralıklı çok parçalı basınç çubuklarında yönetmelikte verilen şartların sağlanması durumunda tek parçalı basınç çubukları gibi hesaplanabilir. • Köşelemesine konulmuş çok parçalı basınç çubuklarında TS 648'den farklı olarak bağlantı elemanları birbirine dik çift levha olarak teşkil edilir. Yönetmelikte verilen koşullar sağlanırsa y-y asal eksenine göre tek parçalı basınç çubuğu hesabı yapılır.	• Çok parçalı basınç çubukları üç alt grupta toplanmaktadır. Bu sınıflandırma malzemeli ve malzemesiz eksene göre yapılmaktadır. • Malzemeli eksene dik burkulmada tek parçalı basınç çubuğu hesabı yapılmaktadır. Malzemesiz eksene dik burkulmada ise eksen etrafında eğilmeden dolayı profiller arasında kayma kuvveti oluşmaktadır. Bu sebeple bu düzleme dik burkulma hesaplarında ideal narinlik dikkate alınır. Sonuçta elde edilen maksimum narinliğe göre burkulma gerilmesi kontrolü yapılır. • İtibari narinlik hesabı örgü çubuklu ve bağ levhalı çubuklarda farklılık göstermektedir. • Örgü çubukları ve bağ levhaları etkiyen Q kesme kuvvetine göre kontrol edilmektedir. • Malzemenin lineer-elastik karakter gösterdiği kabul edilir.

Bu kısımda EC 3 yönetmeliğine göre burkulma dayanımının hesabında kullanılan burkulma gerilmesi eğrileri ile TS 648 yönetmeliğinin basınç çubuklarının hesabında kullanılan $\sigma_{d.em}$ burkulma emniyet gerilmesi değerinin saptanmasında kullanılan taşıma gerilmeleri eğrileri (Bkz. Şekil 2.17) incelenecek ve karşılaştırma yapılacaktır. EC 3'e göre burkulma gerilmeleri eğrisi yatay eksen bileşeni Denklem 2.29'a göre $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}\sqrt{\beta_A}$ şeklinde tarif edilmiştir. Yapılacak olan karşılaştırmada enkesit sınıfı 1 olan bir kesit kullanılacaktır. Bölüm 2.4.1'e göre β_A indirgenme katsayısı 1'e eşit olacaktır. Bu durumda yatay eksen $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$ şeklini alır. Kıyaslama yapmak için her iki eksen takımı aynı boyuta getirilecektir. TS 648'e göre taşıma gerilmesi eğrisi yatay ekseni Şekil 2.17'de görüleceği üzere λ narinliğine eşittir. Yatay eksen λ_1 kıyaslama narinliğine bölünürse eğrilerde yatay eksen boyutları eşitlenmiş olacaktır. Burada kıyaslama narinliği Denklem 2.28'e göre hesap edilecektir. Bu değer enkesitten bağımsız yapı çeliği malzemesine bağlı olarak değişen bir parametredir. Yatay eksen boyutları bu şekilde sabitlendikten sonra, eğrilerde düşey eksen gerilme boyutuna taşınarak karşılaştırma yapılacaktır. EC 3'e göre burkulma güvenliğinin kontrolü Denklem 2.26'ya göre yapılır. Burada, $N_{b,Rd} = \chi \times \beta_A \times A \frac{f_y}{\gamma_M}$ şeklinde hesap edilir. Yapılan kıyaslamada β_A=1 olduğu için denklem $\frac{N_{b,Rd}}{A} \le \chi \frac{f_y}{\gamma_M}$ halini alır. Burada sol taraf $\frac{N_{b,Rd}}{A}$ gerilmeye eşittir. TS 648 yönetmeliğine göre ise burkulma emniyet gerilmesi, Denklem 2.46'a göre $P/F \le \sigma_{dem}$ 'e eşittir. Yatay ve düşey eksenler boyut olarak eşitlendikten sonra EC 3'e göre "a,b,c,d" burkulma emniyet gerilmeleri dikkate alınarak, TS 648'e göre ise narinlik değerleri belirli oranlarda artırılarak eğri oluşturulmuştur. TS 648'e göre gerilme ekseni bileşenleri yönetmelik Madde 3.2.2.2 narinlik gözönünde bulundurularak basınç emniyet gerilmeleri tahkiki bölümüne göre tespit edilmiştir. Burada eğri bileşeni λ_p kritik narinlik olmak üzere,

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{\sigma_a}} = \frac{6438,4}{\sqrt{\sigma_a}} \text{ bağıntısından } \lambda_p = 131,42 \text{ olarak elde edilmiştir.} \quad (2.57)$$

$\sigma_{b,em}$ gerilmesi değerleri ise aşağıda Denklem 2.58 ve 2.80'e göre hesaplanacaktır.

$$\lambda \le \lambda_p \rightarrow \sigma_{b,em} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^2\right] \times \sigma_a}{n}$$ yardımıyla hesaplanacaktır. (2.58)

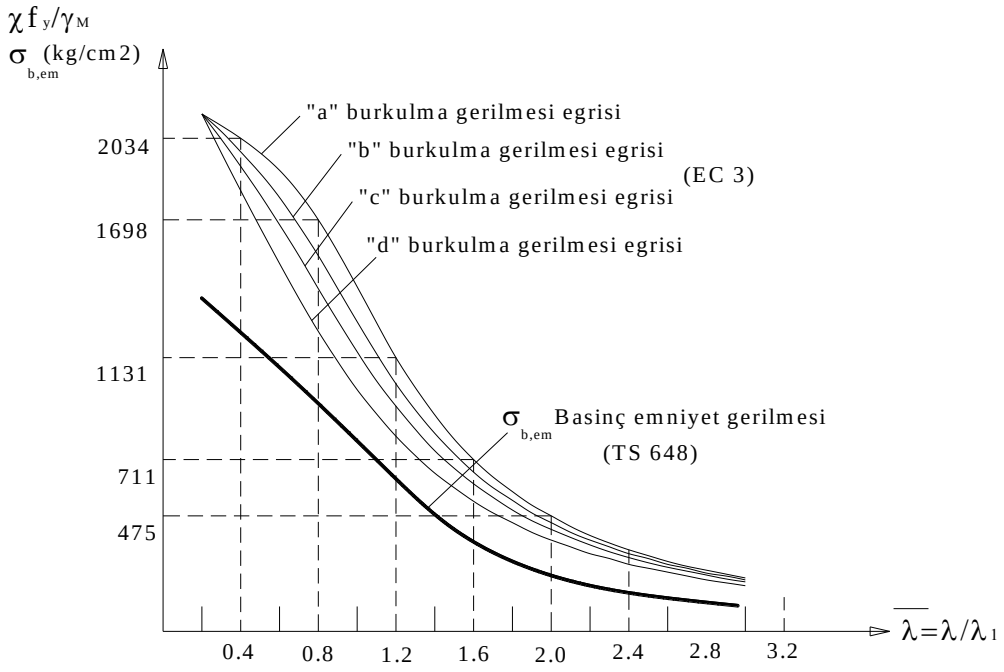
Eğer, $\lambda > \lambda_p \rightarrow \sigma_{b,em} = \frac{8290000}{\lambda^2}$ şeklinde hesap edilecektir. (2.80)

n emniyet katsayısı olarak tarif edilir. n≥1,67 olmalıdır. Eğer $\lambda \ge \lambda_p$ ise n=2,5 alınır.

$\lambda_p \le \lambda \le 20 \rightarrow n = 1{,}5 + 1{,}2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right) - 0{,}2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^3$ olarak hesaplanır. (2.59)

Sonuçta, aşağıda gösterilen Şekil 2.18'de yatay eksen $\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$ olarak, düşey eksen ise

$\chi \frac{f_y}{\gamma_M}$ ve $\sigma_{b,em}$ gerilmeler olarak tarif edilmiştir.



Şekil 2.18: Gerilme eğrileri karşılaştırması

Yukarıda Şekil 2.18'da görüldüğü üzere EC 3 yönetmeliği çeliğin plastik deformasyon yapabilme özelliğinden faydalandığı için, TS 648 yönetmeliğine göre daha ekonomik tarafta kalmaktadır. EC 3 malzemenin plastik dayanımına göre hesap yaptığı için TS 648'e göre daha yüksek taşıma değerlerine izin vermektedir. Bu sebeple daha narin kesinlerle daha ekonomik boyutlandırmalar yapılabilmektedir. EC 3 daha gerçekçi ve işlevsel sonuçlara imkan tanımaktadır.

2.5 Kirişler

Kirişler eğilmeye çalışan elemanlardır. Eğilme momentinin yanı sıra kesme kuvveti, bazen de normal kuvvet aktarırlar.

2.5.1 EC 3 Yönetmeliğine Göre Kirişlerin Tasarlanması

2.5.1.1 Eğilme Momenti Etkisi

Statik hesaplardan elde edilen, dış yüklerden meydana gelen eğilme momentinin tasarım değeri, enkesitin $M_{c,Rd}$ eğilme dayanımından küçük olmalıdır.

$$M_{Sd} \le M_{c,Rd} \tag{2.60}$$

Enkesit eğilme dayanımı;

1. ve 2. sınıf enkesitlerde $M_{c,Rd} = (W_{pl} \times f_y) / \gamma_{Mo}$ (2.61)

3. sınıf enkesitlerde $M_{c,Rd} = (W_{el} \times f_y) / \gamma_{Mo}$ (2.62)

4. sınıf enkesitlerde $M_{c,Rd} = (W_{eff} \times f_y) / \gamma_{M1}$ olarak hesaplanır. (2.63)

W_{pl} enkesitin plastik mukavemet momentini, W_{el} ise enkesitin elastik mukavemet momentini göstermektedir. Kısmi güvenlik katsayıları, $\gamma_{Mo} = \gamma_{M1} = 1.10$ dir. $M_{c,Rd}$ eğilme dayanımı hesap edilirken çekme bölgesinde delik alanları çıkarılır. Eğer 2.64 bağıntısı sağlanıyorsa enkesit zayıflaması ihmal edilebilir.

$$0.9 \times \frac{A_{f,net}}{A_f} \ge \frac{f_y \times \gamma_{M2}}{f_u \times \gamma_{M0}} \tag{2.64}$$

A_f çekme bölgesinin brüt enkesit alanını, $A_{f,net}$ çekme bölgesinin net enkesit alanını göstermektedir. Kısmi güvenlik katsayıları ise $\gamma_{Mo} = 1.10$, $\gamma_{M2} = 1.25$ olarak alınır.

2.5.1.2 Kesme Kuvveti Etkisi

Dış yüklerden meydana gelen kesme kuvvetinin tasarım değeri statik hesaplardan elde edilir. Bu değer enkesit kesme dayanımından daha büyük olmamalıdır.

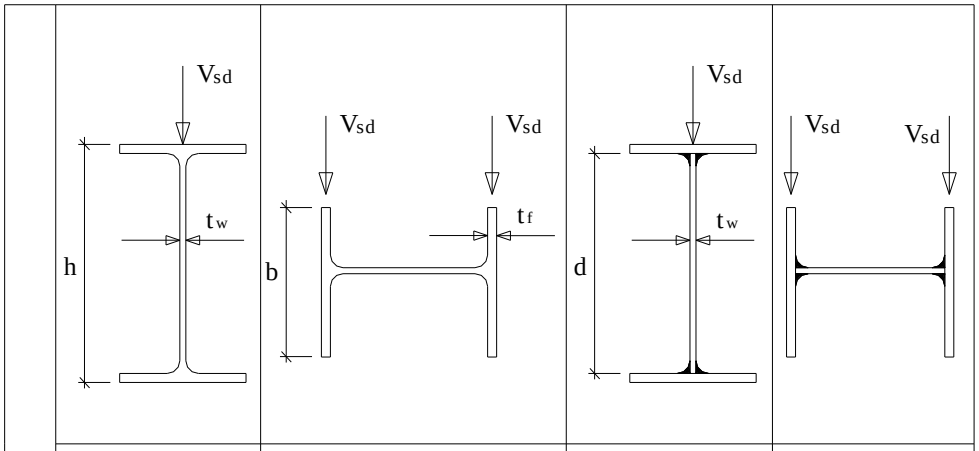
$$V_{Sd} \le V_{pl,Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{Mo}} \tag{2.65}$$

Eğer $\frac{A_{v,net}}{A_v} \ge \frac{f_y}{f_u}$ ise, (2.66)

enkesit zayıflamasından dolayı kesme alanında indirgenme yapılmaz. Birleşim bölgesinde makaslama kopmasından kaçınılmalıdır. Bunun için;

$$V_{Sd} \le V_{eff,\ Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \times \frac{A_{v,eff}}{\gamma_{Mo}}$$ koşunu sağlanmalıdır. (2.67)

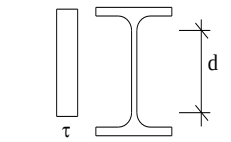
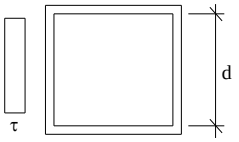
Burada, A_v kesme alanı aşağıda Şekil 2.19'da verilmiştir.



	hadde	hadde	kaynakli	kaynakli
A_v	$1.04\ h\ t_w$	$2\ b\ t_f + (t_w + r)t_w$	$d\ t_w$	$A - d\ t_w$

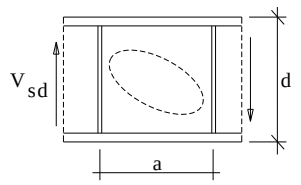
Şekil 2.19: A_v kesme kuvveti enkesit alanları (EC 3)

V_{sd} dış yüklerden meydana gelen kesme kuvveti tasarım değerini, $V_{pl,Rd}$ enkesitin plastik kesme dayanımını, $A_{v,net}$ enkesit kesme kuvveti net alanını, $A_{v,eff}$ ise etkili makaslama alanını göstermektedir. Kirişlerde makaslamaya maruz kalan kısımlarda d / t oranı aşağıda Şekil 2.20'de verilen değerleri aşmadığı taktirde, kirişler için gövde buruşması tahkikine gerek yoktur.

Profil	Kesme kuvvetine maruz yapı elemanı
	$d/t \le 69\varepsilon$
	$d/t \le 69\varepsilon$
Düşey takviyeler varsa	$d/t \le 30\varepsilon\sqrt{k\tau}$
$\varepsilon=\sqrt{235/fy}$	S 235 çeliği için ε: 1.00 S 275 çeliği için ε: 0.92 S 355 çeliği için ε: 0.81

Şekil 2.20: Kesme kuvvetine maruz elemanlarda maksimum d/t oranları (EC 3)

Burada k_τ buruşma katsayısı olup, aşağıda şekil 2.21'de verilmiştir.

a/d	< 1	≥ 1	
k_τ	$4 + 5.34 / (a/d)^2$	$5.34 + 4 / (a/d)^2$	

Şekil 2.21: Buruşma katsayısı değerleri (EC 3)

2.5.1.3 Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Etkisi

Eğer bir kesitte tasarıma esas olan kesme kuvveti, o kesitin plastik kesme kuvveti dayanımının %50'sini aşarsa($V_{Sd} \geq 0{,}5 * V_{pl,Rd}$) , kesitin plastik moment değeri indirgenir. Kuvvetli eksen etrafında eğilen simetrik kirişlerde;

$$M_{v,Rd} = \left\{ W_{pl} - \frac{\rho \times A_v^{\,2}}{4 \times t_w} \right\} \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} \leq M_{c,Rd} \qquad \text{olmalıdır.} \tag{2.68}$$

$$\rho = \left\{ 2 \frac{V_{Sd}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right\}^2 \tag{2.69}$$

Diğer durumlarda enkesitin $M_{v,Rd}$ plastik moment dayanımı etkili kayma yüzeyinde $(1 - \rho) / f_y$ indirgenmiş akma sınır gerilmesi ile hesaplanır.

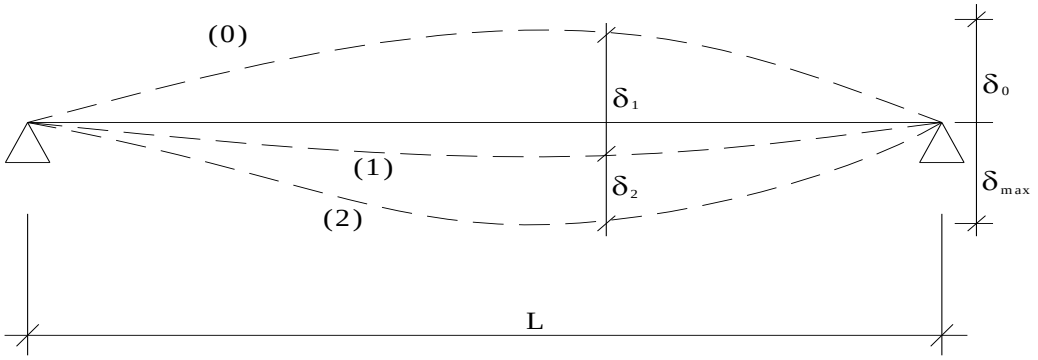
2.5.1.4 Kullanılabilirlik Sınır Durumlarında Kirişlerin Sehimleri

Deplasmanların hesabında ikinci mertebe teorilerinin ve kullanma durumunda oluşabilecek plastik mafsalların etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Kullanma sınır durumuna göre tasarımda, ilgili yük kombinasyonlarına göre yapılan analiz sonuçlarından elde edilen yer değiştirme değerlerinin aşağıdaki Tablo 2.22'de verilen sınır değerlerden az olması gerekmektedir.

Tablo 2.22: Düşey yer değiştirmeler için sınır değerler (EC 3)

Düşey yerdeğiştirmeler için sınır değerler		
Şartlar	Limit	
	δ_{max}	δ_2
Çatılar	L / 200	L / 250
Bakım amacının dışında üzerinde insan dolaşan çatılar	L / 250	L / 300
Genel olarak döşemeler	L / 250	L / 300
Üzerinde malzeme ve duvar taşıyan döşemeler	L / 250	L / 350
Kolon taşıyan döşemeler	L / 400	L / 500
δ_{max} 'ın yapı görüntüsünü bozduğu yerlerde	L / 250	----

Gözönüne alınacak deplasmanlar Şekil 2.22'de tanımlanmıştır.



Şekil 2.22: Gözönüne alınacak deplasmanlar (EC 3)

Burada $\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_3$ olarak hesaplanır. (2.70)

2.5.2 TS 648 Yönetmeliğine Göre Kirişlerin Tasarlanması

2.5.2.1 Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisi

Dolu gövdeli kirişlerin, elastisite teorisine göre kesit, ek ve birleşim hesapları, normal gerilmelerin kiriş yüksekliğince lineer dağıldığı kabulüne dayanır. Kirişler eksenel basınç kuvveti ile birlikte eğilme momenti etkisi altında olduklarından dolayı eğilmeli burkulmaya maruz kalmaktadır. Bu sebeple kirişler TS 648 Madde 3.4 eksenel basınç ve eğilmeye çalışan çubuklar bölümü kurallarına uygun olarak boyutlandırılırlar. Buna göre yapılacak kontroller;

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\,\sigma_{bx}}{(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}})\sigma_{Bx}} + \frac{C_{my}\,\sigma_{by}}{(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}})\sigma_{By}} \le 1{,}00 \qquad (2.71)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0{,}6\,\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \le 1{,}00 \quad \text{bağlantılarıyla gerçekleştirilir.} \qquad (2.72)$$

Eğer $\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \le 1{,}00$ ise sadece $\frac{\sigma_{eb}}{0{,}6\,\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \le 1{,}00$ kontrolü yeterlidir.

Burada; σ_{eb} , Yalnız N eksenel basınç kuvveti etkisinde hesaplanan gerilme

σ_{bem} , Yalnız N eksenel basınç kuvveti etkisinde uygulanacak emniyet gerilmesi

σ_{bx} , Yalnız M_x eğilme momenti etkisi altında hesaplanan gerilme

σ_{by} , Yalnız M_y eğilme momenti etkisi altında hesaplanan gerilme

σ_{Bx} , Yalnız M_x eğilme momenti etkisi altında uygulanacak emniyet gerilmesi

σ_{By} , Yalnız M_y eğilme momenti etkisi altında uygulanacak emniyet gerilmesi

σ_{By} , Yalnız M_y eğilme momenti etkisi altında uygulanacak emniyet gerilmesi

σ'_{ex} , x-x asal ekseni etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilme

σ'_{ey} , y-y asal ekseni etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilme

C_{mx} , M_x moment diyaglamlarını ve hesap yapılan düzleme dik doğrultuda çubuğun tutulma düzenini göz önünde tutan katsayı

C_{my} , M_y moment diyaglamlarını ve hesap yapılan düzleme dik doğrultuda çubuğun tutulma düzenini göz önünde tutan katsayılar olarak tanımlanacaktır.

A kesit alanı olmak üzere, $\sigma_{eb} = N / A$ (2.73)

ω_x x-x ekseni için burkulma katsayısı olup, $\sigma_{bem} = \sigma_{Hem} / \omega_x$ (2.74)

W_x kesit x-x ekseni mukavemet momenti olup, $\sigma_{bx} = M_x / W_x$ (2.75)

W_y kesit y-y ekseni mukavemet momenti olup, $\sigma_{by} = M_y / W_y$ (2.76)

λ_{yb} kesit y-y ekseni çubuk narinliği, C_b eğilme moment diyagramına bağlı bir katsayı olup ;

$$\lambda_{yb} \le \sqrt{\frac{3\times10^7 \times C_b}{\sigma_a}} \text{ ise } \quad \sigma_{Bx} = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_a \times \lambda_{yb}^2}{9\times10^7 \times C_b}\right]\sigma_a \tag{2.77}$$

$$\lambda_{yb} > \sqrt{\frac{3\times10^7 \times C_b}{\sigma_a}} \text{ ise } \quad \sigma_{Bx} = \frac{10^7 \times C_b}{\lambda_{yb}^2} \tag{2.78}$$

En kesitte basınç başlığı dolu kesit, dikdörtgene yakın formda ve alanı da çekme başlığı alanından küçük değilse $\sigma_{Bx} = \dfrac{84\times10^4 \times C_b}{s_{ky} \times \dfrac{d}{A_{yb}}}$ (2.79)

λ_x kesit x-x ekseni çubuk narinliği olup, $\sigma'_e = \dfrac{829\times10^4}{\lambda_x^2}$ şeklinde hesaplanır. (2.80)

2.5.2.2 Kesme Kuvvet Etkisi

Kirişlerde kesme kuvveti etkisi altında makaslama gerilmesi oluşur. Bu gerilme;

$$\tau = \frac{V_{max}}{A_g(h_1 \times t_g)} \le \tau_{em}$$ şeklinde hesap edilir. (2.81)

Burada, $h_1 \times t_g$ kiriş kayma alanını ifade etmektedir. τ_{em} için bkz. Bölüm 2.1.2.2.5

2.5.2.3 Kıyaslama Gerilmesi Kontrolü

Bu tahkik, kesitte kontrole değer büyüklükte eğilme momenti ve kesme kuvveti etkisinin bulunması durumunda yapılır. Kıyaslama gerilmesi;

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le \left\{ \begin{matrix} \sigma_{VHem} \\ \sigma_{VHZem} \end{matrix} \right\} \text{ şeklinde hesap edilir.} \quad (2.82)$$

2.5.2.4 Yanal Burulmalı Burkulma Kontrolü

Gövde düzlemi içinde eğilmeye çalışan kirişin eğilme-basınç başlığı, gövde düzlemi dışına doğru kaçmak isteyecektir. Buna, kirişin basınç başlığının yanal burkulması denir. Eğilme-basınç başlığında, eğilme momenti nedeniyle oluşan normal gerilme, σ_B yanal burkulma emniyet gerilmesini aşmamalıdır. Bu değer Bölüm 2.5.2.1'e göre hesap edilir. Bu hesapta $\sigma_B \ge 0.6\ \sigma_a$ ise kiriş başlığında yanal burkulma kontrolüne gerek yoktur. Eğer $\sigma_B < 0.6\ \sigma_a$ ve $M / W_x > \sigma_B$ ise, kiriş basınç başlığının ilave stabilite elemanları atılarak küçültülmesi gerekmektedir.

