

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YARI RİJİT DÜĞÜM NOKTALI
ÇERÇEVE SİSTEMLERİNİN ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Rozan GENÇ**

**Anabilim Dalı: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Programı: YAPI MÜHENDİSLİĞİ**

ARALIK 2005

**YARI RİJİT DÜĞÜM NOKTALI
ÇERÇEVE SİSTEMLERİNİN ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Rozan GENÇ
501011127**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 19 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih: 2 Şubat 2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Alpay ÖZGEN
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Gülay ALTAY (B.Ü.)
Doç. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU (İ.T.Ü.)**

ARALIK 2005

ÖNSÖZ

Çelik yapılar projelendirilirken yapı elemanlarının açıklık ve mümkün olabilecek mesnetlenme durumuna göre birleşimler ideal mafsallı veya ideal rijit olarak kabul edilir. İdeal kabuller yapıldığı için bileşimlerin rijitliklerinin hesaplanıp sistemin bu rijitliklere göre yeniden analiz edilmesi gerekmez ve bu da tasarımcıya hesapta büyük kolaylık sağlar. Ancak pratikte çelik yapılar alanında çalışan bir mühendis olarak çelik yapı tasarımcısını en çok sıkıntıya sokan hususun işverenin koyduğu tonaj sınırı altında kalmak olduğunu gözlemledim. Bu husus tasarımcının projede düğüm noktalarında berkitme kullanmama, kaynak boylarını olanaklar ölçüsünde kısaltma gibi önlemlere sevkettiştir. Bu şekilde tasarlanan düğüm noktaları üzerinde yapılan deneylerde bu birleşimlerin ideal tam rijit ve mafsallı düğüm noktası arasında bir davranış sergilediğini göstermiş ve bu da yarı-rijit düğüm noktası kavramını ortaya çıkarmıştır. Birleşimlerin gerçek davranışını anlayabilmek ve gelecekte çelik yapı projelerinde yarı-rijit düğüm noktası hesap metodlarının da kullanılacağına inandığım için bu tez çalışmasını yapmaya karar verdim

Lisans dönemimde çelik yapılar alanına yönelmemi teşvik eden ve bu tezin hazırlanmasında yardım ve tavsiyeleri ile bana yön veren Sayın Prof. Dr. Alpay Özgen'e ve Sayın Doç. Dr. Güliz Bayramoğlu'na teşekkür ederim.

Çelik yapılar konusunda kendimi geliştirebilmem için bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Çağla Mühendislik ve Mimarlık Tic. Ltd. Şti. kurucuları İnş. Müh. Coşkun Akpınar, İnş. Müh. Aytekin Karataş, İnş. Müh. Kemal Akpınar ve Ercan Akpınar'a ve iş arkadaşım İnş. Müh. Nermin Topuz'a teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca her zaman yanımda olan aileme sevgilerimi sunarım.

Aralık 2005

ROZAN GENÇ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	xii
TABLO LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xiv
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET	xviii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. KİRİŞ KOLON BİRLEŞİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	3
2.1. Çelik Yapılarda Kullanılan Birleşim Tipleri	3
2.1.1. Tek köşebentli gövde birleşimi	3
2.1.2. Çift köşebentli gövde birleşimi	4
2.1.3. Üst ve alt başlık köşebentli, gövde çift köşebentli birleşim	5
2.1.4. Üst ve alt başlık köşebentli birleşim	5
2.1.5. Alın levhalı birleşim	6
2.1.6. Gövde derinliğince alın levhalı birleşim	7
2.1.7. Kısa alın levhalı birleşim	8
2.2. Kiriş ve Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Sınıflandırılması	9
2.2.1. Dönme rijitliklerine göre sınıflandırma	9
2.2.2. Taşıma güçlerine göre sınıflandırma	12
3. EUROCODE 3'ÜN GENEL İLKELERİ	15
3.1. Kapsam	15
3.2. Genel Kurallar	16
3.2.1. Çelik	16
3.2.2. Taşıyıcı sistem	17
3.2.3. Taşıyıcı elemanlar	17
3.2.4. Yükler ve yük dayanım faktörleri	17
3.2.5. Güvenlik düzeyinin seçimi	19
3.2.5.1. Kullanma sınır durumu	19
3.2.5.2. Taşıma yükü sınır durumu	21
3.3. Eurocode 3'e Göre Taşıma Yükü Sınır Durumuyla Kesit Boyutlandırılması	23
3.3.1. Çekme çubukları	23
3.3.2. Basınç çubukları	23

3.3.3. Kirişler	23
3.3.4 Kesit dayanımları	24
3.3.4.1 Çekme elemanları	24
3.3.4.2 Basınç elemanları	24
3.3.4.3 Burkulma dayanımı	24
3.3.4.4 Kirişler	26
3.3.5. Eksenel kuvvet ve moment etkisi	30
3.3.6. Eksenel kuvvet ve momente bağlı eleman dayanımı	31
3.3.6.1 Moment ve çekme etkisi	31
3.3.6.2 Moment ve basınç etkisi	31
3.3.7. Çerçeve ara bağlantılı çubuklarda narinlik etkisi	32
4. YARI RİJİT KİRİŞ KOLON BİRLEŞİMLERİNİN EUROCODE 3'E GÖRE ANALİZİ	33
4.1. Yarı Rijit Düğüm Noktası Kavramı	33
4.2. Bulonlu Yarı Rijit Kiriş Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Analizi	34
4.2.1. Bulonlu yarı rijit kiriş kolon birleşimleri için Eurocode 3 önerileri	35
4.2.1.1. Çekme bölgesinin dayanımı	37
4.2.1.2. Basınç bölgesinin dayanımı	39
4.2.1.3. Kayma bölgesinin dayanımı	40
4.2.1.4. Sonuç	40
4.3. Kaynaklı Yarı Rijit Kiriş Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Analizi	41
4.3.1. Kaynaklı yarı rijit kiriş kolon birleşimleri için Eurocode 3 önerileri	41
4.3.1.1. Çekme bölgesinin dayanımı	42
4.3.1.2. Basınç bölgesinin dayanımı	43
4.3.1.3. Kayma bölgesinin dayanımı	43
4.3.1.4. Sonuç	43
5. SAYISAL ÖRNEKLER	44
5.1. Üç Katlı Büro Binası Analizi	44
5.1.1. Düğüm noktaları rijit üç katlı büro yapısının Eurocode 3'e göre hesabı	46
5.1.1.1. Kirişlerin boyutlandırılması	46
5.1.1.2. Kolonların boyutlandırılması	47
5.1.1.3. Dış merkez çaprazların boyutlandırılması	48
5.1.2. Düğüm noktaları yarı rijit alın levhalı üç katlı büro yapısının Eurocode 3'e göre hesabı	48
5.1.2.1. Kirişlerin boyutlandırılması	49
5.1.2.2. Kolonların boyutlandırılması	49
5.2. Endüstri Yapısı Analizi	49
5.2.1. Düğüm noktaları rijit endüstri yapısının Eurocode 3'e göre hesabı	49
5.2.1.1. Çatı kirişlerinin boyutlandırılması	50

5.2.1.2. Kolonların boyutlandırılması	50
5.2.1.3. Çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması	51
5.2.1.4. Dış merkez çaprazların boyutlandırılması	51
5.2.1.5. Çatı çaprazlarının boyutlandırılması	51
5.2.2. Düğüm noktaları yarı rijit alın levhalı endüstri yapısının Eurocode 3'e göre hesabı	52
5.2.2.1. Çatı kirişlerinin boyutlandırılması	52
5.2.2.2. Kolonların boyutlandırılması	53
6. SONUÇLAR	54
6.1. Sayısal hesapların değerlendirilmesi	54
6.1.1. Üç katlı büro binasına ait değerlendirmeler	55
6.1.1.1. Kiriş ve kolon kesitlerinin karşılaştırılması	55
6.1.1.2. Deplasmanların karşılaştırılması	55
6.1.2. Endüstri yapısına ait değerlendirmeler	58
6.1.2.1. Deplasmanların karşılaştırılması	58
6.1.2.2. Kiriş ve kolon kesitlerinin karşılaştırılması	59
KAYNAKLAR	61
EKLER	62
A.ÜÇ KATLI BÜRO BİNASINA AİT YÜK ANALİZİ	62
A.1. Normal katlarda	62
A.2. Çatı katında	62
A.3. Rüzgâr yükü	63
A.3.1. W_x (X doğrultusu rüzgar) yüklemesi	63
A.3.2. W_y (Y doğrultusu rüzgar) yüklemesi	64
A.4. Deprem hesabı	64
A.4.1. Bina ağırlığının bulunması	65
A.4.1.1. Döşeme ağırlığı	65
A.4.1.2. Dış duvarlar	65
A.4.1.3. Kirişler	65
A.4.1.4. Kolonlar	66
A.4.2. X doğrultusundaki deprem kuvveti	67
A.4.2.1. X doğrultusunda herbir kata gelen deprem kuvveti	67
A.4.3. Y doğrultusundaki deprem kuvveti	67
A.4.3.1. Y doğrultusunda herbir kata gelen deprem kuvveti	67