2.5.2.5 Sehim Kontrolü

TS 648 ve ABYYHY uyarınca sehim ve yatay ötelenme sınırları

Kirişler için $\Rightarrow l/300$ (2.83)

Konsol kirişler için $\Rightarrow l/150$ şeklinde hesap edilir. (2.84)

2.5.3 Kirişler Açısından Karşılaştırma

EC 3 yönetmeliğine göre kirişlerin hesabında, kısmi güvenlik katsayıları uygulanmış dış etkilerden meydana gelen en elverişsiz eğilme momenti M_{Sd} ve kesme kuvveti V_{Sd} değerleri, enkesitin eğilme dayanımından $M_{c.Rd}$ ve enkesitin kesme dayanımından büyük olmamalıdır. Eğilme ve kesme dayanımının hesabında enkesit zayıflaması dikkate alınır. Özellikle kesme etkisi altında enkesit zayıflaması makaslama kopması açısından çok önemlidir. Kirişlerde makaslamaya maruz kısımlarda d / t oranları buruşma tahkiki açısından etken parametrelerdir. Buruşma tahkiki hesapları için buruşma katsayıları geliştirilmiştir. Yanal burkulma dayanımı hesabında, profil özeliklerine göre burkulma eğrileri yardımıyla tespit edilen yanal burulmalı burkulma indirgeme katsayıları kullanılır. Kiriş sehimleri hesabında en son durumdaki sehim değeri, sabit yüklerin meydana getirdiği sehim ile değişken yüklerin ve sabit yüklerin zamanla meydana getirdiği sehimlerden, yüksüz durumda

verilen ters sehimin çıkarılması ile elde edilir. TS 648'e göre kirişlerin hesabı, elastisite teorisine göre kesit hesapları normal gerilmelerin kiriş yüksekliğince lineer dağıldığı kabulüne dayanır. Kesme kuvveti etkisi altında kayma gerilmesi kontrolü yapılır. Yanal burkulma kontrolü, tesirler altında oluşan gerilmelerin yanal burkulma emniyet gerilmesi değerini aşmadığı tespitiyle yapılır.

Tablo 2.23: Kirişler açısından karşılaştırma

Kirişler	
EC 3	**TS 648**
• 1. ve 2. sınıf enkesitlerde, enkesitin eğilme dayanımı enkesitin plastik dayanımına eşittir. 3. sınıf enkesitlerde enkesitin eğilme dayanımı enkesitin elastik dayanımına eşittir. 4. sınıf enkesitlerde ise enkesitin eğilme dayanımı enkesitin elastik burkulma dayanımına eşittir. • Eğilme dayanımı hesabında Denklem 2.64'teki koşul sağlanmıyorsa çekme bölgesindeki enkesit zayıflaması dikkate alınmalıdır. • Kesme dayanımı hesabında Denklem 2.66'daki koşul sağlanmıyorsa tüm enkesitteki enkesit zayıflaması dikkate alınmalıdır. • Etkiyen kesme kuvveti enkesitin plastik kesme kuvveti dayanımının yarısından fazla olursa enkesitin plastik moment dayanımı indirgenir. • İki çeşit sehim hesaplanır. δ_{max} hesabında sabit yüklerin ve hareketli yüklerin etkisi, δ_2 hesabında ise sadece hareketli yüklerin etkisi incelenerek yönetmelikte verilen limitlere göre kontrol yapılır. • Birleşim bölgelerinde makaslama kopmasından kaçınmak amacıyla kesme kuvveti dayanımı etkili makaslama alanı ile hesaplanır. • Kirişler yanal doğrultuda tutulu değil ise yanal burulmalı burkulma kontrolü χ_{LT} yanal burulmalı burkulma indirgeme katsayısı yardımıyla hesaplanır. • A_v kesme alanı kaynaklı ve hadde profiller için farklı şekillerde hesaplanmaktadır (Bkz. Şekil 2.19).	• Kiriş hesaplarında normal gerilmelerin kiriş yüksekliğince lineer dağıldığı kabul edilir. Bu sebepten dolayı hesaplar malzemenin lineer-elastik karakter gösterdiği kabulüne dayanmaktadır. • Kirişler basınç ve eğilmeye çalışan eğilmeli burkulma etkisi altında çubuklar olarak hesaplanmaktadır. • Kesme kuvveti etkisi altında hesaplanan makaslama gerilmesinde EC 3 gibi enkesit zayıflaması dikkate alınmaz. Kesme kuvvetinin tamamının gövdedeki kayma alanıyla aktarıldığı kabul edilir. Kesme kuvveti etkisi altında hesaplanan kayma kuvveti alanı EC 3'e göre farklılık göstermektedir. • Kirişlerde yanal burulmalı burkulma kontrolü σ_B yanal burkulma emniyet gerilmesi yardımıyla hesaplanmaktadır.

2.6 Normal Kuvvet ve Eğilme Momentine Maruz Elemanlar

2.6.1 EC 3 Yönetmeliğine Göre Tasarım

Eğilme momentiyle birlikte normal kuvvet etkisi altında bulunan elemanlardır. Bu elemanlarda enkesit dayanımlarının kontrolü dışında, stabilite kontrolleri (eğilme momentine maruz elemanlarda yanal burulmalı burkulma kontrolü, eksenel yükle birlikte eğilme momentine maruz elemanlarda eğilmeli burkulma veya eğilmeli burulmalı burkulma kontrolleri) yapılmalıdır.

2.6.1.1 Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisi Altında Enkesit Kontrolü

Sınıf 1 ve sınıf 2 enkesitlerde, kesme kuvveti olmaksızın eğilme momenti ve normal kuvvet etkisi altında yapılacak olan enkesit kontrolü;

$$\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,pl,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{z,pl,Rd}} \le 1 \text{ şeklinde ifade edilir.} \qquad (2.85)$$

Sınıf 3 enkesitlerde kesme kuvveti olmaksızın eğilme momenti ve normal kuvvet etkisi altında yapılacak olan enkesit kontrolü;

$$\frac{N_{Sd}}{Af_{yd}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{y,el} f_{yd}} + \frac{M_{z,Sd}}{W_{z,el} f_{yd}} \le 1 \text{ şeklinde ifade edilir.} \qquad (2.86)$$

Sınıf 4 enkesitlerde kesme kuvveti olmaksızın eğilme momenti ve normal kuvvet etkisi altında yapılacak olan enkesit kontrolü;

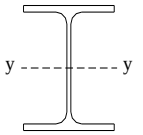
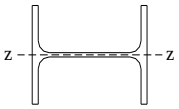
$$\frac{N_{Sd}}{A_{eff} f_{yd}} + \frac{M_{y,Sd} + N_{Sd} e_{y,N}}{W_{y,eff} f_{yd}} + \frac{M_{z,Sd} + N_{Sd} e_{z,N}}{W_{z,eff} f_{yd}} \le 1 \text{ şeklinde ifade edilir.} \qquad (2.87)$$

Burada, A_{eff} üniform basınç gerilmesi dağılımında etkili enkesit alanı,
W_{eff} yalnız eğilme momenti altında etkili enkesitin mukavemet momenti,
e_N ise üniform basınç gerilmesi dağılımında etkili enkesitte yapılan indirgeme nedeniyle eksende meydana gelen ötelemedir.

2.6.1.2 Eğilme Momenti, Kesme Kuvveti ve Normal Kuvvet Etkisi Altında Enkesit Kontrolü

Kesme kuvveti, enkesitin plastik kesme dayanım değerini %50 aştığı takdirde, plastik moment dayanımı kesme kuvveti ve normal kuvvet etkileri nedeniyle indirgenir. $V_{Sd} < 0.50\ V_{pl,Rd}$ ise, herhangi bir indirgenme yapmaksızın Bölüm 2.6.1.1'de verilen eğilme momenti ve normal kuvvet karşılıklı etkileşim bağlantıları kullanılabilir. $V_{Sd} \ge 0.50\ V_{pl,Rd}$ ise, etkili kayma alanı için indirgenmiş bir akma

gerilmesi $(1 - \rho) / f_y$ esas alınarak eğilme momenti ile normal kuvvet arasında Bölüm 2.6.1.1'de verilen eğilme momenti ve normal kuvvet karşılıklı etkileşim bağlantıları kullanılabilir. Normal kuvvet ve kesme kuvveti etkimesi halinde $M_{N,V,Rd}$ indirgenmiş plastik moment bağıntıları aşağıda Şekil 2.23'de verilmiştir. İçi boş profiller için Prof.Dr. Alpay ÖZGEN, Doç.Dr. Güliz BAYRAMOĞLU çelik yapılar 1 (sayfa 190) ders notlarına bakınız.

Hadde ve Kaynakli Profiller	Eksenel Yükün Siddeti [1]	$V_{Sd} \leq 0,5 V_{Rd}$	$V_{Sd} > 0,5 V_{Rd}$
	Küçük	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1,0$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1 - \rho$
	Büyük	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1,11(1 - n)$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1,11(1 - n - \rho)$
	Küçük	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{z,Rd}} = 1,0$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{z,Rd}} = 1 - \rho$
	Büyük	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{z,Rd}} = 1,56(1 - n)(n+0,6)$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{z,Rd}} = 1,56(1-n-\rho)\left\langle 0,6+ \frac{n}{1 - \rho}\right\rangle$

1) Eksenel yükün siddeti küçük: $N_{Sd} \leq 0,25 N_{Rd}$ veya $N_{Sd} \leq \frac{d\, t\, f_y}{2\, \gamma_{Mo}}$; Eksenel yükün siddeti büyük: $N_{Sd} > 0,25 N_{Rd}$ veya $N_{Sd} > \frac{d\, t\, f_y}{2\, \gamma_{Mo}}$

$$n = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{N_{Sd}}{\frac{A f_y}{\gamma_{Mo}}} \qquad \rho = \left\langle 2 \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} - 1 \right\rangle^2$$

Şekil 2.23: Normal kuvvet ve kesme kuvveti etkimesi halinde $M_{N,V,Rd}$ indirgenmiş plastik moment bağıntıları (EC 3)

2.6.1.3 Eğilme Momenti ve Eksenel Çekme Etkisi

Eğilme momenti ve çekme kuvveti etkiyen yapı elemanları eğilmeli burulmalı burkulmaya göre kontrol edilir. Eğilme momenti ve çekme kuvvetinin birbirinden bağımsız değişmesi halinde, çekme kuvvetinin tasarım değeri ψ=0.8 kombinasyon katsayısı ile indirgenir. Kontrol $M_{eff,Sd}$ etkili momentiyle yapılır. Bu değer ise;

$M_{eff,\,Sd} = W_{com} \times \sigma_{comEd} \leq M_{b,Rd}$ şeklinde hesaplanır. (2.88)

$\sigma_{comEd} = \frac{M_{Sd}}{W_{com}} - \psi \frac{N_{t,Sd}}{A}$ bağıntısı yardımıyla hesaplanır. (2.89)

Burada, W_{com} basınca maruz kenar life göre elastik mukavemet momenti

$N_{t,Sd}$ çekme kuvveti tasarım değeri,

$M_{b,Rd}$ ise yanal burulmalı burkulma dayanımını ifade etmektedir.

2.6.1.4 Yanal Burulmalı Burkulma Dayanımı

Kesitin yanal burulmalı burkulma dayanımı $M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times M_{c,Rd}$ 'dir. (2.90)

Burada $M_{c,Rd}$ eğilme dayanımı olup, Bölüm 2.5.1.1'de hesaplanmıştır. χ_{LT} yanal burulmalı burkulma indirgeme katsayısı olup, hadde profiller için "a" burkulma gerilmesi eğrisi yardımıyla, kaynaklı yapma profiller için "c" burkulma gerilmesi eğrisi yardımıyla hesaplanan tablolardan alınır.

$\chi_{LT} = \lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl} * f_y}{M_{cr}}}$ bağıntısıyla hesaplanır. (2.91)

Burada, M_{cr} kritik momenti çift simetri eksenli kesitlerin yanal doğrultuda tutulu noktalarında uç momentleriyle yüklenmesi durumunda;

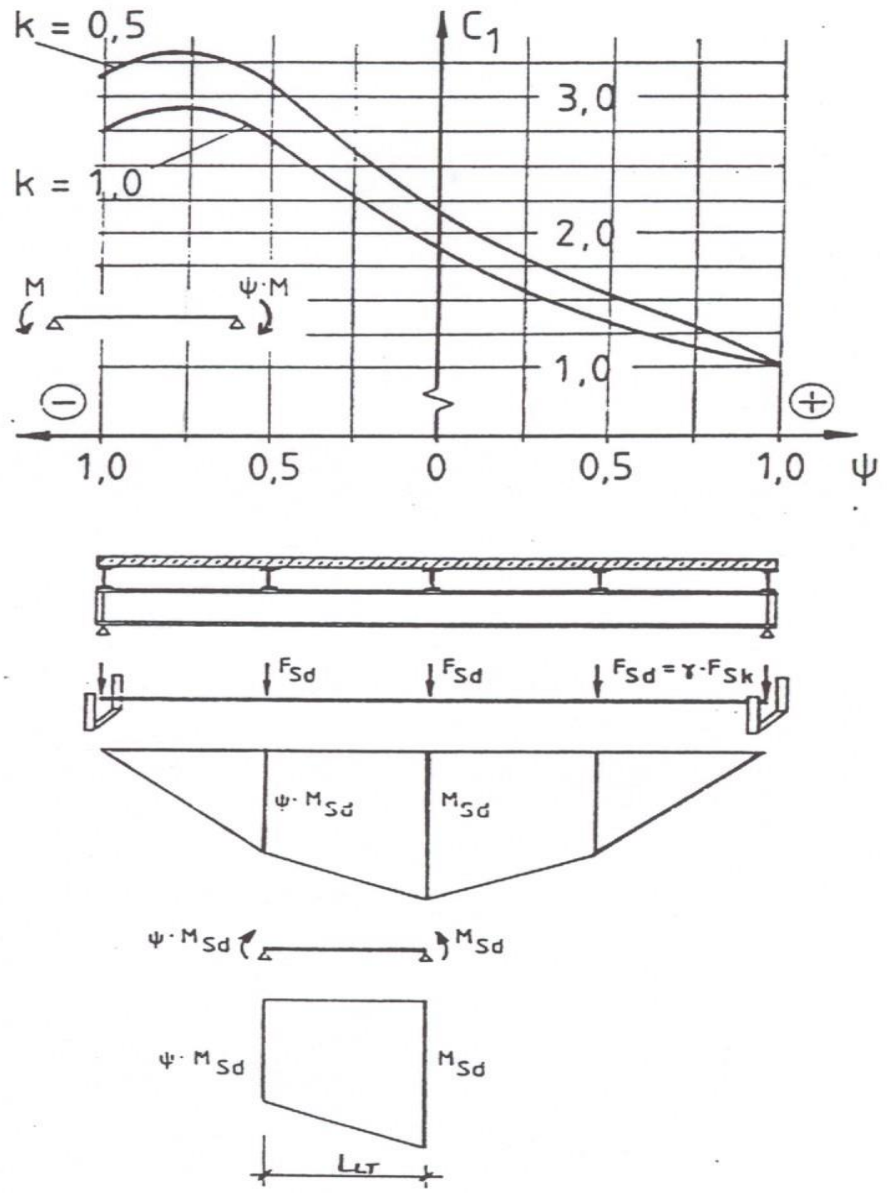
$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{I_{LT}^2} \sqrt{\frac{(\frac{k}{k_w})^2 \times I_w + 0.039 \times I_{LT}^2 \times I_t}{I_z}}$$ bağıntısıyla hesaplanır. (2.92)

Burada, I_t enkesitin burulma dayanımını, I_w enkesitin çarpılma dayanımını, k ve k_w etkili tutulma ve burulma katsayılarını, I_{LT} eğilme düzlemi dışına burkulama da burkulma boyunu, L_{LT} yanal doğrultuda tutulu noktalar arasındaki uzunluğu, C_1 ise tablolardan alınan bir katsayıyı göstermektedir. $\lambda_{LT} \leq 0.4$ olması durumunda χ_{LT}=1 alınır. Bu durumda yanal burulmalı burkulma kontrolüne gerek yoktur.

Burada etkili boy katsayıları Şekil 2.24'den, C_1 değerleri ve ψ ise Şekil 2.25'den alınacaktır.

Düzlem dışına eğilmede uç koşulları		Çarpılmada uç koşulları	
	k = 1,0		k_w = 1,0
	k = 0,5		k_w = 0,5

Şekil 2.24: Etkili boy katsayıları (EC 3)



Şekil 2.25: C_1 değerleri ve ψ'nin tanımı (EC 3)

2.6.1.5 Eğilme Momenti ve Eksenel Basınç Etkisi

Eğilme momenti ve eksenel basınç etkisindeki sınıf 1 ve sınıf 2 enkesitli yapı elemanlarında eğilmeli burkulma;

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A f_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{y,pl} f_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{z,pl} f_y/\gamma_{M1}} \le 1$$ bağıntısı yardımıyla kontrol edilir. (2.93)

Burada, $k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Sd}}{\chi_y A f_y} \le 1.5$, (2.94)

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{My} - 4) + \left(\frac{W_{y,pl} - W_{y,el}}{W_{y,el}}\right) \leq 0.90 \ , \tag{2.95}$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{Sd}}{\chi_z A f_y} \leq 1.5 \tag{2.96}$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z (2\beta_{Mz} - 4) + \left(\frac{W_{z,pl} - W_{z,el}}{W_{z,el}}\right) \leq 0.90 \quad \text{olarak ifade edilmiştir.} \tag{2.97}$$

χ_{min} , χ_y ve χ_z değerlerinin küçüğüdür. β_{My} , β_{Mz} eşdeğer üniform moment katsayıları olup Şekil 2.26'dan alınacaktır.

Eğilme momenti ve eksenel basınç etkisindeki sınıf 1 ve sınıf 2 enkesitli yapı elemanlarında eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü;

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{\chi_{LT} W_{y,pl} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{z,pl} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \ \text{şeklinde yapılır.} \tag{2.98}$$

Burada; $k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Sd}}{\chi_Z A f_y} \leq 1$, (2.99)

$\mu_{LT} = 0.15\, \bar{\lambda}_z \beta_{M,LT} - 0.15 \leq 0.9$ olarak ifade edilmiştir. (2.100)

Eğilme momenti ve eksenel basınç etkisindeki sınıf 3 enkesitli yapı elemanlarında eğilmeli burkulma kontrolü;

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{y,el} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{z,el} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \ \text{şeklinde yapılır.} \tag{2.101}$$

Eğilme momenti ve eksenel basınç etkisindeki sınıf 3 enkesitli yapı elemanlarında eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü;

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{\chi_{LT} W_{y,el} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{z,el} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \ \text{şeklinde yapılır.} \tag{2.102}$$

Eğilme momenti ve eksenel basınç etkisindeki sınıf 4 enkesitli yapı elemanlarında eğilmeli burkulma kontrolü;

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A_{eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd} + N_{Sd} e_{y,N}}{W_{y,eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd} + N_{Sd} e_{z,N}}{W_{z,eff} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \ \text{şeklinde yapılır.} \tag{2.103}$$

Eğilme momenti ve eksenel basınç etkisindeki sınıf 3 enkesitli yapı elemanlarında eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü;

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z A_{eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd} + N_{Sd} e_{y,N}}{\chi_{LT} W_{y,eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd} + N_{Sd} e_{z,N}}{W_{z,eff} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \ \text{şeklinde yapılır.} \tag{2.104}$$

2.6.2 TS 648 Yönetmeliğine Göre Tasarım

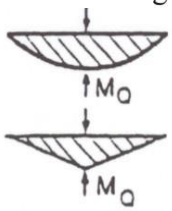
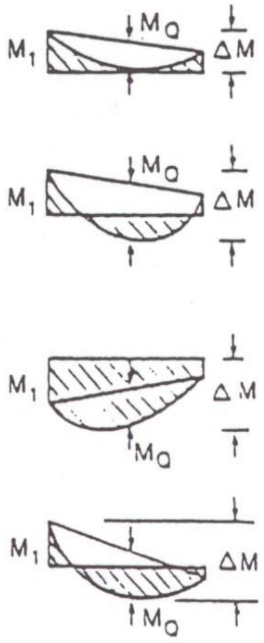
Normal kuvvet ve eğilme momentine maruz elemanlar, TS 648 Madde 2.4'e göre eksenel basınç ve eğilmeye çalışan çubuklar bölümü kurallarına uygun olarak boyutlandırılacaktır. Buna göre yapılacak kontroller Bölüm 2.5.2'e uygun olarak yapılacaktır.

2.6.3 Normal Kuvvet ve Eğilme Momentine Maruz Elemanlar Açısından Karşılaştırma

Aşağıda Tablo 2.24'de normal kuvvet ve eğilme momentine maruz elemanlar açısından elde edilen farklılıklar verilmiştir.

Tablo 2.24: Normal kuvvet ve eğilme momentine maruz elemanlarda karşılaştırma

Normal Kuvvet , Kesme Kuvveti ve Eğilme Momentine Maruz Elemanlar	
EC 3	**TS 648**
• Sınıf 1,2 enkesitlerde enkesit kontrolü plastik dayanıma göre yapılmaktadır. Sınıf 3 enkesitlerde enkesit kontrolü elastik dayanıma göre yapılmaktadır. Sınıf 4 enkesitlerde enkesit kontrolü enkesitin elastik burkulma dayanımına göre yapılmaktadır. • Plastik ve elastik moment dayanımı moment-eksenel kuvvet karşılıklı etkileşiminden dolayı yönetmelikte tanımlanan durumlara göre gerekirse azaltılır. • Eksenel kuvvetin çekme kuvveti olması durumunda yapı elemanı eğilmeli burulmalı burkulmaya göre kontrol edilmelidir. • Eksenel kuvvetin basınç olması durumunda ise eğilmeli burkulma ve eğilmeli burulmalı burkulma kontrolleri yapılır. • Plastik ve elastik moment dayanımı moment-kesme kuvveti karşılıklı etkileşiminden dolayı yönetmelikte tanımlanan durumlara göre gerekirse azaltılır.	• Basınç ve eğilmeye çalışan eğilmeli burkulma etkisi altında çubuklar olarak hesaplanmaktadır. • Çelik malzemenin lineer-elastik karakter gösterdiği kabul edilmektedir.

Momentin değişimi	Momentin katsayısı β_M
Çubuk uç momentleri  $-1 \leq \psi \leq 1$	$\beta_{M,\psi} = 1{,}8 - 0{,}7\,\psi$
Düşey yüklerden meydana gelen momentin değişimi  	$\beta_{M,Q} = 1{,}3$ $\beta_{M,Q} = 1{,}4$
Düşey yüklerden meydana gelen momentin değişimi  	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M}(\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $M_Q = \lvert \max M \rvert$ yalnız düşey yüklerden ΔM { $\lvert \max M \rvert$ moment diyagramı işaret değiştirmiyor. $\lvert \max M \rvert + \lvert \min M \rvert$ moment diyagramı işaret değiştiriyor.

Şekil 2.26: β_M moment katsayısı (EC 3)

3. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZ)

3.1 Giriş ve Genel İlkeler

Taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan davranışını tespit etmek için, yapı süneklik düzeyinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Tamamen mühendislik görüş ve tecrübesine bağlı olarak yapılan bu tahmin sırasında yürürlükteki ABYYHY'de verilmiş olan taşıyıcı sistem davranış katsayısı değerlerinden faydalanılmaktadır. Doğrusal olmayan davranışın tespiti için malzeme ve yapı davranışını daha iyi tanımlayan, yüklerin taşıyıcı sistem üzerindeki etkisini daha iyi izah edebilen, sistem ve malzemenin sadece doğrusal değil doğrusal olmayan davranışlarını da dikkate alan hesap yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Statik itme analizi (pushover) ve performans metodu bu temeller üstüne geliştirilmiştir. Ülkemizde yeni yeni uygulanmaya başlayan performansa dayalı analizde öncelikle mühendis tarafından performans seviyesinin belirlenmesi gerekir. Böylece mühendis analizlerde kullanılacak sismik talep ile binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarına ait sistemlerin tasarımı ve değerlendirilmesinde kullanılacak kabul edilebilirlik kriterlerini belirleyebilir. Bu şekilde tasarlanan binalara doğrusal olmayan statik çözümleme (pushover analizi) yapılarak muhtemel hasar seviyesinde meydana gelen değişiklikler belirlenebilir. Bu bölümde mevcut binaların performansının değerlendirilmesi için gerekli analitik prosedürler açıklanmıştır. Mevcut binaların elastik (lineer) ve inelastik (lineer olmayan) gibi çeşitli analiz metotları vardır. En temel inelastik analiz metodu nonlineer time history analizidir ki bu yöntem uygulanması açısından oldukça karmaşıktır. Kullanılan basitleştirilmiş lineer olmayan analiz metotlarında maksimum deplasmanı tahmin etmek için kapasite (pushover) eğrisi ile indirgenmiş karşılık spektrumunun kesişme noktası olarak tanımlanan Kapasite Spektrum Metodu (CSM) ile lineer olmayan işlemler yapılır. Lineer analiz, yapının elastik kapasitesini ve ilk akmanın nerde olacağını iyi bir şekilde belirleyebilir ancak mekanizmadaki hasarın ve akma sırasında kuvvet dağılımını belirlemede yetersiz kalır. Lineer olmayan analiz, binaların göçme anına kadar nasıl çalışacağını ve bu davranışındaki mod şekillerini belirlemede gerçeğe oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Dizayn için lineer olmayan metodların

kullanılması mühendise büyük bir depreme maruz kalan bir yapının nasıl davranış göstereceği hakkında daha gerçekçi fikirler verir.