B.ÜÇ KATLI BÜRO BİNASINA AİT YÜK KOMBİNASYONLARI	68
B.1. Taşıma sınır durumu kombinasyonları	68
B.2. Kullanma sınır durumu kombinasyonları	69
C.DÜĞÜM NOKTALARI RİJİT ÜÇ KATLI BÜRO BİNASININ EUROCODE 3'E GÖRE HESABI	70
C.1. Tali kirişlerin boyutlandırılması	70
C.1.1. Kullanma sınır durumuna göre	70
C.1.2. Taşıma sınır durumuna göre	70
C.1.2.1. Enkesit eğilme dayanımı	70
C.1.2.2. Yanal burkulma hesabı	71
C.1.2.3. Kesme burkulması hesabı	72
C.1.2.4. Azaltılmış flanş burkulması hesabı	72
C.2. X doğrultusundaki ana kirişlerin boyutlandırılması	72
C.2.1. Kullanma sınır durumuna göre	72
C.2.2. Taşıma sınır durumuna göre	72
C.2.2.1. Enkesit eğilme dayanımı	72
C.2.2.2. Yanal burkulma hesabı	74
C.2.2.3. Kesme burkulması hesabı	74
C.2.2.4. Azaltılmış flanş burkulması hesabı	75
C.3. Y doğrultusundaki çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması	78
C.3.1.K47 kirişinin kullanma sınır durumuna göre kontrolü	78
C.3.2. K47 kirişinin taşıma sınır durumuna göre kontrolü	78
C.2.2.1. Enkesit eğilme dayanımı	78
C.2.2.2. Yanal burkulma hesabı	80
C.2.2.3. Kesme burkulması hesabı	80
C.2.2.4. Azaltılmış flanş burkulması hesabı	80
C.3.3.K65 kirişinin kullanma sınır durumuna göre kontrolü	80
C.3.4. K65 kirişinin taşıma sınır durumuna göre kontrolü	81
C.2.2.1. Enkesit eğilme dayanımı	81
C.2.2.2. Yanal burkulma hesabı	81
C.2.2.3. Kesme burkulması hesabı	82
C.2.2.4. Azaltılmış flanş burkulması hesabı	82
C.4. Kolonların boyutlandırılması	85
C.4.1.S4 (HEB 160) kolonunun boyutlandırılması	85
C.4.1.1. Kullanma sınır durumuna göre	85
C.4.1.2. Taşıma sınır durumuna göre	85
C.4.2.S5 (HEB 260) kolonunun boyutlandırılması	87

C.4.2.1. Kullanma sınır durumuna göre	87
C.4.2.2. Taşıma sınır durumuna göre	87
C.4.3.S9 (HEB 220) kolonunun boyutlandırılması	89
C.4.3.1. Kullanma sınır durumuna göre	89
C.4.3.2. Taşıma sınır durumuna göre	89
C.5. Çelik çaprazların boyutlandırılması	92
D.DÜĞÜM NOKTALARI YARI RİJİT ALIN LEVHALI ÜÇ KATLI BÜRO BİNASININ EUROCODE 3'E GÖRE HESABI	93
D.1. HEB 260 - IPE 200 Birleşimi	93
D.1.1. Çekme bölgesi	93
D.1.2.1. Çekme bölgesinde kolon başlığı	95
D.1.2.2. Çekme bölgesinde alın levhası	95
D.1.2.3. Çekme bölgesinde bulonlar	97
C.1.2.4. Çekme bölgesinde kolon gövdesi	97
D.1.2. Basınç bölgesi	93
D.1.2.1. Basınç bölgesinde kolon gövdesi	97
D.1.2.2. Basınç bölgesinde giriş başlığı	98
D.1.3. Kayma bölgesi	98
D.1.3.1. Kayma bölgesinde kolon gövdesi	98
D.2. HEB 220 - IPE 200 Birleşimi	99
D.2.1. Çekme bölgesi	99
D.2.2.1. Çekme bölgesinde kolon başlığı	99
D.2.2.2. Çekme bölgesinde alın levhası	100
D.2.2.3. Çekme bölgesinde bulonlar	102
C.2.2.4. Çekme bölgesinde kolon gövdesi	102
D.2.2. Basınç bölgesi	103
D.2.2.1. Basınç bölgesinde kolon gövdesi	103
D.2.2.2. Basınç bölgesinde giriş başlığı	103
D.2.3. Kayma bölgesi	103
D.2.3.1. Kayma bölgesinde kolon gövdesi	103
D.3. HEB 160 - IPE 200 Birleşimi	99
D.3.1. Çekme bölgesi	104
D.3.1.1. Çekme bölgesinde kolon başlığı	104
D.3.1.2. Çekme bölgesinde alın levhası	106
D.3.1.3. Çekme bölgesinde bulonlar	107
D.3.1.4. Çekme bölgesinde kolon gövdesi	108
D.3.2. Basınç bölgesi	108
D.3.2.1. Basınç bölgesinde kolon gövdesi	108

D.3.2.2. Basınç bölgesinde kiriş başlığı	109
D.3.3. Kayma bölgesi	109
D.3.3.1. Kayma bölgesinde kolon gövdesi	109
D.4. X Doğrultusundaki Ana Kirişlerin Boyutlandırılması	109
D.4.1. Kullanma sınır durumuna göre	112
D.4.2. Taşıma sınır durumuna göre	112
D.4.2.1. Enkesit eğilme dayanımı	112
D.4.2.2. Yanal burkulma hesabı	112
D.4.2.3. Kesme burkulması hesabı	114
D.4.2.4. Azaltılmış flanş burkulması hesabı	114
D.5. Kolonların Boyutlandırılması	114
D.5.1.S4 (HEB 160) kolonunun boyutlandırılması	114
D.5.1.1. Kullanma sınır durumuna göre	114
D.5.1.2. Taşıma sınır durumuna göre	115
D.5.2.S5 (HEB 260) kolonunun boyutlandırılması	117
D.5.2.1. Kullanma sınır durumuna göre	117
D.5.2.2. Taşıma sınır durumuna göre	117
D.5.3.S9 (HEB 220) kolonunun boyutlandırılması	119
D.5.3.1. Kullanma sınır durumuna göre	119
D.5.3.2. Taşıma sınır durumuna göre	119
E.ENDÜSTRİ YAPISINA AİT YÜK ANALİZİ	
E.1. Zati Yükler	122
E.2. Kar Yüğü	122
E.3. Rüzgâr yüğü	123
E.3.1. W_x (X doğrultusu rüzgar) yükleme	123
E.3.2. W_y (Y doğrultusu rüzgar) yükleme	124
E.4. Deprem hesabı	124
E.4.1. Bina ağırlığının bulunması	125
E.4.1.1. Panel ağırlığı	125
E.4.1.2. Aşık ve kuşaklar	125
E.4.1.3. Çatı çaprazları ve düşey çaprazlar	125
E.4.1.4. Kolonlar	126
E.4.1.5. Çatı kirişleri	126
E.4.1.6. Çerçeve kirişleri	126
E.4.2. X doğrultusundaki deprem kuvveti	126
E.4.3. Y doğrultusundaki deprem kuvveti	127

F.ENDÜSTRİ YAPISINA AİT YÜK KOMBİNASYONLARI	128
F.1. Taşıma sınır durumu kombinasyonları	128
F.2. Kullanma sınır durumu kombinasyonları	129
G.DÜĞÜM NOKTALARI RİJİT ENDÜSTRİ YAPISININ EUROCODE 3'E GÖRE HESABI	130
G.1. Çatı kirişlerin boyutlandırılması	130
G.1.1. Kullanma sınır durumuna göre	130
G.1.2. Taşıma sınır durumuna göre	130
G.1.2.1. Enkesit eğilme dayanımı	130
G.1.2.2. Yanal burkulma hesabı	132
G.1.2.3. Kesme burkulması hesabı	133
G.1.2.4. Azaltılmış flanş burkulması hesabı	133
G.2. Çerçeve kirişlerin boyutlandırılması	133
G.2.1. Kullanma sınır durumuna göre	133
G.2.2. Taşıma sınır durumuna göre	134
G.2.2.1. Enkesit eğilme dayanımı	134
G.2.2.2. Yanal burkulma hesabı	134
G.2.2.3. Kesme burkulması hesabı	135
G.2.2.4. Azaltılmış flanş burkulması hesabı	135
G.3. Kolonların boyutlandırılması	135
G.3.1. Kullanma sınır durumuna göre	135
G.3.2. Taşıma sınır durumuna göre	135
G.4. Düşey çaprazların (Çift NPU160) boyutlandırılması	138
G.5. Çatı çaprazlarının (5 inch boru) boyutlandırılması	139
H.DÜĞÜM NOKTALARI YARI RİJİT ALIN LEVHALI ENDÜSTRİ YAPISININ EUROCODE 3'E GÖRE HESABI	141
H.1. HEB 300 - IPE 500 Birleşimi	141
H.1.1. Çekme bölgesi	141
H.1.2.1. Çekme bölgesinde kolon başlığı	141
H.1.2.2. Çekme bölgesinde alın levhası	143
H.1.2.3. Çekme bölgesinde bulonlar	145
H.1.2.4. Çekme bölgesinde kolon gövdesi	145
H.1.2. Basınç bölgesi	145