Düşey yüklerle birlikte yatay etkilere de maruz yapıların güvenli ve ekonomik olarak boyutlandırılması kullanılan malzeme davranışının iyi bilinmesiyle mümkündür. Kullanılan malzemede elastik sınırlar içinde kalınarak boyutlandırma çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu sebeple malzemenin elastik ötesi davranışı göz önüne alınmalıdır. Yürürlükte olan çoğu deprem yönetmeliği, yapının tasarım depremine karşı gelen yatay yükler altında, lineer olmayan (elastik ötesi) şekil değiştirmeler yapmasına ve belirli sınırlarda hasar oluşmasına müsaade eder. Yönetmelik sınırlamalarının amacı büyük depremlerdeki hasar miktarını kontrol etmek ve toptan göçmeyi önlemektir. Ülkemizde yürürlükte olan ve yaygın olarak kullanılan birçok deprem yönetmeliğinde tasarım, yapının matematik modelinin elastik analizine dayanır. Daha sonra bu sonuçlar önceden beklenen elastik ötesi davranışlara ve yapı tarafından tüketilebilecek enerjiye karşı gelmesi düşünülen düzeltme katsayıları ile düzeltilir.

Eğer yapıların az şiddetli veya yüksek şiddetli depremler sırasında lineer veya lineer ötesi davranış göstermesi bekleniyorsa, tasarımcıların yapının çeşitli elemanlarını doğru boyutlandırmaları ve detaylandırabilmeleri için o elemandaki deplasman ve oluşacak yük seviyelerini bilmeleri gerekmektedir. Genelde kullanılan lineer elastik analiz, lineer olmayan analize göre kolaydır, fakat lineer elastik analiz yük seviyelerinin ve deplasmanların gerçekçi bir şekilde tespit edilmesinde yetersiz kalır. Bunun sebebi lineer elastik hesap için seçilen davranış katsayılarıdır. Bu katsayılar önceden tahmin edilir. Yapının hesabı yapılır ve bu katsayıya uygun hareket etmesi beklenir. Halbuki gerçekte, yanal dış etkiler yapıyı bu katsayının sebep olacağı tahmin edilen davranışın dışında bir davranışa maruz bırakır. Kesit yük seviyeleri tasarımcının kestirmesi gereken bu duruma göre şekillenir. Yapının lineer olmayan hesabında dinamik zaman artımı (time history) yöntemleri kullanılabilirse de pratik bir çözüm değildir. Lineer olmayan statik yük artımı yöntemi alternatif yöntem olarak gerekli tasarım bilgilerini toplamada kullanılabilir.

Statik yük artımı yöntemi, statik analiz adımlarının, yapıya, bir yatay yük dağılımı ile yüklenmesi ve bu dağılımın her adımda artan veya azalan bir katsayı ile çarpılarak, yapıdaki bir noktanın hedef deplasmana ulaşması olarak tanımlanabilir. Deplasman kriteri olarak çoğunlukla tepe noktası olan çatı deplasmanları kullanılır.

Sonuç olarak taban kesme kuvveti - kat deplasmanı değişimini gösteren grafikler oluşturulur. Yapıdaki bir veya birden çok noktada akma meydana gelinceye kadar yapı yatay itme etkilerine tabi tutulur. Bu akma bölgesi grafikten rahatlıkla okunabilir. Taşıyıcı sistem tepe deplasmana ulaşmadan bir stabilite bozukluğu, kırılma, göçme durumuna geldiğinde analiz sonlandırılır. Lineer olmayan statik yük artımı yönteminin amacı, kritik elemanlardaki deplasman seviyelerini, yaklaşık olarak da olsa belirsiz mukavemetleri ve rijitlik süreksizliklerini ortaya çıkarmak, özel detaylandırma isteyen bölgeleri belirlemek ve yapı stabilitesini incelemektir.

3.2 Doğrusal Olmayan Analizin Kısıtlayıcı Unsurları

Depremin tersinir etkisinin yansıtılmaması sebebiyle, malzeme yönünden lineer olmayan statik yük artımı yöntemi sonuçları yaklaşık yöntemlerdir. Kesin olarak gerçeğe yakın davranışı ifade etmemekle beraber, buna oldukça yaklaşma imkanı tanımaktadır. Deprem taşıyıcı sisteme, sıfırdan başlayarak etkisi artan bir şekilde etki eder. Analizlerde de sıfırdan başlayan ve kırılma ile son bulan bir yük artırımı söz konusudur.

Yöntemde kullanılan yapı yüksekliğince yayılı yatay yük dağılımı lineer davranış sonuçları ile bulunan eğilme mod şekillerinden çıkarılmaktadır. Halbuki ardışık yük artımları ile kesitlerde kalıcı şekil değiştirmeler yığılıp plastik mafsallar oluştukça, sistemin her adımdaki mod şekilleri değişmektedir.

Lineer hesapta kullanılan modelle kıyaslandığında matematik modeli hazırlamak zaman alan ve kapsamlı bir iş gerektirir. Modeller önemli elemanlardaki inelastik yük-şekil değiştirme bağıntılarını ve P-Δ etkilerini içermelidir. Çünkü sistem yatay yükler etkisi altında ittirilirken burkulabilir. Burada düşey elemanlardaki P-Δ etkileri ihmal edilmiştir.

3.3 Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz İçin Metodlar

Performans tabanlı dizayn işlemlerinin iki anahtar elamanı talep (karşılık) ve kapasitedir. Talep (karşılık), deprem yer hareketini temsil eder. Kapasite ise yapının sismik talebe karşılık verebilme yeteneğinin göstergesidir. Kapasite, zemin koşullarından bağımsızdır ve kuvvet-deplasman ilişkisi ile temsil edilir. Performans, kapasitenin talebe karşılık verebilme durumu ile belirlenir. Başka bir deyişle yapı,

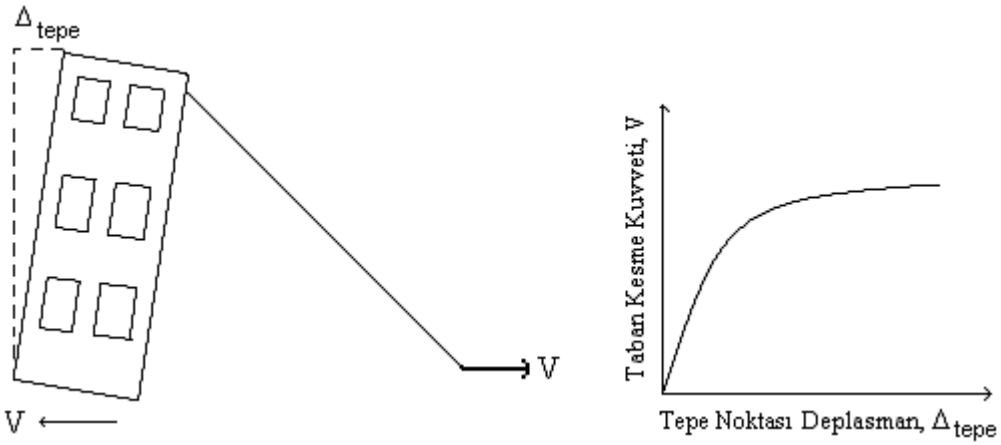
depremin talebine karşılık verebilecek kapasiteye sahip olmalıdır. Bu yüzden yapı performansı dizayn amaçları ile uyumlu olmalıdır.

Kapasite spektrum metodu ve deplasman katsayıları metodu gibi pushover (statik itme analizi) metotları kullanılarak basitleştirilmiş lineer olmayan analiz işlemlerini yapabilmek için öncelikle aşağıda açıklanan üç elemanın tanımlanması gerekir.

- Kapasite; Yapının kapasitesi sistemin rijitliğine ve yapı bileşenlerinin deformasyon yapabilme yeteneğine bağlıdır. Elastik sınırın ötesindeki deformasyon yapabilme kapasitesini belirlemek için pushover analizi gibi lineer olmayan analizlerden bazılarını kullanmak gerekir. Yatay yük dağılımı, yapı bileşenleri akmaya ulaşana kadar uygulanmaya devam edilir. Bu işleme sistem labil hale gelene veya önceden belirlenen bir sınıra ulaşana kadar tekrar etmek suretiyle devam edilir. Bölüm 3.3.1'de bu konu detaylı olarak açıklanacaktır. İki ve üç boyutlu modeller için lineer olmayan davranış ve pushover eğrisi bilgisayar programları yardımıyla oluşturulabilmektedir. Pushover (kapasite) eğrisi lineer ötesi davranış için ne kadar gerçeğe yakın sonuçlar içerse de yaklaşık bir yöntem olduğu unutulmamalıdır.
- Talep (Deplasman); Deprem anındaki yer hareketi, mevcut binada zamana bağlı olarak çok karmaşık yatay deplasman şekilleri ortaya çıkarır. Yapısal dizayn gereksinimlerini belirlemek için her zaman aralığında bu hareketi izlemek (Time History Analiz yapmak) pratik bir sorgulama değildir. Belirli bir yapı ve yer hareketi için talep deplasman, tasarlanan deprem yer hareketi süresince yapının yapabileceği maksimum deplasmandır.
- Performans ; Kapasite eğrisi ve talep spektrumu bir kez belirlendikten sonra performans kontrolü yapılabilir. Performans sınırları yapısal ve yapısal olmayan bileşenlerin performans limitlerinin kabul edilebilir durumlarının ötesinde hasar görmemesini sağlamak içindir.

3.3.1 Kapasiteyi Belirlemek İçin Adım Adım İşlemler

Yapı kapasitesi pushover eğrisi tarafından temsil edilir. Kuvvet-Deplasman eğrisi çizmenin en elverişli yolu taban kesme kuvveti ile çatı katı deplasmanının grafik üzerinde belirtilmesidir. Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını en üst kat yer değiştirmesinin yatay kuvvete bağlı olarak çizilen bağıntısının temsil ettiği kabul edilir. Bu durum aşağıda Şekil 3.1'de tanımlanmıştır.



Şekil 3.1: Taban kesme kuvveti - Tepe noktası deplasmanı ilişkisi

Yukarıda şekilde Δ_{tepe} yatay etkiler altında, yapının çatı katında (tepe noktasında) oluşacak olan maksimum deplasman, V ise yapıya etkiyen maksimum taban kesme kuvveti değeri olarak tanımlanır.

SAP 2000 gibi bazı lineer olmayan hesap programları pushover analizini iterasyon gerekmemeden direk olarak yapabilmektedir. Pushover eğrisini oluşturmak için ETABS, gibi programlar da kullanılabilir.Kapasite eğrisi genellikle yapının birinci (fundamental) modunun hakim olduğu yapıları temsil etmek için oluşturulur. Bu genellikle doğal titreşim periyodu bir saniyeye kadar olan yapılar için geçerlidir. Çok esnek yapılarda birinci modun periyodu bir saniyeden fazla olacağından daha yüksek modların etkisi de göz önüne alınmalıdır.

Statik itme analizi olarak tanımlanan pushover analiz yukarıda belirtilen programlar yardımıyla yapılmayacaksa aşağıda belirtilen adımlar uygulanmalıdır. Bu işlemler kapasitenin nasıl bulunacağını gösterir.

1. Statik itme analizinde kullanılacak yatay yük etkileri için FEMA-356'da esas olarak beş farklı dağılım önerilmektedir. Bu yük dağılımları;

- FEMA-356'da tanımlanan *düşey dağılım çarpanı* aşağıdaki denklem 3.1 yardımıyla bulunan yük dağılımlarıdır. Burada, serbest titreşim periyodu 0.5 sn'den küçük olan yapılarda k değeri "1" alınır ki bununla beraber eşit kat kütlesi ve yüksekliği durumunda elde edilecek yük dağılımı üçgen şeklinde olacaktır. (Şekil 3.2a). Serbest titreşim periyodu 2.5 saniyeden büyük olan yapılarda ise k değeri "2" alınır ki bu durum parabolik dağılımı ifade eder.(Şekil 3.2b).

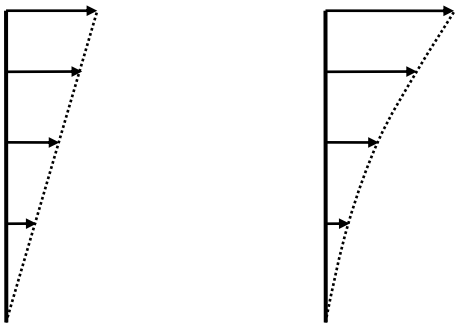
$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} m_i h_i^k} \quad (3.1)$$

Burada; C_{vx} düşey dağılım çarpanı,

m_x : *x* numaralı kat kütlesi,

h_x : *x* numaralı katın tabana göre yüksekliği,

n : kat sayısı olarak tanımlanmıştır.

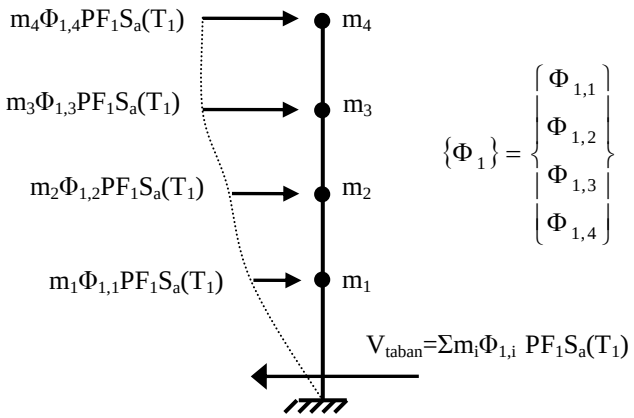


a) Üçgen dağılım b) Parabolik dağılım

Şekil 3.2: Yatay yük dağılımları (FEMA-356)

- Yapının etkin olan serbest titreşim modu şekline uygun bir yük dağılımı.
- Spektral çözümleme sonucu elde edilen modların süperpozisyonuyla bulunacak yük dağılımı (bu dağılım etkin moda ait serbest titreşim periyodu 1 saniyeyi aşan binalarda kullanılabilir).
- Kat kütleleriyle orantılı üniform yük dağılımı.
- Statik itme analizinin her adımında meydana gelen deplasman profiline uygun yük dağılımıdır.

Yatay yük dağılımı olarak yapının etkin olan serbest titreşim modu şeklinin kullanılabilmesi için, söz konusu titreşim moduna ait etkin kütle, toplam kütlenin en az %75 'i olmalıdır (FEMA-356). Deprem etkisi altında çok serbestlik dereceli bir sisteme, 1. mod için etkiyecek kuvvet Şekil 3.3'te gösterilmiştir; görüldüğü üzere, 1. mod için etkiyen kuvvetin dağılımını değiştiren parametre "miΦi" çarpanlarıdır.



Şekil 3.3 Birinci mod için atalet kuvvetleri dağılımı

Burada, Φ_1 : Birinci serbest titreşim modu vektörü,

PF_1 : Birinci serbest titreşim moduna ait modal katılım çarpanı,

$S_a(T_1)$: T_1'e karşılık gelen spektral ivme olarak tanımlanır.

2. Yatay ve düşey yükün gerekli kombinasyonları için eleman kuvvetleri hesaplanır.
3. Taban kesme kuvvetleri ve çatı deplasmanları kaydedilir. Bununla birlikte performans kontrolünde kullanılacağı için elemanlarda oluşan kuvvetleri ve dönmeleri de kaydetmekte fayda vardır.
4. Mafsallaşan kesite, kesitin aktıktan sonraki eğilme rijitliği yani o kesite ait ikili doğrusal moment-eğrilik diyagramının ikinci eğimi, kesitin yeni eğilme rijitliği olarak atanır. ATC-40 belgesinde kesitin aktıktan sonraki eğilme rijitliği için yaklaşık olarak başlangıç eğilme rijitliğinin %5 'ine veya %10 'una yakın bir değer alınması önerilmiştir. Böylelikle sistemin rijitlik matrisi değişmiş olacaktır.
5. Başka bir elaman veya elaman grubu mafsallaşıncaya kadar yatay yükün arttırılmasına devam edilir.
6. Taban kesme kuvvetinin artmasına karşın çatı deplasmanı yatay bir seyir izleme durumuna gelmesine rağmen yatay yükün arttırılmasına devam edilir.
7. Yapı yük taşıyamayacak seviyeye ulaşıncaya kadar 4., 5. ve 6. adımlar tekrarlanır.
8. P-Δ etkileri birbirinden çok fazla farklılık gösteren düzenli olmayan bir duruma geldiğinde yapı elamanları veya eleman grupları tamamıyla taşıma kapasitesini kaybediyor demektir. Bu durum yapının düşey yük taşıma kapasitesini de kaybettiği anlamına gelir. İşte bu nokta pushover eğrisinin son noktasıdır. Bu seviyeden sonra da yüklemeye devam etmek yapının göçmesi hakkında görsel bilgi vermesi açısından son derece faydalı olacaktır.

4. UYGULAMA

4.1 Yükler

4.1.1 Zati Yükler

4.1.1.1 Çatı Katı Yükleri (+16.25m Kotu Yükleri)

İzolasyon …….=120 kg/m^2

Betonarme plak yükü (h_f = 10 cm)…….=250 kg/m^2

Trapezoidal saç yükü (1mm)……..=15 kg/m^2

Döşeme kirişleri yükü…….=20 kg/m^2

Asma tavan + çelik taşıyıcı…….=10 kg/m^2

Tesisat yükü…….=10 kg/m^2

Kat kirişleri zati yükü…….=25 kg/m^2

Kolonların zati yükü…….=15 kg/m^2

Σg_1=120+250+15+20+10+10+25+15= 465 kg/m^2

Σg_2=120+250+15+10+10 = 405 kg/m^2

4.1.1.2 Ara Kat Yükleri (+3.25m, +6.50m, +9.75m, +13.00m Kotu Yükleri)

Kaplama yükü (2 cm fayans)…….=5 kg/m^2

Betonarme plak yükü (h_f = 10 cm)……..=250 kg/m^2

Trapezoidal saç yükü (1mm)……..=15 kg/m^2

Döşeme kirişleri yükü……=20 kg/m^2

Asma tavan + çelik taşıyıcı……=10 kg/m^2

Tesisat yükü…….=10 kg/m^2

Bölme duvarlar (Panel)…….=100 kg/m^2

Kat kirişleri zati yükü…….=25 kg/m^2

Kolonların zati yükü…….=25 kg/m^2

Σg_3=5+250+15+20+10+10+100+25+25= 460 kg/m^2

Σg_4=5+250+15+10+10+100 =390 kg/m^2

4.1.1.3 Cephe Zati Yükleri

Giydirme cephe zati ağırlığı…….=50 kg/m^2

4.1.2 Hareketli Yükler

4.1.2.1 Kar Yükü

TS 498 yönetmeliğine göre, Adapazarı-Hendek Bölge-III' de olup rakım h<300 m olduğu için yatay düzlemdeki kar yükü P_k ;

$P_k=m\times P_{ko}$ olarak hesaplanır. Burada m=1 ($\alpha<30°$) , P_{ko}= 75 kg/m^2 dir. (4.1)

Denklem 4.1'e göre kar yükü $P_k=1\times75=$ 75 kg/m^2 olarak elde edilmiştir.

4.1.2.2 Ara Kat Döşeme Hareketli Yükü (+3.25m, +6.50m, +9.75m, +13.00m)

TS 498 yönetmeliğine göre bürolar için hareketli yük p=200 kg/m^2 dir.

4.1.2.3 Çatı Katı Döşeme Hareketli Yükü (+16.25m)

TS 498 yönetmeliğine göre çatı katı platform hareketli yükü p=200 kg/m^2 dir.

4.1.3 Rüzgar Yükleri

TS 498 yönetmeliği uyarınca rüzgar yükü $W=C_p\times q$ olarak hesaplanır. (4.2)

C_p emme katsayısı olup yönetmelik uyarınca 1,2 olarak alınmıştır.Yapıya etkiyen rüzgar basıncı (q) yüksekliğe bağlı olarak aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır

Tablo 4.1: Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve basıncı (TS)

Zemin Üzerinden Yükseklik (m)	Rüzgar Hızı m/sn	Rüzgar Basıncı t/m^2
0-8	28,00	0,05
9-20	36,00	0,08

4.1.4 Deprem Yükleri

Deprem yüklerinin belirlenmesinde "ABYYHY" dikkate alınmıştır. Buna göre;

Deprem bölgesi…….....2

Bina önem katsayısı (I)……...1

Hareketli yük katılım katsayısı (n)…….....0,3

Etkin yer ivmesi katsayısı (A_o)……...0,30g

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)……7

Yerel zemin sınıfı (Z_n)…….....Z2

Spektrum karakteristik periyodu (T_A)…….0,15sn

Spektrum karakteristik periyodu (T_B)…….0,40sn

Spektrum katsayısı (S(T))……...1,91sn

Taşıyıcı sistem davranış katsayısının seçimi ; deprem yükleri, enine yönde süneklik düzeyi yüksek çerçevelerle (R=8), boyuna yönde süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çapraz perdelerle (R=7), aktarılacaktır. ABYYHY Madde 6.5.4 karma taşıyıcı sistemlere ilişkin koşullar gereğince; yatay yük taşıyıcı sistemlerin iki yatay deprem doğrultusunda birbirinden farklı olması halinde, değeri en küçük olan R katsayısı her iki doğrultuda da tüm binaya uygulanacaktır. Bu yüzden taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=7 seçilmiştir. Binanın birinci doğal titreşim periyodu T_{1A}, ABYYHY Madde 6.7.4 uyarınca $T_{1A} = C_T \times (H_N)^{3/4}$ olarak hesaplanır. (4.3)

C_t=0,07 (Taşıyıcı sistem dışmerkez çaprazlı çelik perdelerden oluşmaktadır.)

H_N=16,25m (Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği)

Denklem 4.3'e göre $T_{1A} = 0,07 \times (16,25)^{3/4}$ = 0,56sn olarak elde edilmiştir.

Spektrum Katsayısı S(T) ABYYHY Madde 6.4.3 uyarınca ;

$T_{1A} > T_B \Rightarrow S(T) = 2.5 \times (\frac{T_B}{T_1})^{0.8}$ olarak hesaplanır. (4.4)

Denklem 4.4'e göre S(T) = $2.5 \times (\frac{0.40}{0.56})^{0.8}$ = 1,91sn olarak elde edilmiştir.

Toplam eşdeğer deprem yükü ; $Vt = \frac{W \times A(T_1)}{Ra(T_1)}$ dir. (4.5)

$A(T_1) = A_o \times I \times S(T)$ = 0,40×1×1,91=0,573 ve $Ra(T_1)$=R=7 ($T_{1A} > Ta$) olarak bulunur.