H.1.2.1. Basınç bölgesinde kolon gövdesi	145
H.1.2.2. Basınç bölgesinde giriş başlığı	146
H.1.3. Kayma bölgesi	146
H.1.3.1. Kayma bölgesinde kolon gövdesi	146
H.2. HEB 300 - IPE 200 Birleşimi	147
H.2.1. Çekme bölgesi	147
H.2.2.1. Çekme bölgesinde kolon başlığı	147
H.2.2.2. Çekme bölgesinde alın levhası	149
H.2.2.3. Çekme bölgesinde bulonlar	150
H.2.2.4. Çekme bölgesinde kolon gövdesi	151
H.2.2. Basınç bölgesi	151
H.2.2.1. Basınç bölgesinde kolon gövdesi	151
H.2.2.2. Basınç bölgesinde giriş başlığı	151
H.2.3. Kayma bölgesi	152
H.2.3.1. Kayma bölgesinde kolon gövdesi	152
H.3.Kolonların Boyutlandırılması	152
H.3.1. Kullanma sınır durumuna göre	104
H.4. HEB 320 - IPE 550 Birleşimi	153
H.4.1. Çekme bölgesi	153
H.4.1.1. Çekme bölgesinde kolon başlığı	153
H.4.1.2. Çekme bölgesinde alın levhası	155
H.4.1.3. Çekme bölgesinde bulonlar	157
H.4.1.4. Çekme bölgesinde kolon gövdesi	157
H.4.2. Basınç bölgesi	157
H.4.2.1. Basınç bölgesinde kolon gövdesi	157
H.4.2.2. Basınç bölgesinde giriş başlığı	158
H.4.3. Kayma bölgesi	158
H.4.3.1. Kayma bölgesinde kolon gövdesi	158
H.5. HEB 320 - IPE 200 Birleşimi	159
H.5.1. Çekme bölgesi	159
H.5.1.1. Çekme bölgesinde kolon başlığı	159
H.5.1.2. Çekme bölgesinde alın levhası	161
H.5.1.3. Çekme bölgesinde bulonlar	162
H.5.1.4. Çekme bölgesinde kolon gövdesi	163
H.5.2. Basınç bölgesi	163
H.5.2.1. Basınç bölgesinde kolon gövdesi	163
H.5.2.2. Basınç bölgesinde giriş başlığı	163
H.5.3. Kayma bölgesi	164

H.5.3.1. Kayma bölgesinde kolon gövdesi	164
H.6.Kolonların Boyutlandırılması	164
H.6.1. Kullanma sınır durumuna göre	164
H.7. HEB 360 - IPE 550 Birleşimi	165
H.7.1. Çekme bölgesi	165
H.7.1.1. Çekme bölgesinde kolon başlığı	165
H.7.1.2. Çekme bölgesinde alın levhası	167
H.7.1.3. Çekme bölgesinde bulonlar	169
H.7.1.4. Çekme bölgesinde kolon gövdesi	169
H.7.2. Basınç bölgesi	169
H.7.2.1. Basınç bölgesinde kolon gövdesi	169
H.7.2.2. Basınç bölgesinde giriş başlığı	170
H.7.3. Kayma bölgesi	170
H.7.3.1. Kayma bölgesinde kolon gövdesi	170
H.8.Kolonların Boyutlandırılması	172
H.8.1. Kullanma sınır durumuna göre	172
H.8.2. Taşıma sınır durumuna göre	172
H.9 Çatı kirişlerin boyutlandırılması	174
H.9.1. Kullanma sınır durumuna göre	174
H.9.2. Taşıma sınır durumuna göre	174
H.9.2.1. Enkesit eğilme dayanımı	174
H.9.2.2. Yanal burkulma hesabı	175
H.9.2.3. Kesme burkulması hesabı	175
H.9.2.4. Azaltılmış flanş burkulması hesabı	176
EK İÇERİĞİ	177
ÖZGEÇMİŞ	178

KISALTMALAR

EC3	: Eurocode 3
ECCS	: Commission of the European Communities
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
TS	: Türk Standartları

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Kiriş kolon birleşimlerinin EC3'e göre sınıflandırılması	13
Tablo 2.2. Birleşimlerin tasarımında yapılan kabuller.....	14
Tablo 3.1. EN 10025'e uygun yapı çelikleri için nominal akma ve nominal kopma değerleri.....	16
Tablo 3.2. Taşıma yükü sınır durumu için yük kombinasyonları	18
Tablo 3.3. Kullanma sınır durumu için yük kombinasyonları	19
Tablo 3.4. Düşey yerdeğiştirmeler için tavsiye edilen limit değerler.....	20
Tablo 3.5. Kolon uçlarında yatay deplasmanlar için tavsiye edilen limit değerler	21
Tablo 3.6. Döşeme titreşimleri için limit değerler.....	22
Tablo 3.7. Kusurluluk katsayıları.....	25
Tablo 3.8. Enkesitlere göre burkulma eğrileri seçimi.....	27
Tablo 3.9. Azaltma katsayıları.....	28
Tablo 6.1. Rijit ve yarı rijit düğüm noktalı üç katlı bina kiriş kesitleri karşılaştırması	56
Tablo 6.2. Rijit ve yarı rijit düğüm noktalı üç katlı bina kiriş deplasmanları karşılaştırması	57
Tablo C.1. X yönü kirişleri kesme kuvveti kontrolü.....	73
Tablo C.2. X yönü kirişleri eğilme dayanımı kontrolü.....	76
Tablo C.3. X yönü kirişleri kullanma sınır durumuna göre kontrolü.....	77
Tablo C.4. Y yönü kirişleri kullanma sınır durumuna göre kontrolü.....	79
Tablo C.5. Y yönü kirişleri kesme kuvveti kontrolü.....	83
Tablo C.6. Y yönü kirişleri eğilme dayanımı kontrolü.....	84
Tablo D.1. X yönü kirişleri kesme kuvveti kontrolü.....	110
Tablo D.2. X yönü kirişleri eğilme dayanımı kontrolü.....	111
Tablo D.3. X yönü kirişleri kullanma sınır durumuna göre kontrolü.....	113

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1	Tek köşebentli gövde birleşimi[4].....4
Şekil 2.2	Çift köşebentli gövde birleşimi[4].....4
Şekil 2.3	Üst ve alt başlık köşebentli, gövde çift köşebentli birleşimi[4].....5
Şekil 2.4	Üst ve alt başlık köşebentli birleşim[4].....6
Şekil 2.5	Alın levhalı birleşim tipi[4].....7
Şekil 2.6	Kiriş gövde derinliğince alın levhalı birleşim tipi[4].....7
Şekil 2.7	Kısa alın levhalı birleşim tip[4].....8
Şekil 2.8	Kiriş kolon birleşimlerine ait M-Φ diyagramları.....8
Şekil 2.9	Yatay ötelenmesi tutulmamış sistemlerde kiriş kolon birleşimlerinin tavsiye edilen sınıflandırma diyagramı [3].....11
Şekil 2.10	Yatay ötelenmesi tutulmuş sistemlerde kiriş kolon birleşimlerinin tavsiye edilen sınıflandırma diyagramı [3].....11
Şekil 2.11	Kiriş kolon birleşimlerinin EC3'e göre standart sınıflandırılması.....13
Şekil 5.1	Üç katlı bina 1.kat planı.....45
Şekil 5.2	Üç katlı bina 2.kat planı.....45
Şekil 5.3	Üç katlı bina 3.kat planı.....46
Şekil 5.4	Üç katlı bina 1 aksı görünüşü.....47
Şekil 5.5	Üç katlı bina 2 aksı görünüşü.....47
Şekil 5.6	Üç katlı bina A aksı görünüşü.....48
Şekil 5.7	Endüstri yapısı çatı dispozisyon planı.....50
Şekil 5.8	Endüstri yapısı 2 aksı görünüşü.....51
Şekil D.1	HEB 260-IPE 200 birleşimi.....93
Şekil D.2	HEB 220-IPE 200 birleşimi.....99
Şekil D.3	HEB 160-IPE 200 birleşimi.....104
Şekil H.1	HEB 300-IPE 500 birleşimi.....141
Şekil H.2	HEB 280-IPE 200 birleşimi.....147
Şekil H.3	HEB 320-IPE 550 birleşimi.....153
Şekil H.4	HEB 320-IPE 200 birleşimi.....159
Şekil H.5	HEB 360-IPE 550 birleşimi.....165
Şekil H.6	Guseli birleşim.....171