4.2 Yük Analizi

4.2.1 Düşey Yükler

4.2.1.1 Çatı Katı Yükleri (+16.25m Kotu Yükleri)

Zati yükler → Çatı katı zati yükleri

Σg= 405 kg/m^2 , A_{plt}= 15m×35m-5m×6,25m= 495 m^2

$G = A_{plt} \times \Sigma g_2$= 405×495= 2000 kN

Zati yükler → Taşıyıcı sistem zati yükleri

g =70 kg/m^2 , A_{plt}= 15m×35m-5m×6,25m= 495 m^2

$G_2 = A_{plt} \times g$= 70×495= 350 kN

Zati yükler → Cephe zati yükleri

g =50 kg/m^2 , A_{cephe}= 2×35m×1,625m+15m×1,625m=162 m^2

$G_3 = A_{plt} \times g$= 50×162= 80 kN

Hareketli yükler → Kar yükü

p =75 kg/m^2 , $A_{çatı}$= A_{plt}= 495 m^2

Q_1= $A_{çatı}$×p= 495×75= 370 kN

Hareketli yükler → Çatı katı platform hareketli yükü

p =200 kg/m^2 , $A_{çatı}$= A_{plt}= 495 m^2

Q_2= $A_{çatı}$×p= 495×200= 990 kN

Çatı katı toplam yükleri: $\Sigma G= G_1+ G_2+ G_3$= 2000+350+80=2430 kN

$\Sigma Q= Q_1+ Q_2$= 370+990=1360 kN

$\Sigma W_1= \Sigma G +\Sigma Q$ = 2430+1360=3800 kN

$\Sigma W_{EQ1}= \Sigma G +n\times\Sigma Q =\Sigma G +0,3\times\Sigma Q$ = 2430+0,3×1360=2850 kN

4.2.1.2 Ara Kat Yükleri (+3.25m, +6.50m, +9.75m, +13.00m Kotu Yükleri)

Zati yükler → Ara kat zati yükleri

Σg= 390 kg/m^2 , A_{plt}= 15m×35m-5m×6,25m= 495 m^2

$G_4= A_{plt}\times\Sigma g_2$= 495×390= 1930 kN (1 kat için)

$\Sigma G_4= 4\times G_4$= 4×1930= 7720 kN (4 kat için)

Zati yükler → Taşıyıcı sistem zati yükleri

g =70 kg/m^2 , A_{plt}= 15m×35m-5m×6,25m= 495 m^2

$G_5= A_{plt}\times g$= 70×495= 346,5 kN (1 kat için)

$\Sigma G_5= 4\times G_5$= 4×346,5= 1380 kN (4 kat için)

Zati yükler → Cephe zati yükleri

g =50 kg/m^2 , A_{cephe}= 2×35m×13m+2×15m×13m=1300 m^2

$G_6= A_{plt}\times g$= 50×1300= 650 kN

Hareketli yükler → Ara kat platform hareketli yükü

p =200 kg/m^2 , A_{plt}= 495 m^2

$Q_1= A_{plt}\times p$= 495×200= 990 kN (1 kat için)

$\Sigma Q_3= 4\times Q_3$= 4×990= 3960 kN (4 kat için)

Ara kat toplam yükleri: $\Sigma G= \Sigma G_4+ \Sigma G_5+ G_6$= 7720+1380+650=9750 kN

$\Sigma Q= \Sigma Q_1$ = 3960 kN

$\Sigma W_2= \Sigma G +\Sigma Q$ = 9750+3960=13700 kN

$\Sigma W_{EQ2}= \Sigma G +n\times\Sigma Q= \Sigma G +0,3\times\Sigma Q$ = 9750+0,3×3960=10950 kN

Toplam bina yükleri aşağıda Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Toplam bina yükleri

Kat İsmi	ΣG(kN)	ΣQ(kN)	ΣW(kN)	ΣW_{EQ}(kN)
1.Kat	2437,5	990	3427,5	2734,5
2.Kat	2437,5	990	3427,5	2734,5
3.Kat	2437,5	990	3427,5	2734,5
4.Kat	2437,5	990	3427,5	2734,5
5.Kat	2430	1360	3790	2838
				+_____
				13776 kN

4.2.2 Yatay Yükler

4.2.2.1 Rüzgar Yükleri

±X Rüzgar yüklemesi için → $\Sigma Wx = C_p \times q \times A$

$\Sigma Wx = (0,8+0,4) \times ((50) \times (15 \times 8,0) + (80) \times (15 \times (16,25-8))) = 190$ kN

±Y Rüzgar yüklemesi için → $\Sigma Wy = C_p \times q \times A$

$\Sigma Wy = (0,8+0,4) \times ((50) \times (35 \times 8,0) + (80) \times (35 \times (16,25-8))) = 445,0$ kN

4.2.2.2 Deprem Yükleri

Binaya etkiyen taban kesme kuvveti Vt ; Denklem 4.5 uyarınca

$$Vt = \frac{\sum W_{EQ} \times A(T_1)}{Ra(T_1)} = \frac{1380 \times 0,573}{7} \geq 0,10 \times A_o \times I \times \Sigma W_{EQ} = 1130 \text{ kN} \geq 410 \text{ kN}$$

Vtx=Vty=1130 kN olarak elde edilmiştir. Deprem yükünün katlara dağılımı;

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^{N} F_i \text{ olarak hesaplanır.} \quad (4.6)$$

ABYYHY Madde 6.7.2.2 uyarınca ; $H_N \leq 25$m için $\Delta F_N = 0$ olduğu için katlara dağıtılacak deprem yükü ABYYHY Madde 6.7.2.3 uyarınca ;

$$F_i = V_i \frac{w_i \times H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j \times H_j} \text{ formülü ile hesaplanacaktır.} \quad (4.7)$$

Katlara etkiyen deprem yükleri aşağıda Tablo 4.3'de verilmiştir. Deprem yükleri rüzgar yüklerinden fazla olduğu için ABYYHY Madde 6.2.2.4 uyarınca, deprem yükleri ile rüzgar yüklerinin binaya aynı anda etkimediği varsayılacak ve her bir yapı

elemanının boyutlandırılmasında, deprem yada rüzgar etki için hesaplanan büyüklüklerin elverişsiz olanı göz önüne alınacaktır.

Tablo 4.3: Katlara etkiyen deprem yüklerinin tayini

Hi(m)	wi(kN)	wiHi	wiHi / ∑wiHi	Vt(kN)	Fi(kN)
3,25	2730,0	8872,5	0,07	1130,0	74,4
6,50	2730,0	17745,0	0,13	1130,0	148,8
9,75	2730,0	26617,5	0,20	1130,0	223,3
13,00	2730,0	35490,0	0,26	1130,0	297,7
16,25	2830,0	45987,5	0,34	1130,0	385,8
		+_____ 134712,5	+_____ 1,00		+_____ 1130,0

4.3 Taşıyıcı Sistemin TS 648 ve ABYYHY'e Göre Boyutlandırılması

4.3.1 Yük Durumları ve Kombinasyonlar

Deprem yüklerinin sistem üzerindeki etkisi, rüzgar yüklerinin sistem üzerindeki etkisinden daha fazla olduğu için rüzgar yüklemesi kombinasyonlarda ihmal edilmiştir. En elverişsiz tesirleri verecek kombinasyonlar aşağıda gösterilmiştir.

4.3.1.1 Yük Durumları

LOAD1: Taşıyıcı sistem zati ağırlığı (Sap2000 programında otomatik etkitildi.)

LOAD2: Sabit yükler

LOAD3: Hareketli yükler

LOAD4: +X Yönü deprem yüklemesi

LOAD5: -X Yönü deprem yüklemesi

LOAD6: +Y Yönü deprem yüklemesi

LOAD7: -Y Yönü deprem yüklemesi

4.3.1.2 Kombinasyonlar

G + Q = Zati yükler + Hareketli yükler

G + Q + Ex = Zati yükler + Hareketli yükler + X Deprem yüklemesi

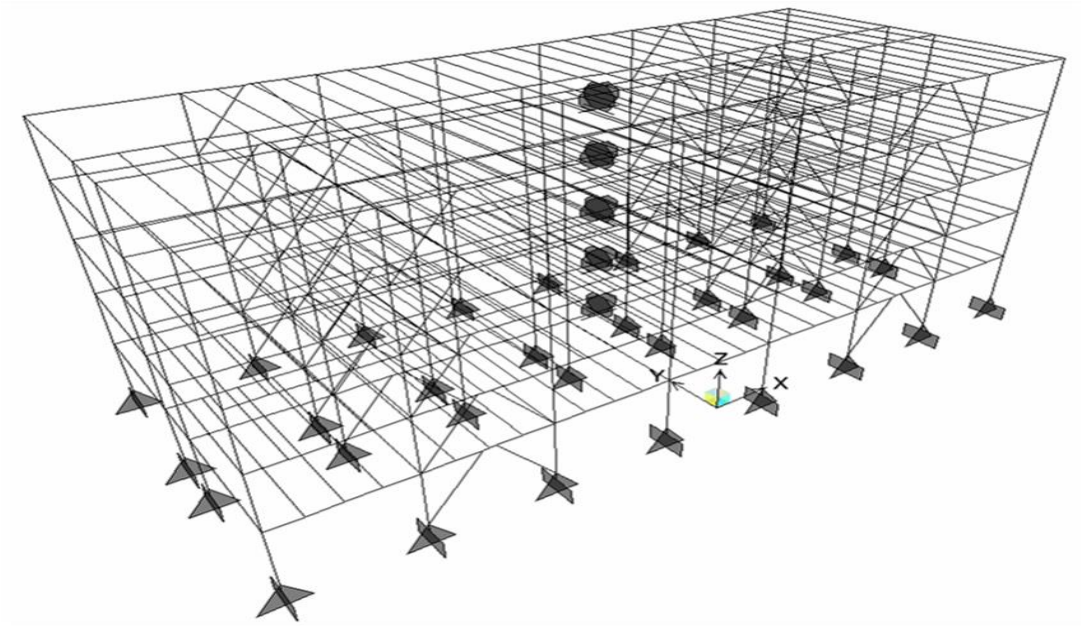
G + Q + -Ex = Zati yükler + Hareketli yükler + -X Deprem yüklemesi

G + Q + Ey = Zati yükler + Hareketli yükler + Y Deprem yüklemesi

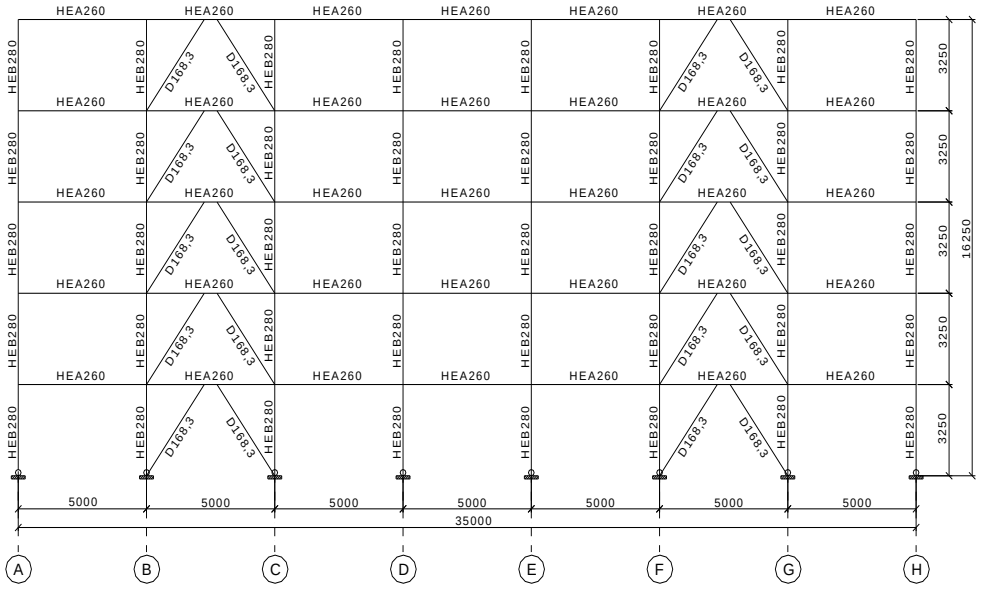
G + Q + -Ey = Zati yükler + Hareketli yükler + -Y Deprem yüklemesi

4.3.2 Sap 2000 Modeli

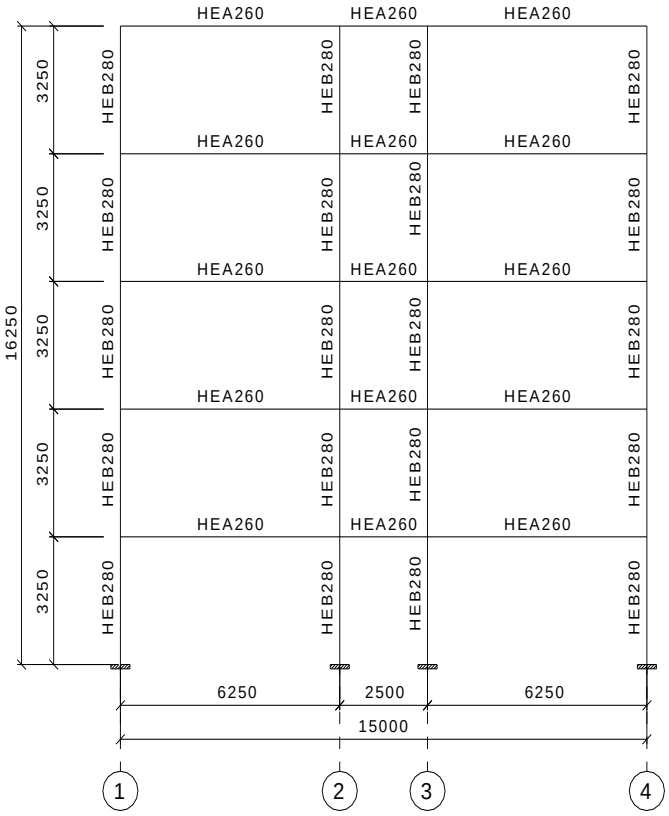
Taşıyıcı sistem statik modelinin oluşturulmasında Sap2000 programından faydalanılmıştır. Taşıyıcı sistem modeli sap2000 programının frame (çubuk) elemanları kullanılmak suretiyle modellenmiştir. Sap2000 programı çubuk elemanların çözümünü matris deplasman yöntemini kullanarak gerçekleştirmektedir.



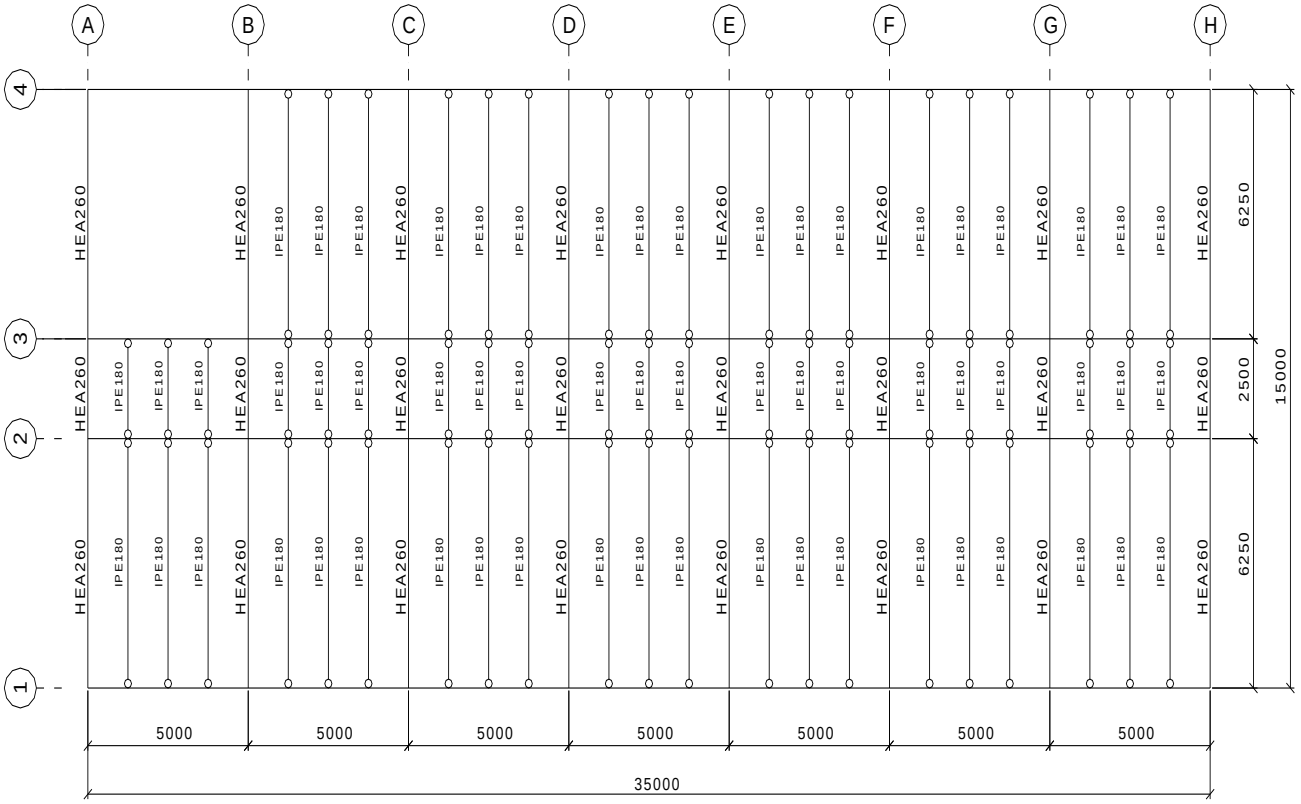
Şekil 4.1: Sap2000 3D statik sistem modeli



Şekil 4.2: Sap2000 statik sistem modeli boykesit görünüşü



Şekil 4.3: Sap2000 statik sistem modeli enkesit görünüşü



Şekil 4.4: Sap2000 statik sistem modeli tipik kat döşemesi plan görünüşü

4.3.3 Kullanılan Profillerin En Kesit Özellikleri

Sistemin dizaynında tüm kolon kesitlerinde HEB 280 profili kullanılmıştır. Tüm rijit ve basit bağlı kat kirişlerinde HEA 260 profili kullanılmıştır. Tüm tali kompozit kirişleri IPE 180 olarak dizayn edilmiştir. Düşey çaprazlarda ise 168,3 mm çapında t=4 mm et kalınlığında boru profiller kullanılmıştır. Döşeme betonu olarak 10cm kalınlığında BS-25 sınıfında beton plak kullanılmıştır. Kullanılan tüm profillerinin en kesit özellikleri Tablo 4.4'de verilmiştir. Burada;

h : Profil yüksekliğini, b : Profil başlık genişliğini,

t_w : Profil gövde kalınlığını, t_f : Profil başlık kalınlığını,

r : Profil boyun eğriliğini, A: Profil en kesit alanını,

d : Profil gövdesinin düz kısmının uzunluğunu, h_i : Profil başlıkları arası mesafeyi

I_x : Kuvvetli eksen atalet momentini, I_y : Zayıf eksen atalet momentini

W_x : Kuvvetli eksen elastik mukavemet momentini

W_y : Zayıf eksen elastik mukavemet momentini

$W_{pl,x}$: Kuvvetli eksen plastik mukavemet momentini

$W_{pl,y}$: Zayıf eksen plastik mukavemet momentini

i_x : Kuvvetli eksen atalet yarıçapını

i_y : Zayıf eksen atalet yarıçapını göstermektedir.

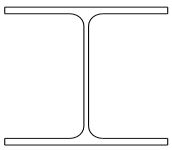
Tablo 4.4 : Kolon-kiriş-düşey çapraz profillerinin enkesit özellikleri

Profil Enkesiti	**h mm**	**b mm**	**tw mm**	**tf mm**	**r mm**	**A cm2**	**d mm**	**Ix cm4**	**Wx cm3**
IPE180	180	91	5,3	8,0	9	23,9	15,8	1320	146
HE 260-A	250	260	7,5	12,5	24	86,8	177	10450	836
D168,3	----	----	---	4,0	---	20,65	----	697	82,83
HE 280-B	280	280	10,5	18	24	131.4	196	19270	1376
Profil Enkesiti	**Wx,pl cm3**	**ix cm**	**Iy cm4**	**Wy cm3**	**Wy,pl cm3**	**iy cm**			
IPE180	---	7,43	101	22,2	----	2,05			
HE 260-A	---	10,97	3670	836	----	6,50			
D168,3	-----	5,81	697	82,83	-----	5,81			
HE 280-B	1534	12,11	6595	471	717.6	7,09			

4.3.4 Kolon Hesabı

Kolonlar TS 648 Madde 2.4 eksenel basınç ve eğilmeye çalışan çubuklar bölümü kurallarına uygun olarak boyutlandırılacaktır. Buna göre yapılacak kontroller;

Seçilen Kesit: HE 280 B

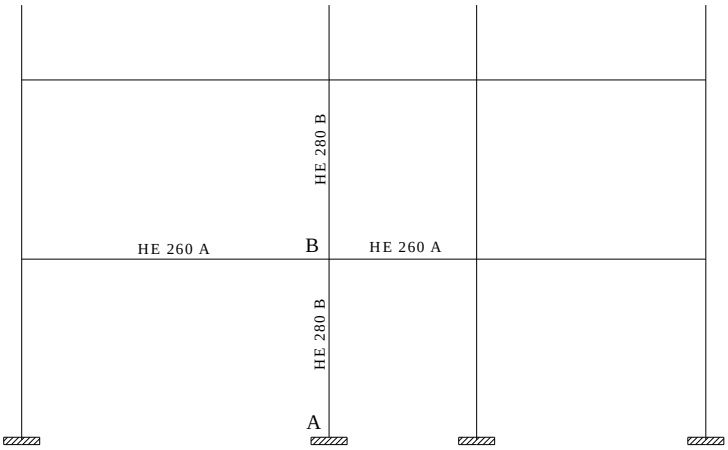


A= 131,40 cm^2	W_y= 471 cm^3	t_w = 1,05 cm
I_x =19270 cm^4	i_x = 12,12 cm^2	h_i = 24,4 cm
I_y =6595 cm^4	i_y = 7,09 cm^2	l_{kx} =325 cm
W_x=1376 cm^3	t_f = 1,80 cm	l_{ky} = 325 cm

Kesit Tesirleri HEQ Yüklemesi :

N = -940,0 kN ; M_x= -9000,0 kNcm ; Q =40 kN

Kolon çubuğu ötelenmesi önlenmemiş çerçeve gibi çalışmaktadır. Burkulma boyu redörleri TS 648 Çizelge-5' e göre



Şekil 4.5: Kolon burkulma boyu redörleri

G, burkulma boyu redörüdür. $G = \dfrac{\sum I_c / s_c}{\sum I_g / s_g}$ olarak hesaplanır. Burada; (4.8)

I_c = Göz önüne alınan noktaya rijit bağlı kolonların atalet momentini,

I_g = Göz önüne alınan noktaya rijit bağlı kirişlerin atalet momentini,

s_c= Göz önüne alınan noktaya rijit bağlı kolonların boyunu (cm)

s_g= Göz önüne alınan noktaya rijit bağlı kirişlerin boyunu (cm) göstermektedir.

K, burkulma boyunun tayini için kullanılan bir katsayıdır.

$$G_B = \frac{\frac{19270}{325} + \frac{19270}{325}}{\frac{10450}{625} + \frac{10450}{250}} = 2{,}02,\ G_A = 1{,}0 \text{ (temele rijit bağlantı)} \Rightarrow K=1{,}43$$ olarak

bulunmuştur. s_{kx} hesaplanan elemanın x-x ekseni burkulma boyu, l_{kx} elemanın x-x

ekseni doğrultusundaki boyu olup , s_{kx} = K×l_{kx} =1,43×325= 465 cm olarak bulunmuştur. s_{ky} hesaplanan elemanın y-y ekseni burkulma boyu, l_{ky} elemanın y-y ekseni doğrultusundaki boyu olup , s_{ky} = K×l_{ky} =1,00×325= 325 cm olarak bulunmuştur.

$$\lambda_x = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{465}{12,12} = 38,36 \Rightarrow \omega_x = 1,15$$

$$\lambda_y = \frac{s_{ky}}{i_{xy}} = \frac{325}{7,09} = 45 \Rightarrow \text{y-y ekseni için burkulma katsayısı } \omega_y = 1,21 \text{ bulunmuştur.}$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = \frac{94,00}{131,40} = 7,17 \text{ kN/cm}^2 \; ; \; \sigma_{bem} = \frac{\sigma_{Hem}}{\omega_x} = \frac{14,4}{1,15} = 12,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{7,17}{12,5} = 0,57 \text{ kN/cm}^2 \geq 0,15 \text{ !!!}$$

I_{yb}, En kesitte basınç başlığı olarak çalışan kısmın atalet momenti

i_{yb}, En kesitte basınç başlığı olarak çalışan kısmın atalet yarıçapı

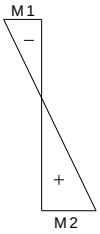
λ_{yb}, En kesitte basınç başlığı olarak çalışan kısmın narinliği

A_{yb}, En kesitte basınç başlığı olarak çalışan kısmın en kesit alanı olmak üzere;

$$I_{yb} = \frac{I_y}{2} = \frac{6595}{2} = 3297,5 \text{ cm}^4 \; , \; A_{yb} = 28 \times 1,8 + \frac{1}{3} \times 1,05 \times 24,4 = 58,94 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{3297,5}{58,94}} = 7,48 \text{ cm} \Rightarrow \quad \lambda_{yb} = \frac{s_{ky}}{i_{yb}} = \frac{325}{7,48} = 43,50$$

C_b= Kesitteki eğilme momenti diyagramına bağlı bir katsayı olup;



$$C_b = 1,75 + 1,05\left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0,3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \qquad (4.9)$$

M_1=3400 kNcm, M_2=9000 kNcm, denklem 4.9'a göre

$$C_b = 1,75 + 1,05\left(\frac{3400}{9000}\right) + 0,3\left(\frac{3400}{9000}\right)^2 = 2,20 < 2,30$$

Şekil 4.6: Kolon moment değerleri

$$\lambda_{yb} = 43,50 \leq \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times C_b}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times 2,20}{2400}} = 165 \text{ Denklem 2.77 uyarınca ;}$$

$$\sigma_{BX} = \left(\frac{2}{3} - \frac{2400 \times 43,50^2}{9 \times 10^7 \times 2,20}\right) \times 24000 = 15,44 \text{ kN/cm}^2 > 14,4 \times 1,33 = 19,2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{BX} = \frac{84 \times 10^4 \times 2.20}{325 \times (28/58,94)} = 119,69 \text{ kN/cm}^2 > 19,2 \text{ kN/cm}^2$$

σ_{Bx}=14,4 kN/cm^2 bulundu. $\sigma_e = \frac{829 \times 10^4}{38,36^2} = 56,3 \text{ kN/cm}^2$; $\sigma_{bx} = \frac{9000}{1376} = 6,4 \text{ kN/cm}^2$

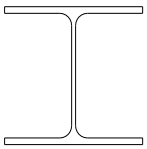
Kontroller; $\frac{7,17}{12,5 \times 13,3} + \frac{0,85 \times 6,4}{\left(1 - \frac{0,57}{5,63}\right) \times 19,2} = 0,431+0,315=0,75 \leq 1,0$

$$\frac{7,17}{0,6 \times 24 \times 1,33} + \frac{6,4}{19,2} = 0,70 \leq 1,0$$

ABYYHY Madde 8.3.1 en kesit koşulu kontrolü; HE 280 B kolon profilinin başlıklarında yerel burkulma oluşmaması için. $b/t_f = 280/18 = 15,55 < 17$ (TS 4561 Madde 2.5.4.1) Eğilme momenti ve eksenel basınç kuvvetine maruz gövde elemanlarında yerel burkulma meydana gelmemesi için $h_i/t_w = 244/10,5 = 23,23 < 44$ (TS 4561 Madde 2.5.4.2)

4.3.5 Çerçeve Kirişi Hesabı

Çerçeve kirişlerinin üst başlıkları kalıp olarak kullanılan trapezoidal levhaya kayma rijitlikli olarak tespit edildiği için pozitif moment bölgesinde basınç başlıkları yanal deplasmana karşı tutulmuştur. Negatif moment bölgesinde ise kiriş alt başlıklarının yanal burkulma boyu döşeme kirişleri arasındaki mesafe olan 125 cm olarak alınmıştır. Seçilen Kesit: HE 260 A



A= 86,82 cm^2	W_y= 282,1 cm^3	t_w = 0,75 cm
I_x =10450 cm^4	i_x = 10,97 cm^2	h_i = 22,5 cm
I_y =3668 cm^4	i_y = 6,50 cm^2	l_{kx} =250 cm
W_x=836,4 cm^3	t_f = 1,25 cm	l_{ky} = 250 cm

Kesit Tesirleri HEQ Yüklemesi:

N = -100 kN ; M_x= -8600,0 kNcm ; Q =80,0 kN

$$\lambda_x = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{250}{10,97} = 22,00 \Rightarrow \omega_x = 1,03$$

$\lambda_y = \frac{s_{ky}}{i_{xy}} = \frac{250}{6,50}$ = 38 y-y ekseni için burkulma katsayısı ω_y = 1,15 bulunmuştur.