SEMBOL LİSTESİ

A	: Enkesit alanı
A_c	: Kolon enkesit alanı
A_{eff}	: Efektif alan
A_f	: Tek bir profil alanı
A_{fc}	: Kiriş basınç başlığının alanı
A_{net}	: Net enkesit alanı
A_s	: Bulon dış dibi alanı
A_{vc}	: Enkesite ait kesme alanı
A_w	: Kiriş gövde alanı
a	: Kusur katsayısı
$B_{t,Rd}$	: Bulonların çekme dayanımı
d	: Kiriş kesit yüksekliği
E	: Çelik elastisite modülü
F_b	: Kesit basınç başlığı alanı
F_{Rd}	: Elemana ait dayanım kuvveti
f_e	: Doğal frekans
f_y	: Akma gerilmesi
f_{yf}	: Kiriş basınç başlığının akma gerilmesi
f_y'	: Azaltılmış akma gerilmesi
f_{ycw}	: Kolon gövde yüzü akma gerilmesi
f_{yfb}	: Kiriş flanşının akma gerilmesi
f_{yp}	: Alın levhasının akma gerilmesi
f_{ywb}	: Kiriş gövdesinin akma gerilmesi
f_{ywc}	: Kolon gövdesinin akma gerilmesi
G	: Sabit yükler
h	: Tek katlı yapılarda yapı yüksekliği, kiriş kesit yüksekliği
h_1	: Çok katlı yapılarda kat yüksekliği
h_0	: Çok katlı yapılarda bina toplam yüksekliği
I	: Atalet momenti
I_b	: Birleşimi oluşturan kirişin atalet momenti
I_c	: Birleşimi oluşturan kolonun atalet momenti
I_f	: Tek bir profilin atalet momenti
I_{eff}	: Efektif rijitlik
I_{yb}	: Basınç başlığının atalet momenti
i_0	: Efektif atalet yarıçapı
i_{yb}	: Basınç başlığının atalet yarıçapı
K	: Katsayı; Rijitlik
K_b	: Binanın en üst katındaki I_b/L_b değeri
K_c	: Gözönüne alınan kattaki tüm kolonların I_c/L_c değeri
k	: Katsayı
k_t	: Kesme için burkulma katsayısı
L_b	: Birleşimi oluşturan kirişin boyu

L_c	: Gözönüne alınan katta kolon yüksekliği
m	: Birim boya düşen kütle
M	: Moment
$M_{b, Rd}$	: Yanal burkulma hesabı tasarım moment değeri
M_{cr}	: Yanal burkulmayı oluşturacak elastik kritik kuvvet
M_e	: Elastik moment dayanımı
$M_{N, Rd}$	: Azaltılmış plastik moment değeri
M_p	: Birleşimin plastikleşme moment değeri
$M_{pl, Rd}$	: Plastik moment dayanımı
M_{Rd}	: Kesit moment taşıma gücü
M_{Sd}	: Elemana etkiyen moment değeri
M_u	: Taşıma yükü sınır durumu taşıma moment değeri
N	: Normal kuvvet
N_{cr}	: İlgili burkulma moduna ait elastik kritik kuvvet
$N_{c, Rd}$	: Kesitin basınç dayanımı
N_{Sd}	: Elemana etkiyen eksenel basınç değeri
$N_{t, Rd}$	: Kesitin çekme kapasitesi
$N_{t, sd}$	: Eksenel çekme kuvvet değeri
$N_{pl, Rd}$	: Kesit eksenel kuvvet taşıma gücü
Q	: Hareketli yük
S_j	: Birleşimin başlangıç rijitlik değeri
$S_{j, ini}$	: Birleşimin başlangıç rijitlik değeri
T	: Kesme kuvveti
t_w	: Profil gövde kalınlığı
$W_{el, y}$	: Kesite ait y-y eksenini etrafındaki elastik mukavemet momenti
$W_{pl, y}$	: Kesite ait y-y eksenini etrafındaki elastik mukavemet momenti
W_{com}	: Kesite ait en üst basınç lifinde elastik mukavemet momenti
Φ	: Dönme değeri
γ_{m0}	: 1, 2 ve 3. sınıf enkesitler için kısmi güvenlik katsayıları.
γ_{m1}	: Burkulmaya haiz elemanlar için kısmi güvenlik katsayıları.
γ_{m2}	: Bulonlu kesitlerde net kesit alanı için güvenlik katsayıları
x	: İlgili burkulma moduna ait azaltma katsayısı
x_y	: y-y eksenlerine bağlı azaltma katsayısı
x_z	: z-z eksenlerine bağlı azaltma katsayısı
x_{LT}	: Yanal burkulma hesabı azaltma katsayısı
μ	: Çubuk narinliğine bağlı bir katsayı
$\emptyset_{vec}$	: Azaltma katsayısı
λ	: İlgili burkulma moduna ait azaltma katsayısı
β	: Katsayı
β_a	: Burkulmaya maruz elemanlar için katsayı
β_w	: Yanal burkulma hesaplarında gözönüne alınacak katsayı
β_{my}	: y-y eksenlerine bağlı eşdeğer üniform moment katsayısı
β_{mz}	: z-z eksenlerine bağlı eşdeğer üniform moment katsayısı
τ	: Kayma gerilmesi
τ_{be}	: Basit kritik kesme kuvveti
τ_{cr}	: Elastik kritik kesme kuvveti
δ_1	: Ani sehim
δ_0	: Yüklenmemiş kirişin mevcut sehim
δ_2	: Sürekli sehim
δ_{max}	: Maksimum toplam sehim