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = \frac{100,0}{86,82} = 1,1 \text{ kN/cm}^2 ; \quad \sigma_{bem} = \frac{\sigma_{Hem}}{\omega_x} = \frac{14,4}{1,03} = 13,9 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{1,1}{13,9} = 0,07 \text{ kN/cm}^2 < 0,15$$

$I_{yb} = \frac{I_y}{2} = \frac{3668}{2} = 1834 \text{ cm}^4$, $A_{yb} = 26 \times 1,25 + \frac{1}{3} \times 0,75 \times 22,5 = 38,125 \text{ cm}^2$

$i_{yb} = \sqrt{\frac{1834}{38,125}} = 6,93 \text{ cm} \Rightarrow \quad \lambda_{yb} = \frac{s_{ky}}{i_{yb}} = \frac{250}{6,93} = 36,07$

$C_b = 1,75 + 1,05\left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0,3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2$; M_1=8600 kNcm, M_2=8600 kNcm,

$C_b = 1,75 + 1,05\left(\frac{8600}{8600}\right) + 0,3\left(\frac{8600}{8600}\right)^2 = 1,75$ bulundu. <2,30

$\lambda_{yb} = 36,07 \le \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times C_b}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times 1,75}{2400}} = 147$

$\sigma_{BX} = \left(\frac{2}{3} - \frac{2400 \times 36,07^2}{9 \times 10^7 \times 1,75}\right) \times 2400 = 15,52 \text{ kN/cm}^2 > 0,6 \times 24000 \times 1,33 = 19,1 \text{ kN/cm}^2$

$\sigma_{BX} = \frac{84 \times 10^4 \times 1,75}{250 \times \frac{28}{38,125}} = 800,6 \text{ kN/cm}^2 > 0,6 \times 24000 \times 1,33 = 19,2 \text{ kN/cm}^2$

σ_{Bx}=14,4 kN/cm^2 olarak , $\sigma_{bx} = \frac{8600}{836,4} = 10,2$ kN/cm^2 olarak bulundu.

Kontroller; $\frac{1,1}{0,6 \times 24 \times 1,33} + \frac{10,2}{19,2} = 0,60 \le 1,0$

Kiriş gövdesinde kıyaslama gerilmesi kontrolü ;

$\tau = \frac{Q}{A_g} = \frac{80}{22,5 \times 0,75} = 4,7 \text{ kN/cm}^2$

$\sigma_g = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{100}{86,82} + \frac{8600}{10450} . \frac{22,5}{2} = 10,4 \text{ kN/cm}^2$

$\sigma_v = \sqrt{3\tau^2 + \sigma_g^2} = \sqrt{3 \times 4,7^2 + 10,4^2} = 13,2 \text{ kN/cm}^2 < 19,2 \text{ kN/cm}^2$

Deprem yüklerinin büyüklüğü nedeniyle kirişler oldukça rijit seçildiğinden, düşey yüklerden meydana gelen kiriş sehimleri çok küçük mertebelerde hesaplanmıştır.

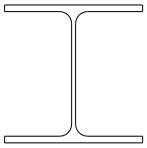
ABYYHY Madde 8.3.1 en kesit koşulu kontrolü; HE 260 A kiriş profilinin başlıklarında yerel burkulma oluşmaması koşulu sağlanmamaktadır. $b/t_f = 260/12,5 = 20,8 > 17$!!! (TS 4561 Madde 2.5.4.1) Ancak TS 4561 Madde

2.5.4.1'de verilen (2.56) bağıntısı aynı zamanda E_s gerilme pekleşme modülüne bağlıdır. Pekleşme modülü değerindeki değişme b/t_f sınır oranını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle b/t_f oranındaki aşma miktarının kabul edilebilir mertebede olduğu düşünülebilir. Eğilme momenti ve eksenel basınç kuvvetine maruz gövde elemanlarında yerel burkulma meydana gelmemesi için $h_i/t_w = 225/7{,}5 = 30 < 44$ (TS 4561 Madde 2.5.4.2)

4.3.6 Döşeme Kirişleri ve Tali Kirişlerin Hesabı

Basit çalışan döşeme kirişleri eğilme etkisi altında bulunan dolu gövdeli kirişler olarak dizayn edilecektir. Kompozit döşeme kirişlerini taşıyan ve düşey çaprazların bağlandığı kirişler olan, döşeme kirişleri basit kiriş olarak tasarlanacaktır.

Seçilen Kesit: HE 260 A



$A= 86{,}82\ cm^2$	$W_y= 282{,}1\ cm^3$	$t_w = 0{,}75\ cm$
$I_x =10450\ cm^4$	$i_x = 10{,}97\ cm^2$	$h_i = 22{,}5\ cm$
$I_y =3668\ cm^4$	$i_y = 6{,}50\ cm^2$	$l_{kx} =250\ cm$
$W_x=836{,}4\ cm^3$	$t_f = 1{,}25\ cm$	$l_{ky} = 250\ cm$

Kesit Tesirleri H Yüklemesi:

M_x= -9800,0 kN.cm ; Q =60,0 kN

a) Eğilme gerilmesi: Kesitte oluşacak olan eğilme gerilmeleri kesitin mukavemet momenti (W_x) tarafından karşılanacaktır. Buna göre Denklem 2.75'e göre ;

$$\sigma_{Hem}=\frac{M_x}{W_x}=\frac{9800}{836{,}4}=11{,}7\ kN/cm^2 < 14{,}4\ kN/cm^2$$

b) Makaslama gerilmesi: Kesitte oluşacak olan makaslama gerilmeleri kesitin gövde alanı ($t_w \times h_i$) tarafından karşılanacaktır. Buna göre ;

$$\tau_{Hem}=\frac{Q}{t_i \times h_i}=\frac{60{,}0}{0{,}75 \times 22{,}5}=3{,}5 kN/cm^2 < \frac{14{,}4}{\sqrt{3}}=8{,}31\ kN/cm^2 \qquad (4.10)$$

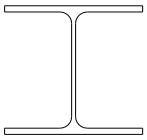
Kesitte, kontrole değer büyüklükte bir eğilme etkisiyle beraber birde kayma etkisi bulunuyorsa kıyaslama gerilmesi kontrolü yapılmalıdır. Buna göre ;

$$\sigma_{VHem}=\sqrt{\sigma^2+3\times\tau^2}=\sqrt{11{,}7^2+3\times 3{,}5^2}=13{,}1 kN/cm^2 < 18{,}0 kN/cm^2 \qquad (4.11)$$

Sehim hesabı: $f=\frac{5}{48}\times\frac{M\times l^2}{E\times I}$ (4.12)

$$f=\frac{5}{48}\times\frac{980\times 500^2}{2100\times 10450}=1{,}16\ cm = \frac{l}{430} < \frac{l}{300}=\frac{500}{300}=1{,}67 cm$$

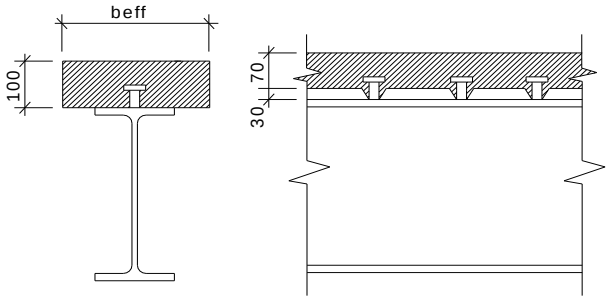
Tali kirişler kompozit kiriş olarak dizayn edilecektir. Betonarme döşeme plaklarıyla çelik döşeme kirişlerinin ortak çalıştırılmasıyla ortaya çıkan kompozit kirişler, üzerine serbestçe oturan bir betonarme plağı yalnız başlarına taşımaya çalışan çelik kirişlere göre çok ekonomiktir. Çünkü bir kompozit (karma) kirişte, eğilmeden ileri gelen kuvvet çiftinin çekme bileşeni çelik profilce, basınç bileşeni ise yalnız betonarme plakça, yada betonarme plak ve çelik profilin bir bölümünce ortak olarak taşınmaktadır. Betonarme tablanın bir ölü yük olmaktan çıkıp basınç bileşenini taşıyan yararlı bir elemana dönüşmesinin yanı sıra, böyle bir ortak çalışmada kuvvet çiftinin z manivela kolunun da büyümesi ikinci bir ekonomik etken oluşturmaktadır.
Kesit hesapları; Seçilen Kesit: IPE 180



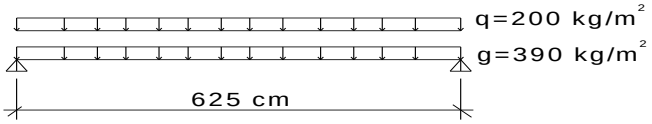
$A= 18{,}80\ cm^2$ $t_f = 0{,}8\ cm$

$I_x = 1317\ cm^4$ $b = 91\ mm$

$I_y = 100{,}9\ cm^4$ $W_x = 146{,}3\ cm^3$



Şekil 4.7: Kompozit döşeme kesit görünüşleri



$g = 390\ kg/m^2$ (bkz. yükler)

$q = 200\ kg/m^2$ (bkz. yükler)

$l_m = 625\ cm$ (kiriş mesnet açıklığı)

$l_x = 125\ cm$ (yük etki aralığı)

Şekil 4.8: Kompozit döşeme statik sistemi

$q_u = (g+q) \times l_x = (390+200) \times 1{,}25 = 737{,}5\ kg/m = 7{,}375\ kN/m$

$$M_u = = \frac{q_u \times 1{,}7 \times l_m^{\,2}}{8} = \frac{7{,}375 \times 1{,}7 \times 6{,}25^{\,2}}{8} = 61{,}0\ kN.m$$ (Dizayn için kullanılacak.)

$$M_{u1} = = \frac{q_u \times l_m^{\,2}}{8} = \frac{7{,}375 \times 6{,}25^{\,2}}{8} = 36{,}0\ kN.m$$ (Sehim hesabı için kullanılacak.)

$$b_{eff} \le \begin{cases} l_x \\ l/4 \\ 16d + b_{ao} \end{cases} \le \begin{cases} 125\ cm \\ 625/4 = 156\ cm \\ 16 \times 10 + 9,1 = 169,1\ cm \end{cases} \Rightarrow b_{eff} = 125cm \text{ seçilmiştir.} \quad (4.13)$$

$Z = \alpha_a \times \sigma_f \times F_a$ =0,94×2,4×18,8=424,1 kN. Tarafsız eksenin yeri ; (4.14)

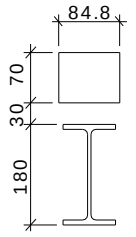
$$y = \frac{Z}{\alpha_b \times \sigma_{br} \times b_{eff}} = \frac{42,41}{0,74 \times 0,25 \times 125} = 1,85cm$$ < 7 cm olduğundan tarafsız eksen beton basınç bölgesinde kalmaktadır. (4.15)

$$M_{pl} = Z \times e = Z \times (\frac{h}{2} + d - \frac{y}{2}) = 42,41 \times (\frac{18}{2} + 10 - \frac{1,25}{2}) = 77,9\ kN.m \quad (4.16)$$

M_{pl} =77,9 kN.m > M_u=61,0 kN.m

Sehim Hesabı: Uzun süreli yük etkisi altında betonun zamana bağlı deformasyonlarını göz önüne almak ve İngiliz yönetmeliğine göre karma kesit için tekbir atalet momenti ile hesap yapmak için, beton kesit 2n'e bölünmüştür.

$$n = \frac{E_s}{E_b} = \frac{2100}{2850} = 7,37 \rightarrow 2n = 14,74 \qquad b^* = \frac{b_{eff}}{2n} = \frac{125}{14,74} = 8,48\ cm \quad (4.17)$$



I_x=5658 cm^4

y=2,04 cm

$$f = \frac{5}{48} \times \frac{M \times l^2}{E \times I}$$

Şekil 4.9: Kompozit döşeme statik en kesiti

$$f = \frac{5}{48} . \frac{360.625^2}{2100.5658} = 1,23\ cm = \frac{l}{528} < \frac{l}{300} = \frac{625}{300} = 2,08cm$$

Kayma Bağlantıları: Bulon kama 5/8" d_1=15,87 mm, h/d_1=3,0 → α=0,85

$$maxDs \le \begin{cases} 0,85 \times 0,25 \times 1,587 \sqrt{2850 \times 2,5} = 45,26ton \\ 0,55 \times 15,87^2 \times 240 = 33,25kN \end{cases} \rightarrow Ds = 33,25kN \quad (4.18)$$

D_b =1,13×125×12,5=176 kN → $n_{pl} = \frac{D_s}{D_b} = \frac{176}{33,25} = 5,29$

$gern = 5,29 \times \frac{3,91}{4,76} = 4,34 \rightarrow 5 < 5,29$

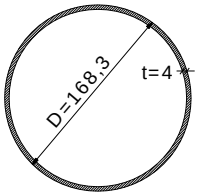
$Q = \frac{q_u \times l}{2} = \frac{7,375 \times 6,25}{2} = 23,0kN$ F_1=29,325 kN, F_2=9,775 kN

$n_1 = 5 \times \frac{2,9325}{3,91} = 3,75$ 3 kama → 3 kama / 20 cm

n_2=2 kama → 2 kama / 20 cm olarak seçilmiştir.

4.3.7 Düşey Stabilite Bağlantılarının Boyutlandırılması

ABYYHY'e göre süneklik düzeyi yüksek çelik çaprazlı perdelerde, örgü çubuklarının kiriş üzerindeki ortak birleşim noktasına göre dışmerkezliği perde kolonları arasındaki açıklığın 1/5 ~ 1/10'u arasında seçilecektir. Dışmerkez örgü çubuklarının kirişle birleşme noktalarında, kirişin yanal burkulmasının ve ayrıca yerel burkulmaların önlenmesi için gerekli önlemler alınacaktır. Basınç kuvveti de alacak şekilde hesaplanacak olan örgü çubuklarının narinlik oranı 100'den fazla olmayacaktır. Seçilen Kesit :



$A = 20{,}65\ cm^2$

$i_x = 5{,}81\ cm^2$ $l_{kx} = 400\ cm$

$i_y = 5{,}81\ cm^2$ $l_{ky} = 400\ cm$

Kesit Tesirleri HEQ Yüklemesi:

N = -180,0 kN

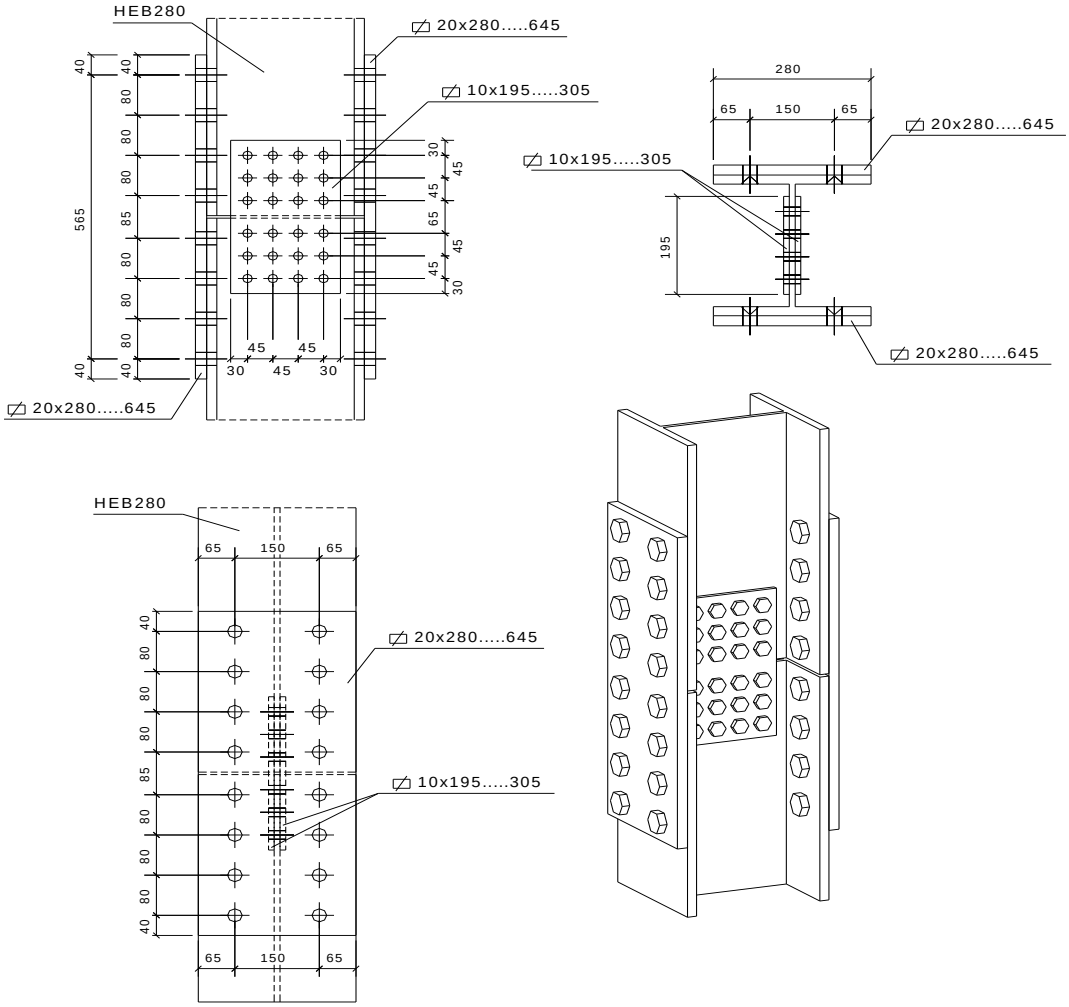
$\lambda_x = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{400}{5{,}81} = 68 < 100$; $\lambda_y = \frac{s_{ky}}{i_{xy}} = \frac{400}{5{,}81} = 68 < 100 \Rightarrow \omega = 1{,}45$ bulunmuştur.

$\sigma = \omega \frac{N}{A} = 1{,}45 \frac{180{,}0}{20{,}65} = 12{,}5\ kN/cm^2 < 19{,}1\ kN/cm^2$ seçilen kesit yeterlidir.

4.3.8 Birleşim ve Detay Hesapları

4.3.8.1 Kolon Eki Hesabı

Kolon eki için uygulanacak olan ekin teşkilinde, gövde levhası için iki, başlık levhaları içinde birer tane olmak üzere toplam dört tane ek levhası kullanılacaktır. Başlık ve gövde bulonlarına etkiyen tesirler belirlendikten sonra, ekin bir tarafı için gerekli olan bulon adetleri saptanmış olur. Bulunan adetler daima bir üstteki çift sayıya yuvarlanmalıdır. Birleşimlerin yük aktarma gücü, hiçbir zaman birleşime bağlanan elemanın kendi taşıma gücünden daha az olamaz. Birleşim eğilme aktaran kolon eki olarak tasarlanacaktır. Birleşim elemanı olarak öngermeli yüksek mukavemetli bulon (DIN 6914 10.9 GV) kullanılacaktır.



Şekil 4.10: Kolon ek detayı

Tesirler: $M=14,4\times W_x=14,4\times1376=19800$ kN.cm; $Q=50$ kN

Levha tasarımı: Başlık levhaları profil başlığına yakın boyutlarda, fakat en kesit alanı olarak başlık en kesit alanından daha fazla olacak şekilde seçilecektir. Buna göre;

$t_b=20$ mm seçilmiştir. $A_{b,ek}=2\times28=56$ cm^2 > $A_{b,pr}=1,8\times28=50,4$ cm^2

Gövde levhaları profil gövde kalınlığına yakın boyutlarda, fakat en kesit alanı olarak gövde kesit alanından daha fazla olacak şekilde seçilecektir. Ayrıca seçilecek gövde levhası kalınlığı $t_g\geq0,8\times t_w$ koşulunu sağlayacaktır. Buna göre;

$t_g=10$ mm seçilmiştir. $A_{g,ek}=2\times1\times19,5=39$ cm^2 > $A_{b,pr}=24,4\times1,05=25,62$ cm^2

Tesirlerin Dağılımı:

$$I_{b,ek} = 2\times2\times20\times\left(\frac{30}{2}\right)^2 = 18000\text{cm}^4,\ I_{g,ek} = \frac{2\times1\times19,5^3}{12} = 1235\text{cm}^4$$

$$I_{ek} = I_{b,ek} + I_{g,ek} = 18000 + 1235 = 19235\text{cm}^4$$

$$M_b = M\times\frac{I_{b,ek}}{I_{ek}} = 19800\times\frac{18000}{19235} = 18520\ \text{kN.cm}$$

$$M_g = M \times \frac{I_{g,ek}}{I_{ek}} = 19800 \times \frac{1235}{19235} = 1280 \text{ kN.cm}$$

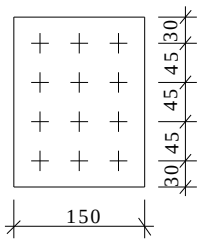
Başlık Bulonları Dizaynı: Bir bulona gelen kesme kuvveti,

$$N_b = \frac{M_b}{h} = \frac{18520}{30} = 617 \text{ kN}$$

Bir bulonun emniyetle taşıyacağı kesme kuvveti, $P_{1,em} = \frac{\mu \times N_0}{\gamma} = \frac{0,50 \times 220}{1,25} = 88\text{kN}$

$n_b = \frac{617}{88} = 7,02 \Rightarrow n_b$=8 adet M24 DIN 6914 10.9 öngermeli bulon seçilmiştir.

Gövde Bulonları Dizaynı:



$$M_{g'} = M_g + c \times Q = 1280 + 7,5 \times 50 = 1650 \text{ kN.cm}$$

$$\sum r_i^2 = 6.(4,5^2 + 2,25^2 + 4,5^2 + 6,75^2) = 546\text{cm}^2$$

$$M_{1x} = 1650 \times \frac{6,75}{546} = 20,3\text{kN} \quad , \quad M_{1y} = 1650 \frac{4,5}{546} = 13,5\text{kN}$$

Şekil 4.11: Kolon eki gövde bulon dağılımı

$$N_{1y} = \frac{Q}{n_b} = \frac{50}{12} = 4,2\text{kN}$$

$$P = \sqrt{(N_{1y} + M_{1y})^2 + M_{1x}^2} = \sqrt{(4,2 + 13,5)^2 + 20,3^2} = 27,0\text{ton}$$

Bir bulonun emniyetle taşıyacağı kesme kuvveti, $P_{1,em} = \frac{\mu \times N_0}{\gamma} = \frac{0,50 \times 100}{1,25} = 40\text{kN}$

n_b=12 adet M16 DIN 6914 10.9 öngermeli bulon seçilmiştir.

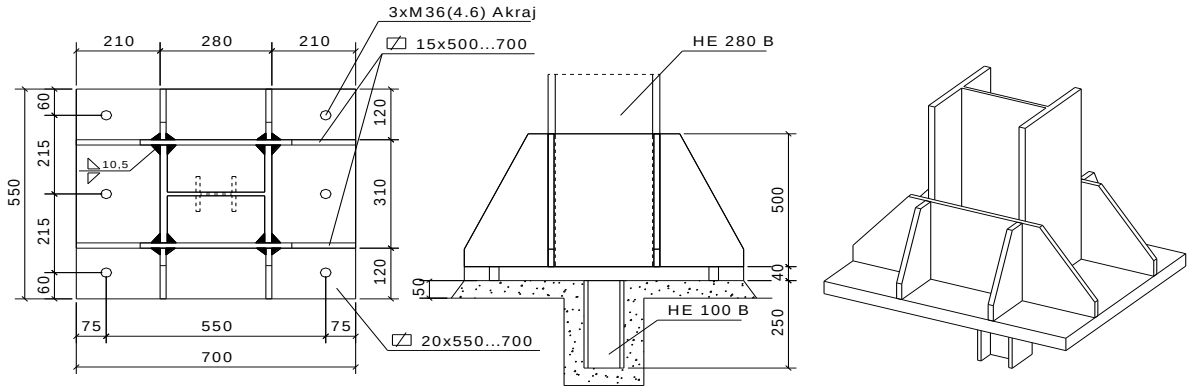
Sanal Ezilme Kontrolü:

$$\sigma_l = \frac{27,0}{1,6 \times 1,0} = 16,8\text{kN/cm}^2 < 48\text{kN/cm}^2$$

4.3.8.2 Ankastre Kolon Ayağı Hesabı

Düşey kuvvet (N), yatay kuvvet(H) ve moment(M) etkilerinin güvenli bir şekilde aktarılması amacıyla uygulamada çok sık rastlanan ayak tipi kullanılacaktır.Burada düşey kuvvet ile moment düşey kaynak kordonlarıyla guse levhalarına, oradan da yatay dikişleriyle taban levhasına, yatay kuvvet ise kolon profili gövdesini taban levhasına bağlayan dikişler aracılığıyla doğrudan bu levhaya aktarılır. Bu kuvvetlerin taban levhasından temel bloğuna geçmesinde, çekme etkileri için ankraj bulonlarının,

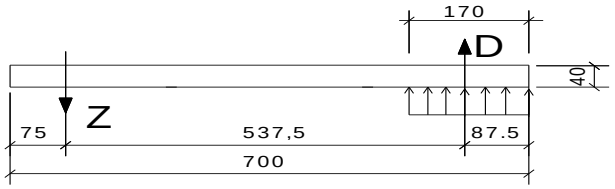
basınç etkileri için de, taban levhasının moment düzlemine paralel boyutunun ¼ uzunluğunun görev yaptığı varsayılır.



Şekil 4.12: Ankastre kolon ayağı detayı

Tesirler: M=9000 kN.cm ; N=900 kN ; Q=40 kN

Maximum basınç ve çekme kuvvetleri:



Şekil 4.13: Taban plakası çekme basınç kuvvetleri

$$D = \frac{9000 + 900 \times 30}{53,75} = 669,0\text{kN(Ba sınç} \quad Z = \frac{9000 - 900 \times 26,25}{53,75} = 272,0\text{kN(Çe kme)}$$

Beton basınç gerilmesi kontrolü:

$$P_{bet} = \frac{66,90}{55 \times (70 / 4)} = 69,5\text{kg/cm}^2 < 70.1,33 = 93,1\text{kg/cm}^2$$

Ankraj bulonlarının tahkiki: M24 için $F_z = \frac{\pi \times (0,86 \times 3,6)^2}{4} = 7,45\text{cm}^2$

$$\sigma_z = \frac{272,0}{3 \times 7,45} = 12,1 \text{ kN/cm}^2 < 11,2 \times 1,33 = 14,8 \text{ kN/cm}^2$$ Seçilen 3xM36(4.6) Ankraj

Taban Levhasının Kalınlığı: $M_1 = 69,5 \times \frac{12,0^2}{2} = 50,0\text{kN.cm}$

$$M_2 = 66{,}3 \times \frac{55}{2} \times \left(\frac{55}{4} - 12 \right) = 3{,}2 \text{kN.cm} \quad \rightarrow \text{M=50 kN.cm} \quad W = \frac{1 \times 4^2}{6} = 2{,}67 \text{cm}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{50{,}0}{2{,}67} = 18{,}7 \text{ kN/cm}^2 \leq 19{,}2 \text{ kN/cm}^2$$ Seçilen t=40 mm

Guse levhasını profil başlığına bağlayan kaynaklarda:

$$N = \frac{900}{4} + \frac{1}{2} \times \frac{9000}{28 - 1{,}8} = 396{,}7 \text{ kN}$$ a=15×0,7=10,5 mm seçilmiştir.

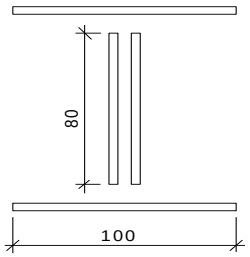
$$\tau_k = \frac{396{,}7}{1{,}05 \times (50 - 2 \times 1{,}05)} = 7{,}8 \text{ kN/cm}^2 < 12{,}5 \times 0{,}75 = 9{,}3 \text{ kN/cm}^2$$

Kama Elemanı Tahkiki: $p' = \frac{4000}{20 \times 10} = 20 \text{kg/cm}^2 < 70 \times 1{,}33 \text{kg/cm}^2$

$$M = \frac{200 \times 20^2}{2} \times 10 = 400 \text{ kN.cm}$$ Wx(HEB100)=90 cm^3

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{400}{90} = 4{,}4 \text{ kN/cm}^2 \leq 19{,}2 \text{ kN/cm}^2$$ Seçilen Kama Elemanı HEB100

Kamayı taban plakasına bağlayan kaynaklarda:



Şekil 4.14: Kayma kaması kaynak kesiti

a=4 mm seçilmiştir. W_k=46,4 cm^3

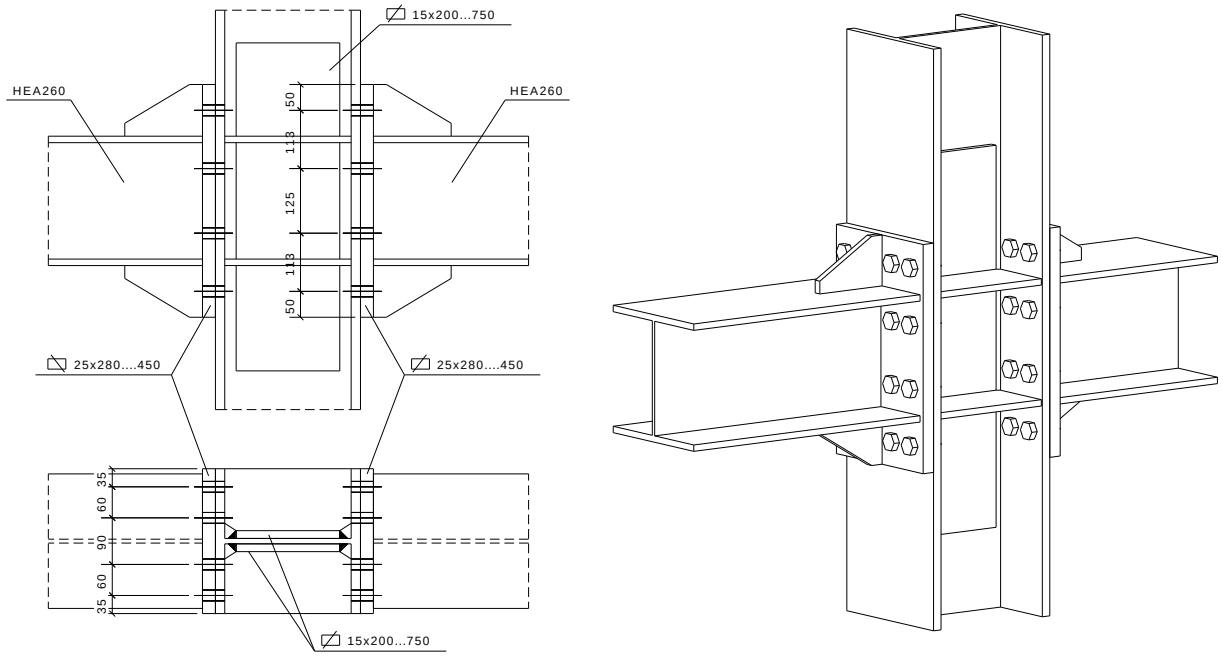
M=4×75=300 kN.cm

$$\tau_k = \frac{300}{46{,}4} = 6{,}4 \text{ kN/cm}^2 < 12{,}5 \times 0{,}75 = 9{,}3 \text{ kN/cm}^2$$

4.3.8.3 Rijit Kolon-Kiriş Birleşim Hesabı

Kolon ve kirişlerlerden oluşan taşıyıcı sistemlerde, kolon-kiriş birleşimleri rijit yani moment aktaracak şekilde dizayn edilerek çerçeve çalışması sağlanmış olur. Taşıyıcı sistem bu rijit birleşim bölgeleri vasıtasıyla yatay yüklere karşı koyma gücüne sahip olmaktadır. Bulonlu çerçeve köşelerinde, etkilerin tamamı, kirişten kolona, bulonlar vasıtasıyla aktarıldığından yeterli sayıda bulona gereksinim vardır. Bu tarz birleşimlerde bulon adedi haricinde dikkat edilmesi gereken hususlar, alın levhasının kalınlığının kontrolü ve kolon kiriş birleşiminin teşkil edildiği düğüm noktasında bulunan kolon gövdesinin kayma dayanımıdır. Kiriş başlıklarından etkiyen çekme basınç kuvvetlerinden dolayı büyük kayma kuvvetlerine maruz kalan bu bölgeye panel bölgesi denmektedir. Bu bölgede herhangi bir sebepten dolayı burkulma, yerel buruşma ve yırtılma olaylarının oluşmasını önlemek amacıyla önlemler alınmalıdır.

Bu bölge muhakkak tahkik edilmeli, gerektiğinde uygun detaylar vasıtasıyla takviye edilmelidir. ABYYHY Madde 8.3.4.4'e göre, öngermeli yüksek mukavemetli bulonlar kullanılarak oluşturulan kolon-kiriş birleşimlerinde birleşimlerin yük aktarma gücü, hiçbir zaman birleşime bağlanan elemanın kendi taşıma gücünden daha az olamaz. Birleşim eğilme aktaran kolon-kiriş birleşimi olarak tasarlanacaktır.



Şekil 4.15: Rijit kolon-kiriş birleşim detayı

Tesirler: $M_d=1,33\times14,4\times W_x=1,33\times14,4\times836,4=16010$ kN.cm ; Q=75 kN

Kesitte kullanılacak hesap momenti kuvvet çiftine ayrılırsa bulon grubuna etkiyen çekme basınç kuvvetleri bulunur. Çekme kuvvetleri bulonların boyutlandırılmasında referans alınacak etkidir. Basınç bulonlarının ise kesitte oluşan kesme kuvvetini aktardığı kabul edilmiştir. Buna göre oluşan çekme kuvveti;

$$Z_{max} = \frac{M_d}{h} = \frac{16010}{25 - 1,25} = 674,5 \text{ kN}$$ olarak elde edilmiştir.

Bir öngermeli bulona ekseni doğrultusunda gelebilecek ilave çekme emniyet kuvveti $Z_{em}=0,8.P_v$. P_v öngerme kuvveti olup M20 bulon için 16 ton dur. Buna göre çekme kuvvetinin etkisi altındaki bölgede 8 adet M20 bulon kullanılmıştır.

$Z_{em}=0,8\times8\times160=1024$ kN > 674,5 kN $\rightarrow$ 8 adet M20 DIN 6914 10.9 öngermeli bulon seçilmiştir.Kesme kuvveti basınç bölgesindeki 8 adet bulonla aktarılacaktır.

Bir bulonun emniyetle taşıyacağı kesme kuvveti, $P_{1,em} = \frac{\mu \times N_0}{\gamma} = \frac{0,50 \times 160}{1,25} = 64\text{kN}$

8×64=512 kN> 75 kN → 8 adet M20 DIN 6914 10.9 öngermeli bulon seçilmiştir.

Kolon başlığında makaslama kontrolü:

$$\tau = \frac{Z_{max}/2}{b \times t_f} = \frac{674,5/2}{28 \times 1,8} = 6,9 \text{ kN/cm}^2 < 1,33 \times 8,31 = 11,05 \text{ kN/cm}^2$$

Kolon gövdesinde makaslama kontrolü:

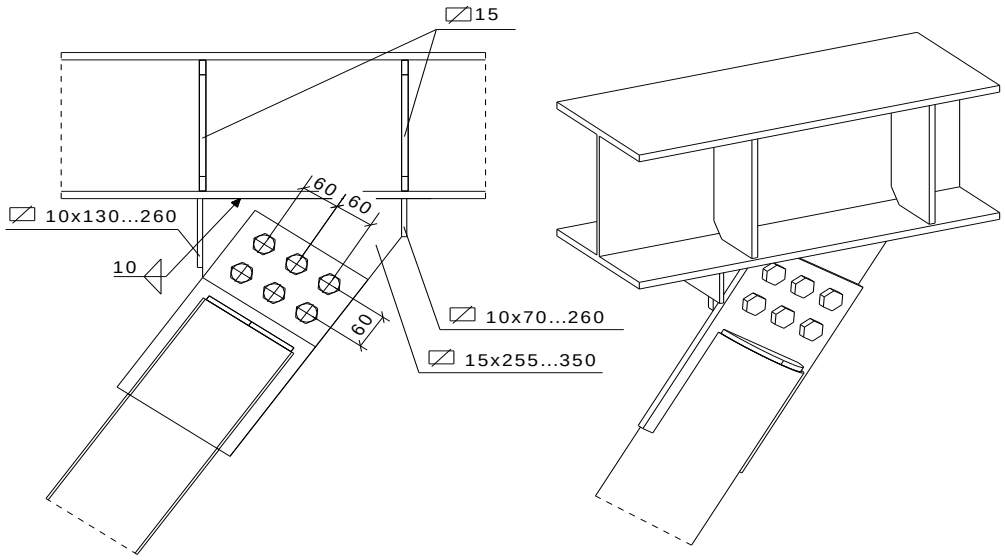
Oluşan kayma kuvveti; $V = \frac{7650}{23,75} + \frac{8600}{23,75} - 75 = 609,2 \text{ kN}$

$\tau = \frac{609,2}{24,4 \times 1,05} = 23,7 \text{ kN/cm}^2 > 11,05 \text{ kN/cm}^2$ olduğundan çerçeve köşesi kolon gövdesi kalınlığı yetersiz kalmaktadır. Gövdeye iki taraftan levhalar kaynatılarak gövdenin kayma dayanımı artırılacaktır. Kolon gövdesine her iki tarafta 15mm lik plakalar kaynatılacaktır. Bu durumda tahkik;

$$\tau = \frac{609,2}{24,4 \times (1,05 + 1,5 \times 2)} = 6,1 \text{ kN/cm}^2 < 11,05 \text{ kN/cm}^2$$

4.3.8.4 Düşey Çapraz Birleşim Detayı Hesabı

Birleşim dizaynı ABYYHY Madde 8.4'e göre yapılacaktır. Dışmerkez örgü çubuklarının kirişle birleşme noktalarında, kirişin yanal burkulmasının ve ayrıca yerel burkulmaların önlenmesi için gerekli önlemler alınmıştır. Örgü çubuklarının birleşiminde kaba bulon yerine öngermeli yüksek mukavemetli bulon kullanılmıştır. Bu yüzden bulonların emniyet gerilmeleri %33 oranında azaltılmamıştır.



Şekil 4.16: Düşey çapraz birleşim detayı

Tesirler: N=-180 kN

Birleşim levhaları 15 mm kalınlığında seçilmiştir. Bu sayede birleşim levhalarındaki yerel burkulmalar ve buruşmalar önlemiş olmuş, bununla beraber bulonlar açısından delik ezilmesi problemi ortadan kaldırılmıştır. Buna göre;

Bulonların Kontrolü:

Bir bulonun emniyetle taşıyacağı kesme kuvveti, $P_{1,em} = \frac{\mu \times N_0}{\gamma} = \frac{0{,}50 \times 160}{1{,}25} = 64\text{kN}$

$6 \times 64{,}0 = 384{,}0$ kN > 180 kN 6 adet M20 DIN 6914 10.9 öngermeli bulon seçilmiştir.

Kiriş başlığı ile birleşim levhası bağlantı kaynağı tahkiki: seçilen kaynak a=7 mm

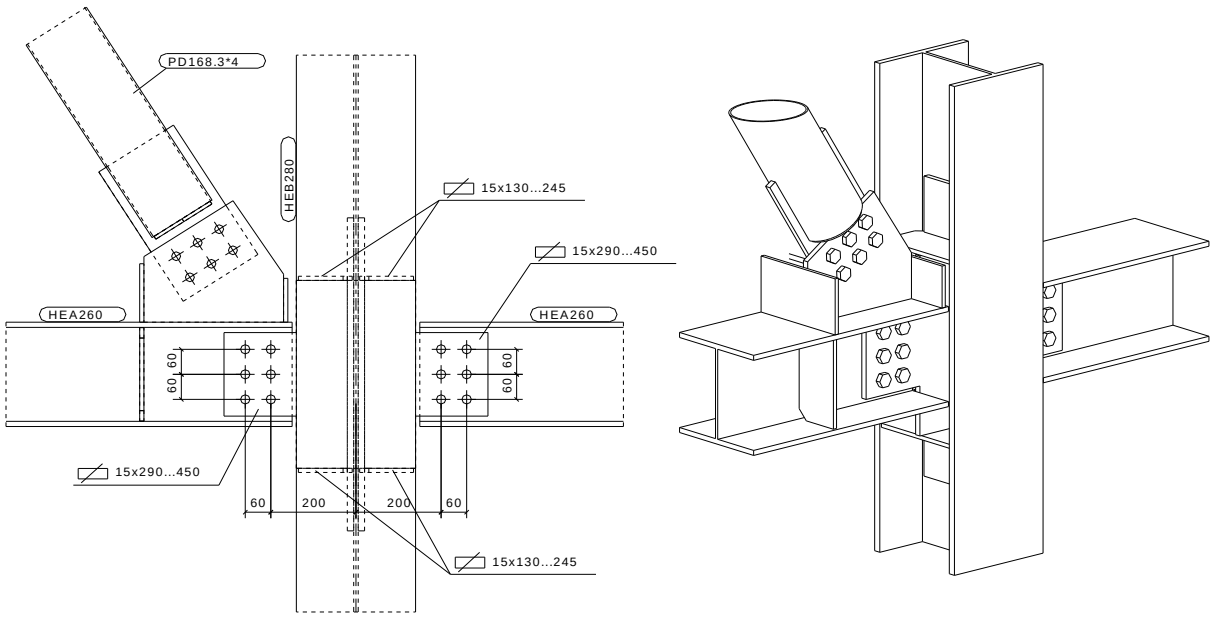
$P_h = 180 \times \cos 55 = 103{,}2$ kN $\rightarrow \tau_k = \frac{103{,}2}{2 \times 0{,}7 \times (34 - 2.0{,}7)} = 2{,}25$ kN/cm^2

$P_v = 180 \times \sin 55 = 147{,}4$ kN $\rightarrow \sigma_k = \frac{147{,}4}{2 \times 0{,}7 \times (34 - 2.0{,}7)} = 3{,}2$ kN/cm^2

Kiriş başlığında ve gövdesinde, eğilme,yırtılma ve buruşma meydana gelmesini önlemek amacıyla konstrüktif nervürler (berkitmeler) düzenlenmiştir.

4.3.8.5 Düşey Çapraz Dikme Kirişi Birleşim Detayı

Düşey çapraz bağlantısının dikmesi olan ve düşey çapraz kuvvetleriyle beraber, tali kirişlerden gelen yükleri de taşıyan bu kirişlerin birleşim hesabı için yukarıda söz edilen mevcut tesirlerin süper pozisyonu alınmıştır.



Şekil 4.17: Düşey çapraz dikme detayı

Tesirler: P_h=180×cos55+15=118,2 kN ; P_v=180×sin55+22=169,4 kN

Bulonların Kontrolü:

$R = \sqrt{P_h^{\,2} + P_v^{\,2}} = \sqrt{118,2^{\,2} + 169,4^{\,2}} = 206,5\ \text{kN}$ 1 bulona 206,5/6=34,4 kN düşüyor.

Bir bulonun emniyetle taşıyacağı kesme kuvveti, $P_{1,em} = \frac{\mu \times N_0}{\gamma} = \frac{0,50 \times 160}{1,25} = 64\text{kN}$

Bir bulonun emniyetle taşıyacağı çekme kuvveti, $P_{1,em} = 96\,\text{kN}$ 6 adet M20 DIN 6914 10.9 öngermeli bulon seçilmiştir.

Kaynakların Kontrolü:

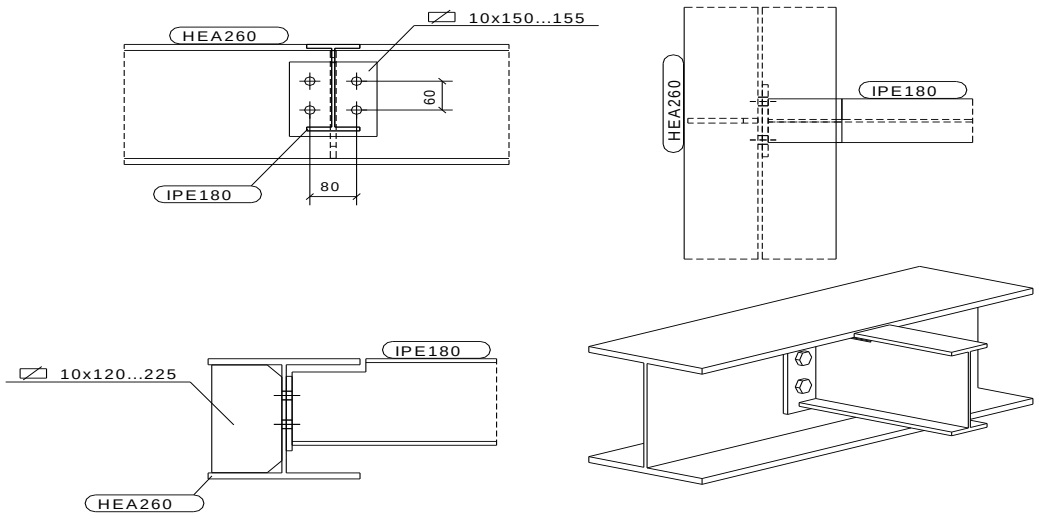
Profili alın levhasına bağlayan kaynakların gövde kısmının kesme kuvvetini, başlık kaynaklarının ise normal kuvveti(çekme kuvvetini) karşıladığı kabul edilmiştir.

$$\tau_k = \frac{118,2}{2 \times 0,5 \times (22,5 - 2 \times 0,5)} = 5,5\ \text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_k = \frac{169,4}{2 \times 0,7 \times (26 - 2 \times 0,7)} = 5,0\ \text{kN/cm}^2$$

4.3.8.6 Döşeme Tali Kiriş Birleşim Detayı

Birleşime etkiyen kesme kuvveti; $Q = \frac{q_u \times l_m}{2} = \frac{7,375 \times 6,25}{2} = 23,0\ \text{kN}$



Şekil 4.18: Döşeme tali kiriş birleşim detayı

Bulonların Kontrolü:

Bir bulonun emniyetle taşıyacağı kesme kuvveti, $P_{1,em} = \frac{\mu \times N_0}{\gamma} = \frac{0,50 \times 100}{1,25} = 40\ \text{kN}$

4×40=160 kN > 23,0 kN olduğu için; 4 adet M16 DIN 6914 10.9 öngermeli bulon

4.3.9 Yanal Deplasman Kontrolü

Yatay ötelenme $\Rightarrow$ $(\Delta_i)_{max} / h_i = 0{,}0035$ (4.19)

$(\Delta_i)_{max} / h_i = 0{,}02/R$ oranlarını aşmamalıdır. (4.20)

h_i=1625 cm ve R=7 olduğu için ;

$(\Delta_i)_{max} / h_i = 0{,}0035 \Rightarrow (\Delta_i)_{max} = 0{,}0035 \times 1625 = 5{,}68$ cm

$(\Delta_i)_{max} / h_i = 0{,}02/R \Rightarrow (\Delta_i)_{max} = (0{,}02/7) \times 1625 = 4{,}64$ cm ise yapı herhangi bir deprem doğrultusu için en üst katta $(\Delta_i)_{max}$ =4.64 cm den daha fazla deplasman yapamaz. Her bir kata ait yanal deplasman sınırları aşağıda Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5: Maksimum yanal kat ötelenme sınırları

Kat İsmi:	hi(cm)	Δ_{imax} (cm) (Denklem 4.19)	Δ_{imax} (cm) (Denklem 4.20)
1.Kat	325	1,14	0,93
2.Kat	650	2,28	1,86
3.Kat	975	3,41	2,79
4.Kat	1300	4,55	3,71
5.Kat	1625	5,69	4,64

Maksimum yanal kat ötelenmeleri aşağıda Tablo 4.6'de verilmiştir.

Tablo 4.6: Taşıyıcı sistem maksimum yanal kat ötelenme değerleri

Kat İsmi:	hi(cm)	$(\Delta_i)_{max}$
1.Kat	325	0,70
2.Kat	650	1,80
3.Kat	975	2,75
4.Kat	1300	3,70
5.Kat	1625	4,25

Taşıyıcı sistem yanal yükler altında deplasman sınırları içerisinde kalacak şekilde boyutlandırılmıştır.

4.4 Taşıyıcı Sistemin EC 3'e Göre Boyutlandırılması

4.4.1 Yük Durumları ve Kombinasyonlar

Boyutlama yük kombinasyonları, uygun kısmi güvenlik katsayıları ile karakteristik yüklerin çarpımından elde edilir.

4.4.1.1 Yük Durumları

LOAD1: Taşıyıcı sistem zati ağırlığı (Sap2000 programında otomatik etkitildi.)
LOAD2: Sabit yükler
LOAD3: Hareketli yükler
LOAD4: +X Yönü deprem yüklemesi
LOAD5: -X Yönü deprem yüklemesi
LOAD6: +Y Yönü deprem yüklemesi
LOAD7: -Y Yönü deprem yüklemesi

4.4.1.2 Kombinasyonlar

1,35G= 1,35×Zati yükler
1,35G + 1,50Q= 1,35×Zati yükler + 1,50×Hareketli yükler
G + Ex = Zati yükler + X Deprem yüklemesi
G + -Ex = Zati yükler + -X Deprem yüklemesi
G + Ey = Zati yükler + Y Deprem yüklemesi
G + -Ey = Zati yükler + -Y Deprem yüklemesi
G + 1,5×0,3Q + Ex = Zati yükler + 0,45×Hareketli yükler + X Deprem yüklemesi
G + 1,5×0,3Q + -Ex = Zati yükler + 0,45×Hareketli yükler + -X Deprem yüklemesi
G + 1,5×0,3Q + Ey = Zati yükler + 0,45×Hareketli yükler + Y Deprem yüklemesi
G + 1,5×0,3Q + -Ey = Zati yükler + 0,45×Hareketli yükler + -Y Deprem yüklemesi

4.4.2 Kullanılan Profillerin En Kesit Özellikleri

Sistemin dizaynında tüm kolon kesitlerinde HEB 280 profili kullanılmıştır. Tüm rijit ve basit bağlı kat kirişlerinde HEA 260 profili kullanılmıştır. Tüm tali kompozit kirişleri IPE 180 olarak dizayn edilmiştir. Düşey çaprazlarda ise 168,3 mm çapında t=4 mm et kalınlığında boru profiller kullanılmıştır. Enkesit özellikleri Tablo 4.7'de verilmiştir. Burada; h : Profil yüksekliğini, b : Profil başlık genişliğini,

t_w : Profil gövde kalınlığını, t_f : Profil başlık kalınlığını,

r : Profil boyun eğriliğini, A: Profil en kesit alanını,

d : Profil gövdesinin düz kısmının uzunluğunu, h_i : Profil başlıkları arası mesafeyi

I_y : Kuvvetli eksen atalet momentini, I_z : Zayıf eksen atalet momentini

W_y : Kuvvetli eksen elastik mukavemet momentini

W_z : Zayıf eksen elastik mukavemet momentini

$W_{pl,y}$: Kuvvetli eksen plastik mukavemet momentini

$W_{pl,z}$: Zayıf eksen plastik mukavemet momentini

i_y : Kuvvetli eksen atalet yarıçapını

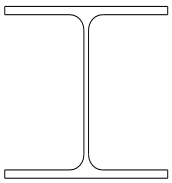
i_z : Zayıf eksen atalet yarıçapını göstermektedir.

Tablo 4.7: Kolon-kiriş-düşey çapraz profillerinin enkesit özellikleri

Profil Enkesiti	**h**	**b**	**tw**	**tf**	**r**	**A**	**d**	**Iy**	**Wy**
	mm	**mm**	**mm**	**mm**	**mm**	**cm2**	**mm**	**cm4**	**cm3**
IPE180	180	91	5,3	8,0	9	23,9	15,8	1320	146
HE 240-A	230	240	7,5	12,0	21	76,84	164	7763	675
D168,3	----	----	---	3,0	---	15,57	----	532	63,25
HE 260-B	260	260	10,0	17,5	24	118	177	14920	1147
Profil Enkesiti	**Wy,pl**	**iy**	**Iz**	**Wz**	**Wz,pl**	**iz**			
	cm3	**cm**	**cm4**	**cm3**	**cm3**	**cm**			
IPE180	---	7,43	101	22,2	----	2,05			
HE 240-A	744,6	10,05	2769	230,7	351,7	6,00			
D168,3	-----	5,84	532	63,25	-----	5,84			
HE 260-B	1283	11,24	5130	395	602	6,59			

4.4.3 Kolon Hesabı

Seçilen Kesit: HE 260 B



$A = 118\ cm^2$ $W_z = 395\ cm^3$ $t_w = 1,0\ cm$

$I_y = 14920\ cm^4$ $i_y = 11,24\ cm^2$ $d = 17,7\ cm$

$I_z = 5130\ cm^4$ $i_z = 6,59\ cm^2$ $l_{ky} = 325\ cm$

$W_y = 1147\ cm^3$ $t_f = 1,75\ cm$ $l_{kz} = 325\ cm$

$b = 26\ cm$ $W_{y,pl} = 1283\ cm^3$ $W_{z,pl} = 602\ cm^3$

Kesit Tesirleri :

N_{Sd} = -750,0 kN ; M_{Sd}= -8900,0 kN-cm ; V_{Sd} =40,0 kN

Enkesit sınıfının saptanması: Fe 360 $\rightarrow$ $\varepsilon=\sqrt{235/235}=1,0$

Başlık enkesit sınıfı; $c/t_f = 13/1,75=7,42 < 10\varepsilon=10 \rightarrow$ başlık sınıf 1

Gövde enkesit sınıfı; N_{Sd}= 750 kN, $N_{pl,Rd}$= (118×23,5) / 1,10= 2520 kN

$N_{Sd} / N_{pl,Rd}$ = 750 / 2520= 0,297

$$\alpha = \frac{1}{2 \times 17,7 \times 1,0}\{0,297 \times 118 + 17,7 \times 1,00\} = 1,49 > 0,5 \text{ ise;}$$

17,7/1,00=17,70 < 396×1,0 / (13×1,49-1) =21,55 ok. → gövde sınıf 1

Tüm enkesit sınıf 1'e aittir. Bu sebeple β_A=1.0 olarak alınacaktır.

Eğilmeli burkulma kontrolü:

Çerçeve düzleminde kolonun burkulma boyu s_{ky} ; Şekil 4.5'e göre

$$\left.\begin{aligned} \eta_A &= 0 (\text{temele rijit}) \\ \eta_B &= \frac{2 \times 19270/325}{2 \times 19270/325 + 10450/625 + 10450/250} = 0,67 \end{aligned}\right\} k_y^{AB} = 1,38 \text{ olarak bulunur.}$$

$\lambda_1=\pi\sqrt{21000/23,5}=93,9$

s_{ky}=1,38×325=448,5 cm, s_{kz}=1,0×325= 325 cm olarak elde edildi.

Hadde profili 260/260=1,0<1,2 → (y-y) "b" burkulma eğrisi

t_f =1,75 cm < 10 cm → (y-y) "b" burkulma eğrisi

λ_y=448,5/11,24=39,90

$\bar{\lambda}_y$ =39,90/93,9=0,424 →χ_y=0,916 ("b" eğrisi)

λ_z=325/6,59=49,31

$\bar{\lambda}_z$ =49,31/93,9=0,525 →χ_z=0,828 ("c" eğrisi) →χ_{min}=0,828→k_y=1,5 alınmıştır.

Eğilmeli burkulma kontrolü 1. sınıf enkesitlerde;

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} \times A \times f_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{W_{y,pl} \times f_y/\gamma_{M1}} \le 1,0 \quad \text{şeklinde kontrol edilir.} \qquad (2.93)$$

$$\frac{750}{0,828 \times 118 \times 23,5/1,10} + \frac{1,5 \times 8900}{1283 \times 23,5/1,10} \le 1,0 \rightarrow 0,365+0,487=0,850 \le 1,0 \text{ ok.}$$

Eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times A \times f_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times W_{y,pl} \times f_y/\gamma_{M1}} \le 1,0 \quad \text{şeklinde yapılır.} \qquad (2.102)$$

$k=k_w$=1,0 (etkili boy katsayısı), ψ=0,75 → C_1=2,90 olarak bulunmuştur.

L_{LT}=1,0×325=325 cm dir. M_{cr} kritik moment değeri denklem 2.92'ye göre ;

$$M_{cr} = 2,90 \frac{\pi^2 \times 21000 \times 5130}{325^2} \sqrt{\frac{(1,0/1,0)^2 \times 753700 + 0,039 \times 325^2 \times 123,6}{5130}}$$

M_{cr}=458021 kN.cm. Denklem 2.91'e göre; $\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times 21000 \times 1283}{458021}} = 24{,}09$ dir.

$\bar{\lambda}_{LT} = 24{,}09/93{,}9 = 0{,}256 \rightarrow$ "a" burkulma eğrisi χ_{LT}=0,988

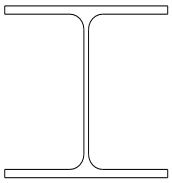
χ_z =0,631'dir. Hesapta kolaylık sağlamak amacıyla k_{LT} =1,0, k_z =1,5 alınmıştır.

Denklem 4.22'e göre;

$$0{,}479 + \frac{1{,}0 \times 8900}{0{,}988 \times 1283 \times 23{,}5/1{,}10} \leq 1{,}0 \rightarrow 0{,}479+0{,}328=0{,}807 \leq 1{,}0 \text{ ok.}$$

4.4.4 Çerçeve Kirişi Hesabı

Seçilen Kesit: HE 240 A



A= 76,84 cm^2 W_z= 230,7 cm^3 t_w = 0,75 cm

I_y =7763 cm^4 i_y = 10,05 cm^2 d = 16,4 cm

I_z =2769 cm^4 i_z = 6,00 cm^2 l_{ky} =250 cm

W_y=675 cm^3 t_f = 1,20 cm l_{kz} = 250 cm

b=24 cm $W_{y,pl}$ = 744,6 cm^3 $W_{z,pl}$ = 351,7 cm^3

Kesit Tesirleri :

N_{Sd} = -100,0 kN ; M_{Sd}= -8900,0 kN-cm ; V_{Sd} =80,0 kN

Enkesit sınıfının saptanması: Fe 360 $\rightarrow$ $\varepsilon=\sqrt{235/235}=1{,}0$

Başlık enkesit sınıfı; c/t_f = 12/1,20=10,0 <10ε=10 $\rightarrow$ başlık sınıf 1

Gövde enkesit sınıfı; N_{Sd}= 100 kN, $N_{pl,Rd}$= (76,84×23,5) / 1,10= 1640 kN

$N_{Sd} / N_{pl,Rd}$ = 100 / 1640= 0,061

$$\alpha = \frac{1}{2 \times 16{,}4 \times 0{,}75}\{0{,}061 \times 76{,}84 + 16{,}4 \times 0{,}75\} = 0{,}69 > 0{,}5 \text{ ise;}$$

16,4/0,75=21,86 < 396×1,0 / (13×1,49-1) =21,55 ok. $\rightarrow$ gövde sınıf 1

Gövde enkesit sınıfı; d/t_w =16,4/0,75=21,86 <72ε=72 $\rightarrow$ gövde sınıf 1

Tüm enkesit sınıf 1'e aittir. Bu sebeple β_A=1.0 olarak alınacaktır.

Kesme dayanımı kontrolü:

Şekil 2.8'ye göre, A_v=1,04×23,0×0,75=17,94 cm^2

Denklem 2.65'e göre, $V_{pl,Rd} = \frac{17{,}94 \times 23{,}5}{\sqrt{3} \times 1{,}10} = 221{,}2\text{kN} > V_{Sd} = 80{,}0$ kN dir.

V_{Sd}=80,0 kN < 0,5×$V_{pl,Rd}$=110,6 kN olduğundan dolayı kesme kuvvetinden dolayı plastik moment dayanımının indirgenmesine gerek yoktur.

Normal kuvvet dayanımı kontrolü:

$N_{pl,Rd}$=76,84×23,5/1,10=1641 kN

N_{Sd}=100 kN < 0,25× $N_{pl,Rd}$=0,25×1641= 410 kN olduğundan dolayı normal kuvvetten dolayı plastik moment dayanımının indirgenmesine gerek yoktur.

Eğilme dayanımının kontrolü:

Denklem 2.61'e göre, $M_{c,Rd}$= 744,6×23,5/1,10=15907 kN.cm > M_{Sd}=8900 kN.cm

Gövdede kayma buruşması kontrolü:

d/t_w=16,4/0,75=21,86<69ε=69 olduğundan dolayı gövdede kayma buruşması kontrolüne gerek yoktur.

Yanal burulmalı burkulma dayanımı kontrolü:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times A \times f_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times W_{y,pl} \times f_y/\gamma_{M1}} \le 1,0 \quad \text{şeklinde yapılır.} \qquad (2.102)$$

k=k_w=1,0 (etkili boy katsayısı), ψ=0,75 → C_1=2,90 olarak bulunmuştur.

L_{LT}=1,0×250=250 cm dir. M_{cr} kritik moment değeri denklem 2.92'ye göre ;

$$M_{cr} = 2,90 \frac{\pi^2 \times 21000 \times 2769}{250^2} \sqrt{\frac{(1,0/1,0)^2 \times 328500 + 0,039 \times 250^2 \times 41,55}{2769}}$$

M_{cr}=331757 kN.cm. Denklem 2.91'e göre; $\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times 21000 \times 744,6}{331757}} = 21,56$ dir.

$\bar{\lambda}_{LT} = 21,56/93,9 = 0,229 \rightarrow$ "a" burkulma eğrisi χ_{LT}=0,975

λ_z=250/6,00=41,67

$\bar{\lambda}_z$ =41,67/93,9=0,443 →χ_z=0,862 ("c" eğrisi)

χ_z =0,862'dir. Hapta kolaylık sağlamak amacıyla k_{LT} =1,0, k_z =1,5 alınmıştır.

Denklem 4.98'e göre;

$$\frac{100}{0,862 \times 76,84 \times 23,5/1,10} + \frac{1,0 \times 8900}{0,975 \times 744,6 \times 23,5/1,10} \le 1,0$$

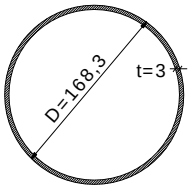
0,07+0,573=0,643 ≤ 1,0 ok.

Sehim Kontrolü: Çerçeve kirişlerinin boyutlandırılmasındaki etkin parametre deprem yüklerinden oluşan eğilme momentleri olduğu için kesit oldukça rijittir. Bu sebeple düşey yükler altında oluşacak sehim değeri ihmal edilecek seviyelerdedir.

4.4.5 Düşey Stabilite Bağlantılarının Boyutlandırılması

Burkulma güvenliğinin kontrolü, enkesit tek parçalı hadde boru profil olduğu için, bölüm 2.4.1.1'e göre hesaplanacaktır.

Seçilen Kesit :



$A = 15{,}57\ cm^2$

$i_y = 5{,}84\ cm^2$ $l_{ky} = 400\ cm$

$i_z = 5{,}84\ cm^2$ $l_{kz} = 400\ cm$

Kesit Tesirleri:

$N_{Sd} = -175{,}0\ kN$

Çubuğun asal eksenlerine dik doğrultuda burkulma boyları:

$s_{ky}=s_{kz}=1{,}0\times400=400\ cm$

Asal eksenlere dik doğrultuda narinlik değerlerinin tayini:

$\lambda_y=400/5{,}84=68$, $\lambda_z=400/5{,}84=68$

Kıyaslama narinliğinin tayini:

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{21000/23{,}5} = 93{,}91$$

$\bar{\lambda}_{yl}=68/93{,}91=0{,}725$, $\bar{\lambda}_{zl}=68/93{,}91=0{,}725$

Enkesit sınıfının saptanması: Fe 360 $\rightarrow$ $\varepsilon=\sqrt{235/235}=1{,}0$

Boru enkesit sınıfı; $d/t = 16{,}83/0{,}3=56{,}1 \le 70\varepsilon^2=70$ enkesit sınıfı 2

Tüm enkesit sınıf 2'e aittir. Bu sebeple $\beta_A=1.0$ olarak alınır.

İndirgenme katsayılarının tayini:

$\bar{\lambda}_{yl} = \bar{\lambda}_{zl} = 0{,}725 \rightarrow \chi_y = 0{,}834$ ("a" eğrisi)

Burkulma güvenliğinin kontrolü: Denklem 2.26'ya göre;

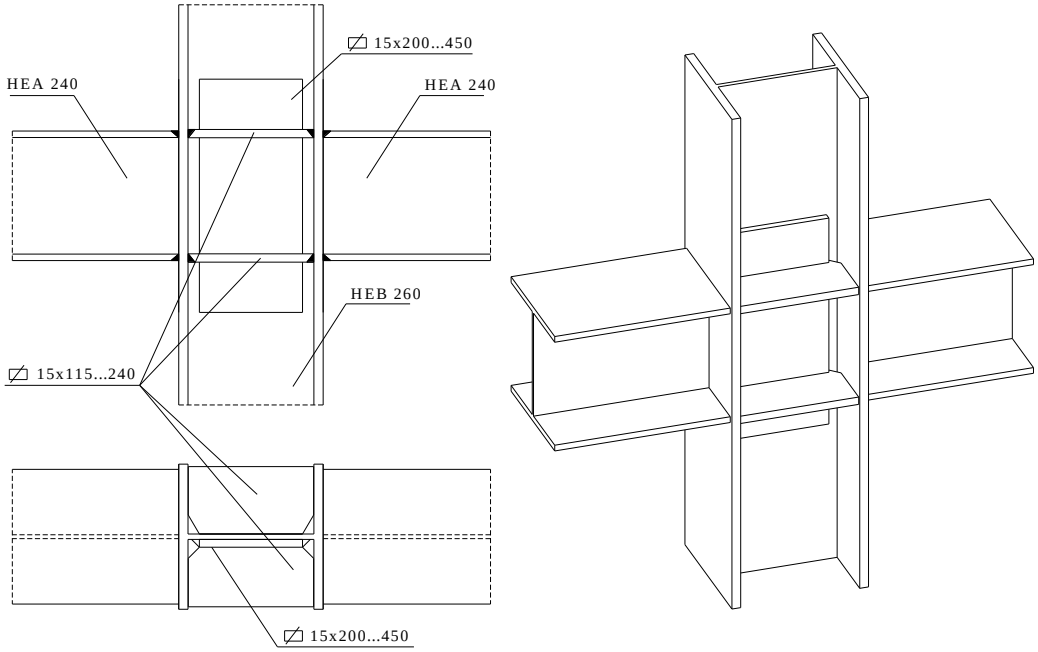
$N_{Sd} = -175{,}0\ kN$

$N_{b,Rd}=0{,}834\times1{,}0\times15{,}57\times23{,}5/1{,}10=277{,}4\ kN$

$N_{Sd} \le N_{b,Rd}$ olduğu için burkulma güvenliği kontrolü sağlanmaktadır.

4.4.6 Birleşim ve Detay Hesapları

4.4.6.1 Rijit Kolon-Kiriş Birleşim Hesabı



Şekil 4.19: Rijit kolon-kiriş birleşim detayı

Kiriş başlıklarından etkiyen çekme basınç kuvvetlerinden dolayı büyük kayma kuvvetlerine maruz kalan panel bölgesi çift taraflı plakalar ile güçlendirilmiştir.

Tesirler: M_{Sd}= -8900,0 kN-cm ; V_{Sd} =80,0 kN, N_{Sd} değeri kirişlerde ihmal edilmiştir.

t=15mm > 12,0 mm ok.

Kolon gövdesinin kayma dayanımı:

Şekil 2.17'ye göre kesme alanı, $A_v=1,04\times h_c\times t_w=1,04\times 26,0\times 1,0=27,04$ cm^2

Denklem 2.65'e göre $V_{pl,Rd}$ = 27,04×23,5/(√3×1,10)=333,5 kN

Z=23,0-1,20=21,8 cm

V_{Sd}=(8900+4500)/21,8-80=534 kN > 333,5 kN olduğundan dolayı kolon gövdesi yetersiz kalmaktadır. Tek taraftan t=15 mm'lik ilave gövde levhasıyla kolon gövdesi güçlendirilecektir.

$b_{eff,t}=b_{eff,c}$=1,2+5(1,75+2,4)=21,95 cm , ι_s=23,0+21,95=44,95 cm=449,5 mm

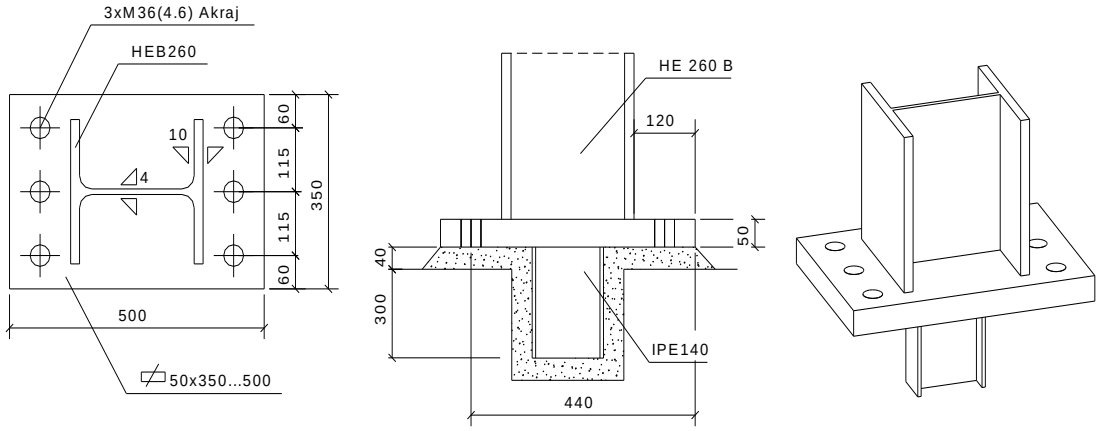
$r+t_s$=2,4+1,5=3,9 cm ,b_s=(230-2×1,75)-2×39=148,5 mm → seçilen 200mm

Berkitilmiş kolon gövdesinin kayma dayanımı:

A_v=27,04+20×1,5=57,04 cm^2

Denklem 2.65'e göre $V_{pl,Rd}$ = 57,04×23,5/(√3×1,10)=703 kN > V_{Sd}=534 kN ok.

4.4.6.2 Ankastre Kolon Ayağı Hesabı



Şekil 4.20: Ankastre kolon ayağı detayı

Çekme ankrajları ve basınç alanının tayini: BS 20 f_{cd}=13,3 N/mm^2

Tesirler: M_{Sd}=9100 kN.cm ; N_{Sd}=680 kN ; V_{Sd}=40 kN

Dışmerkezlik, e=9100/680=13,38 cm

$$k_x k_z = \frac{680(13{,}38 + 44 - 50/2)}{0{,}72 \times 35 \times 44^2 \times 1{,}33} = 0{,}339 < 0{,}6$$

$$k_x = 1{,}176 - \sqrt{1{,}176^2 - 2{,}353 \times 0{,}339} = 0{,}590 < 1$$

$$k_z = 1 - 0{,}425 \times 0{,}590 = 0{,}749 \ , \qquad Z_s = 0{,}72 \times 0{,}590 \times 35 \times 50 \times 1{,}33 - 680 = 308 \ \text{kN}$$

$$\iota_c = 0{,}85 \times 0{,}590 \times 44 = 22{,}06\text{cm}$$, Ankraj bulonları M 36 (4.6) $F_{t,Rk}$=294,1 kN

$$F_{t,Rd} = 0{,}85 \frac{294{,}1}{1{,}25} = 200 \ \text{kN} \rightarrow 3\times200=600 \ \text{kN} > 308 \ \text{kN ok.}$$

Taban levhasının kontrolü: $\iota_c = 22{,}06 \ \text{cm} > a = 12{,}0\text{cm}$

$$V_c = 0{,}85 \times 1{,}33 \times 35 \times 12 = 474{,}8 \ \text{kN}$$

$$M_c = 474{,}8 \times 12/2 = 2848{,}8 \ \text{kN.cm} \ , M_z = 308 \times 6 = 1848 \ \text{kN}$$

$$t_p \geq \sqrt{\frac{6 \times 2848{,}8}{35 \times 23{,}5/1{,}1}} = 4{,}78 \ \text{cm} \rightarrow t_p = 50 \ \text{mm} \quad \text{seçildi.}$$

Kesme dayanımın kontrolü:

$$\max \tau = \frac{1{,}5 \times 474{,}8}{35 \times 5} = 4{,}06 \ \text{kN/cm}^2 < \frac{23{,}5}{\sqrt{3} \times 1{,}10} = 12{,}3 \ \text{kN/cm}^2$$

Kolon başlık kaynaklarının dayanım kontrolü: $F_f = \frac{9100}{26 - 1{,}75} + \frac{680}{2} = 715 \ \text{kN}$

$$N_{f,w} = 1{,}0(26 + 26 - 1{,}0 - 2 \times 2{,}4)\ \frac{36{,}0}{\sqrt{3} \times 0{,}8 \times 1{,}25} = 960\ kN > 715\ kN$$

$$N_{w,w} = 2 \times 0{,}5(26 - 2 \times 1{,}75 - 2 \times 2{,}4)\ \frac{360}{\sqrt{3} \times 0{,}8 \times 1{,}25} = 367\ kN > V_{Sd} = 40\ kN$$

Kayma kamasında kontroller:

Kayma kaması IPE 140 seçilmiştir. $V_{c,Rd}$=7,3×30×1,33=291 kN > V_{Sd}=40 kN

IPE 140'ın başlığında, $M_{Sd} = \frac{40}{7{,}3 \times 30}\left\{\frac{7{,}3 - 0{,}47 - 2 \times 0{,}7}{2}\right\}^2 \frac{1}{2} = 1{,}43\ kN\ cm\ /\ cm$

$$M_{Rd} = \frac{0{,}69^2}{6} \times \frac{23{,}5}{1{,}10} = 1{,}69\ kN\ cm\ /\ cm > 1{,}43\ kN\ cm\ /\ cm$$

Kama gövdesinde kayma kontrolü:

$$A_v = 1{,}04 \times 14 \times 0{,}47 = 6{,}84 cm^2,\ V_{Rd} = \frac{6{,}84 \times 23{,}5}{\sqrt{3} \times 1{,}10} = 84{,}37\ kN > V_{Sd} = 40\ kN$$

Kamayı taban levhasına birleştiren kaynaklar:

V_{sd}= 40 kN, $M_{Sd} = 40\left\{4{,}0 + \frac{30}{2}\right\} = 760 kN.cm$

$$V_{w,Rd} = 2 \times 0{,}3(14{,}0 - 2 \times 0{,}69 - 2 \times 0{,}7)\ \frac{36{,}0}{\sqrt{3} \times 0{,}8 \times 1{,}25} = 140kN > V_{sd} = 40\ kN$$

$$N_{f,Rd} = 0{,}5\left(2 \times 7{,}3 - 0{,}47 - 2 \times 0{,}7\right)\frac{36{,}0}{\sqrt{3} \times 0{,}8 \times 1{,}25} = 132\ kN > \frac{760}{14{,}0 - 0{,}69} = 57\ kN$$

4.5 Yanal Deplasman Kontrolü

EC 3'e göre sistemde oluşan yanal kat ötelemeleri aşağıda verilmiştir.Taşıyıcı sistem Tablo 4.8'de verilen öteleme sınırlarını aşmayacak şekilde boyutlandırılmıştır.

Tablo 4.8: EC 3'e göre taşıyıcı sistem maksimum yanal kat ötelenme değerleri

Kat İsmi:	hi(cm)	$(\Delta_i)_{max}$
1.Kat	325	0,89
2.Kat	650	1,82
3.Kat	975	2,73
4.Kat	1300	3,70
5.Kat	1625	4,59

4.6 EC 3 ve TS 648 Uygulamalarının Karşılaştırılması

Aşağıda Tablo 4.9 ve 4.10 'da tasarım sonucunda bulunan veriler gösterilmiştir.

Tablo 4.9: EC 3 ve TS 648'e göre uygulama sonuçları

EC 3			**TS 648**	
	Enkesit	S_d / R_d	Enkesit	σ/σ_{em}
Kolonlar	HE 260-B	0,850	HE 280-B	0,750
Kat Kirişleri	HE 240-A	0,643	HE 260-A	0,600
Düşey Çaprazlar	D 168,3 (t=3mm)	0,630	D 168,3 (t=4mm)	0,654
Tali Kirişler	IPE 180	-	IPE 180	-

Tablo 4.10: EC 3 ve TS 648'e göre yanal deplasman sonuçları

EC 3			**TS 648**	
Kat İsmi	hi(cm)	(Δi)max	hi(cm)	(Δi)max
1.Kat	325	0,89	325	0,70
2.Kat	650	1,82	650	1,80
3.Kat	975	2,73	975	2,75
4.Kat	1300	3,70	1300	3,70
5.Kat	1625	4,59	1625	4,25

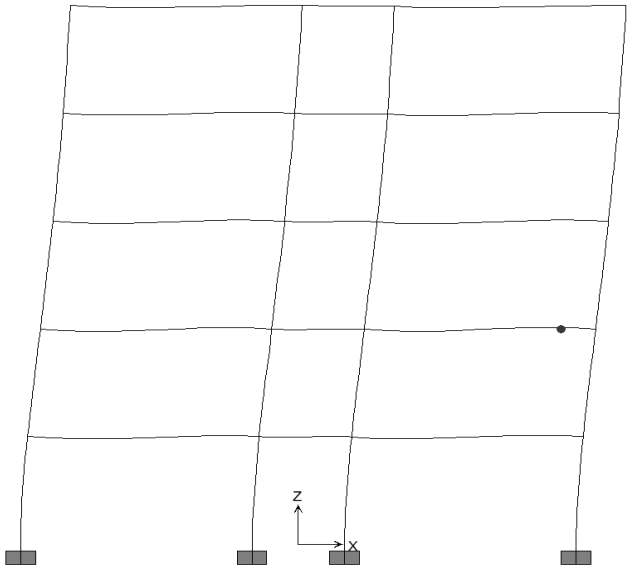
EC 3 yönetmeliği istatistiksel dağılıma dayanan kısmi güvenlik katsayılarını kullandığından dolayı, TS 648 yönetmeliğine oranla daha gerçekçi bir analiz imkanı sunmaktadır. Ayrıca taşıyıcı elemanların plastik dayanımları kullandığı için, malzemenin dayanımı daha gerçekçi ve daha verimli olarak ele alınmaktadır. Daha küçük ve hafif kesitlerin seçimine imkan tanıyarak, ekonomik ve işlevsel sistem tasarımına imkan vermektedir. EC 3 yönetmeliği çok sayıda ve çeşitlilikte hesap imkanı sunmaktadır. Özellikle taşıma gücü sınır durumu için TS 648 yönetmeliğine oranla daha ileri seviyede analiz imkanları tanımaktadır. EC 3 yönetmeliği yapının bütünsel stabilitesinin ve taşıyıcı elemanların burkulmasının incelenmesinde çok daha hassas ve gerçekçi analiz olanakları sunmaktadır. Analiz olanaklarının çeşitliliği tasarımcıya daha fazla esneklik imkanı tanırken dizayn aşamasında daha karmaşık analizleri gerektirmektedir. Kullanılabilirlik sınır durumunda TS 648 yönetmeliğine oranla daha fazla sehim yapma imkanı tanımaktadır. Sonuç olarak EC 3 yönetmeliği daha kompleks ve daha gerçekçi bir analiz yaklaşımında bulunmasından dolayı TS 648 yönetmeliğine göre daha ekonomik dizayn imkanı sağlamaktadır.

4.7 Pushover Analiz Uygulaması

4.7.1 Sap 2000 Moment-Eğrilik Diyagramının Kullanılması Durumu

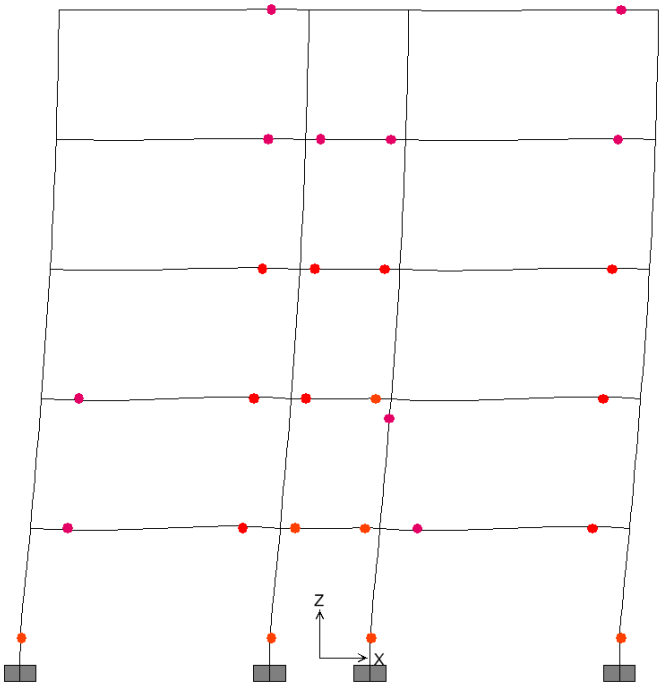
Uygulamada Sap2000 programının kendi pushover eğrileri kullanılmıştır. Sistemde çerçeve elemanlarının başlangıç ve bitiş noktalarına kirişler için M_x plastik mafsalı, kolonlar için ise P,M_x,M_y plastik mafsalı tanımlanmıştır. Sistem kolonları temele ankastre bağlı olup, düğüm noktaları moment aktaran rijit birleşimler olarak düzenlenmiştir. Sisteme pushover analizi öncelikle düşey yüklerden başlatılmış, devamında yatay etkilerde göz önüne alınmıştır. Yatay yükler sisteme üçgen formda uygulanmıştır. Sistemde plastik mafsalların kiriş uçlarında meydana gelmesi hedeflenmektedir. Bu sebeple kuvvetli kolon-zayıf kiriş ilkesine de uyularak kirişler daha narin seçilmiştir. Kirişler HE 200 B, kolonlar HE 260 B seçilmiştir.

Sistem analizi sonucunda, Tablo 4.5'de verilen yanal deplasman sınırları içerisinde deplasman değerleri kontrol edilmiş ve sistemde herhangi bir plastik mafsal oluşumuna rastlanmamıştır. Deprem yönetmeliğinin öngördüğü sınırlar içerisinde sistem tamamen elastik davranış göstermiştir. Yanal yüklerin program tarafından otomatik olarak arttırılması neticesinde sistemde ilk plastik mafsal 2.kat çerçeve kirişinde meydana gelmiştir. Burada plastik mafsalda oluşan plastik moment değeri M_p= 15110,5 kN.cm , dönme değeri ise θ_p=0,0132 olarak tespit edilmiştir. İlk plastik mafsal oluştuğunda sistemin tepe deplasmanı Δ_i=7,06 cm olarak ölçülmüştür. Bu durum Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



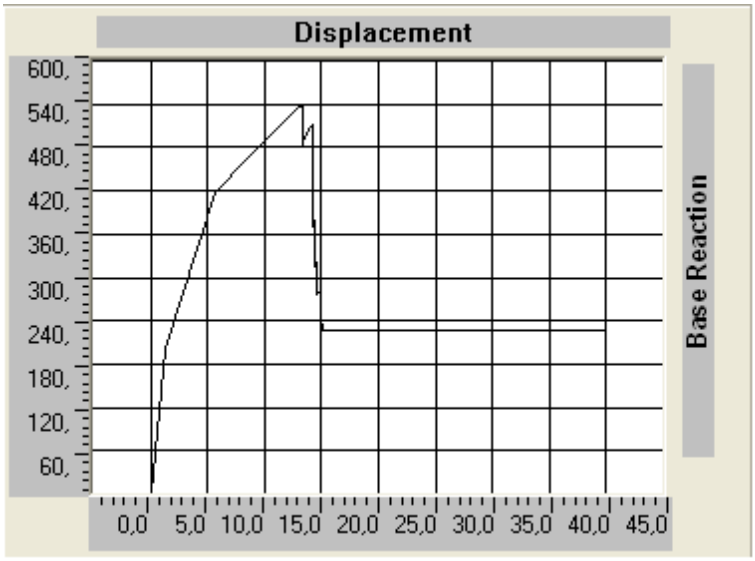
Şekil 4.21: İlk plastik mafsalın oluşumu

Çözüm program tarafından adım adım devam ettirilmektedir. Sistemde plastik mafsalların büyük çoğunluğu tepe deplasmanı Δ_i=14,34 cm olarak ölçüldüğü sırada oluşmuştur. Sistem mekanizma durumuna yaklaşmaktadır.



Şekil 4.22: Sistemde mekanizma durumunun oluşması

Yapılan analize ait taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı ilişkisi aşağıda Şekil 4.23'de gösterilmiştir.



Şekil 4.23: Sap 2000 taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı ilişkisi diyagramı (kN – cm)

4.7.2 Elle Hesaplanan Moment-Eğrilik Diyagramının Kullanılması Durumu

Uygulamada Sap2000 programının kendi pushover eğrileri kullanılmamıştır. Örnek bir HEB 200 kirişinin θp dönmesi hesaplanmış Sap2000 de tanımlanmıştır. θ_p dönmesi aşağıda hesaplanmıştır.

Profil liflerinin dönme kapasitesi $R_{st} = \frac{\theta_p}{\theta_y}$ şeklinde hesaplanır. (4.21)

Burada, $\theta_y = (1-\rho)\frac{M_p L}{2EI}$ olarak ifade edilmiştir. (4.22)

$$R_{st} = \frac{1}{(s-\rho)(1-\rho)}\left\{2\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_y}\frac{h}{h_e}(s-\rho-1) + \frac{E}{E_h}\frac{I}{I_e}\left[2\rho^2 + (s-1)(s-2\rho-1)\right]\right\}$$ 'dır. (4.23)

H enkesitler için s, $\frac{1}{s} = 0{,}6003 + \frac{1{,}6}{\alpha_f} + \frac{0{,}1535}{\alpha_w}$ olarak hesaplanır. (4.24)

α_f başlık narinlik parametresi, $\alpha_f = \frac{E}{\sigma_y}\left(\frac{t_f}{b_f/2}\right)^2$ olarak hesaplanır. (4.25)

α_w gövde narinlik parametresi, $\alpha_w = \frac{E}{\sigma_y}\left(\frac{t_w}{d_w}\right)^2$ olarak hesaplanır. (4.26)

Burada h ve I HEB200 enkesitin yükseklik ve atalet momenti değerleridir. h_e ve I_e ise tüm enkesit alanının başlıklarda toplandığı HEB200 enkesitine eşdeğer enkesitin değerleridir.

M_p=643×23,5=15110,5 kN.cm

M_p=2×(A/2) ×(h_e/2) ×23,5 $\rightarrow$ h_e=16,46 cm (eşdeğer enkesitin yüksekliği)

I_e=2×39,05×(16,46/2)^2=5289,9 cm^4 (eşdeğer enkesitin atalet momenti)

$\alpha_f = \frac{21000}{23{,}5}\left(\frac{1{,}5}{20/2}\right)^2 = 20{,}10$, $\alpha_w = \frac{21000}{23{,}5}\left(\frac{0{,}9}{17{,}7}\right)^2 = 2{,}31$ olarak bulundu.

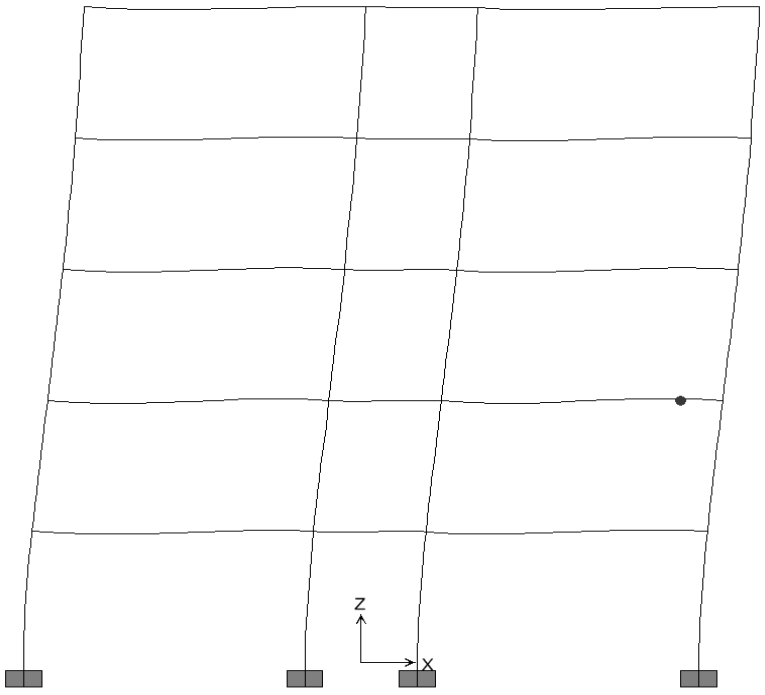
$$\frac{1}{s} = 0{,}6003 + \frac{1{,}6}{20{,}10} + \frac{0{,}1535}{2{,}31} \rightarrow s = 1{,}339$$

$$R_{st} = \frac{1}{1{,}339}\left\{2\times 1\times\frac{20}{16{,}46}(1{,}339-1) + \frac{1}{1}\frac{5700}{5289{,}9}(1{,}339-1)^2\right\} = 0{,}707$$

$\theta_y = \frac{15110{,}5\times 600}{2\times 21000\times 5700} = 0{,}0378$ $\rightarrow\theta_p$=0,0267 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Sap2000'e girilerek tekrar çözüm yapılmıştır. Sistemde çerçeve

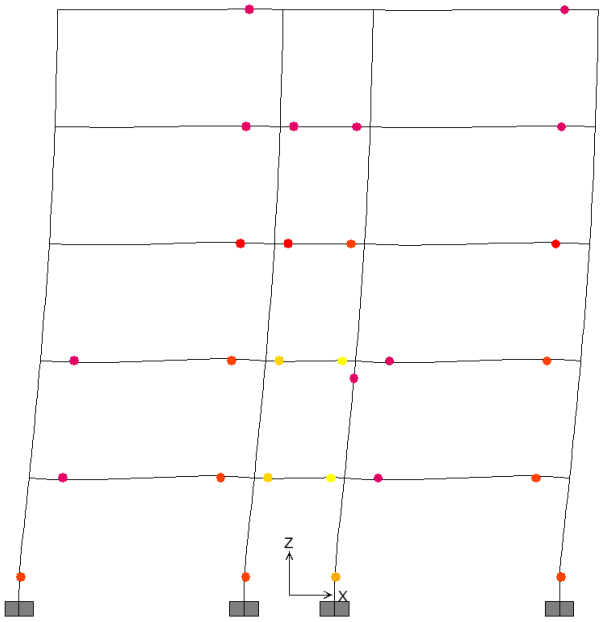
elemanlarının başlangıç ve bitiş noktalarına kirişler için M_x plastik mafsalı, kolonlar için ise P,M_x,M_y plastik mafsalı tanımlanmıştır. Sistem kolonları temele ankastre bağlı olup, düğüm noktaları moment aktaran rijit birleşimler olarak düzenlenmiştir. Sisteme pushover analizi öncelikle düşey yüklerden başlatılmış, devamında yatay etkilerde göz önüne alınmıştır. Yatay yükler sisteme üçgen formda uygulanmıştır. Sistemde plastik mafsalların kiriş uçlarında meydana gelmesi hedeflenmektedir. Bu sebeple kuvvetli kolon-zayıf kiriş ilkesine de uyularak kirişler daha narin seçilmiştir. Kirişler HE 200 B, kolonlar HE 260 B seçilmiştir.

Sistem analizi sonucunda, Tablo 4.5'de verilen yanal deplasman sınırları içerisinde deplasman değerleri kontrol edilmiş ve sistemde herhangi bir plastik mafsal oluşumuna rastlanmamıştır. Deprem yönetmeliğinin öngördüğü sınırlar içerisinde sistem tamamen elastik davranış göstermiştir. Yanal yüklerin program tarafından otomatik olarak arttırılması neticesinde sistemde ilk plastik mafsal 2.kat çerçeve kirişinde meydana gelmiştir. Burada plastik mafsalda oluşan plastik moment değeri M_p= 15110,5 kN.cm , dönme değeri ise θ_p=0,0132 olarak tespit edilmiştir. İlk plastik mafsal oluştuğunda sistemin tepe deplasmanı Δ_i=6,89 cm olarak ölçülmüştür. Bu durum Şekil 4.24'de gösterilmiştir.



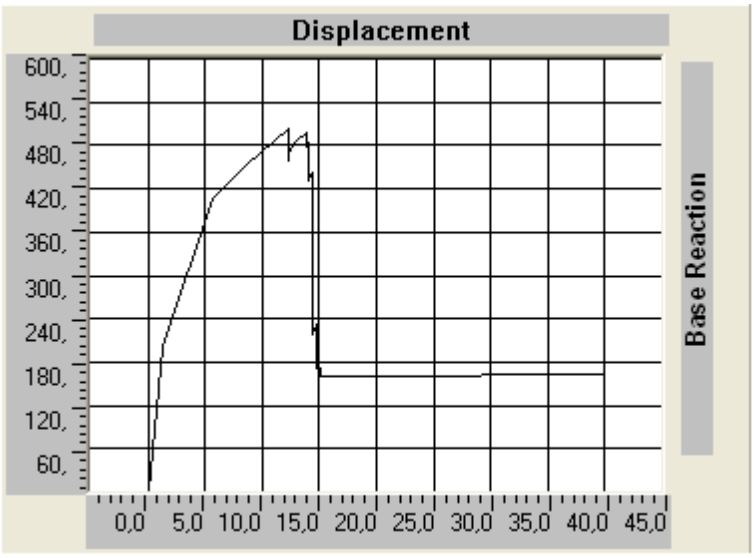
Şekil 4.24: İlk plastik mafsalın oluşumu

Çözüm program tarafından adım adım devam ettirilmektedir. Sistemde plastik mafsalların büyük çoğunluğu tepe deplasmanı Δ_i=13,27 cm olarak ölçüldüğü sırada oluşmuştur. Sistem mekanizma durumuna yaklaşmaktadır.



Şekil 4.25: Sistemde mekanizma durumunun oluşması

Yapılan analize ait taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı ilişkisi aşağıda Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26: Sap 2000 taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı ilişkisi diyagramı (kN – cm)

Sonuç olarak Sap 2000 programının pushover eğrileri kullanılarak elde edilen deplasman sonuçları, elle hesaplanan eğriler kullanılarak hesaplanan değerlerden bir miktar daha yüksek çıkmıştır.

KAYNAKLAR

[1] **Özgen, A. ve Bayramoğlu, G.,** 2002. Çelik Yapılar 1 Ders Notu.

[2] **ABYYHY,** 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[3] **TS-648,** 1982. Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[4] **TS-498,** 1997. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[5] **TS-500,** 1985. Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[6] **ENV 1993-1-1,** 1992. Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1.1 General rules and rules for buildings, British Standart İnstitustion, London. Standart İnstitustion, London.

[7] **Deren, H.,** 1995. Çelik Yapılar, Çağlayan Kitabevi,

[8] **F.M. Mazzolani and V. Piluso,** 1996. Theory and Design of Seismic Resistant Steel Frames, London

İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Giresun'da doğan Murat KARACA, ilk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamlamıştır. 1996 yılında Şişli Kaptan Paşa Lisesi'nden mezun olduktan sonra, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazanmış ve dört senelik lisans eğitiminden sonra 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi yüksek lisans programına kabul edilerek Deprem mühendisliği programında yüksek lisansa başlamıştır.