ε	: Akma gerilmesine bağlı bir katsayı
π	: Pi sayısı
σ	: Gerilme
σ_a	: Akma gerilmesi

YARI RİJİT DÜĞÜM NOKTALI ÇERÇEVE SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı çelik yapılarda artık bahsedilmesi kaçınılmaz bir kavram olarak ortaya çıkan yarı rijit düğüm noktalarının davranış ve hesap metotları bakımından derinlemesine irdelenmesi ve yarı rijit düğüm noktalı çerçeve sistemlerinin analizinin diğer çerçeve sistemleri ile karşılaştırmak sureti ile ele alınmasıdır.

Yarı-rijit düğüm noktası kavramı yıllar öncesinde ortaya çıkan bir kavram olmasına karşın çelik yapılar halen kiriş kolon birleşimlerinin tam mafsallı veya tam rijit olduğu kabulüne göre tasarlanırlar. Bu kabuller; rijit düğüm noktasında birleşen elemanlar arasında rölatif dönmenin olmadığı, momentin elemanların rijitlikleri ile orantılı olarak dağıldığıdır. Mafsallı düğüm noktasında ise elemanlar birleşim noktalarında dönmeye göre serbesttir bu yüzden kiriş uç momentleri sıfırdır. Bu kabuller yapı analizinde büyük kolaylıklar sağlar fakat düğüm noktasının gerçek davranışı göz ardı edilmiş olur.

Yarı-rijit birleşimler teşkil etmenin yapısal ve ekonomik faydaları bilinmesine karşın hesaplarda nadiren kullanılırlar. Bunun nedeni yarı-rijit birleşimlerin nonlineer bir davranış göstermesinden dolayı hesaplarının zor ve kompleks olmasıdır.

İşte bu çalışmada yarı-rijit düğüm noktalarının birçok parametreye bağlı hesap metotları incelenmeye çalışılmıştır. Bölüm 1’de genel olarak birleşim tanımları yapılmış, Bölüm 2’de birleşim sınıflandırılmasından bahsedilmiştir. Bölüm 3’te Eurocode 3’ün genel ilkeleri ve hesap metotları ele alınmış, Bölüm 4’te yarı-rijit birleşim kavramının tanımlanması ve bulonlu, kaynaklı yarı-rijit düğüm noktalarının hesap metotları ve davranışları bakımından incelenmesi verilmiştir, Bölüm 5’de çeşitli sayısal örnekler verilmiş ve Bölüm 6’da da bu sayısal örneklerin sonuçları irdelenmiştir.

ANALYSIS OF FRAMES WITH SEMI-RIGID JOINTS

SUMMARY

The aim of this thesis is to study semi-rigid joints according to their calculation methods and behavior which became an unavoidable concept and to compare analysis of frames with semi-rigid joints with others.

Even though the semirigidity concept was introduced many years ago, steel structures are still designed by assuming that beam-to-column joints are either pinned or rigid. The assumptions of rigid joints imply that there is no relative rotation between the connected members, so that the distribution of the moments occurs according to the flexural stiffness of the connected members. The assumption of pinned connections implies that the end rotation of members is free to occur, so that the beam end moment is zero. These assumptions simplify calculations very much but disregard joint behavior.

The economic and structural benefits of semi-rigid joints are well known but they are seldom used by designers because semi-rigid connections have nonlinear behavior so that the analysis and design of frames using them is difficult and cumbersome.

In this thesis we try to study about calculations of semi-rigid joints which depend on a lot of parameters. In chapter 1 general definition of joints are given, in chapter 2 classification of joints is defined, in chapter 3 general principles and calculation methods of Eurocode 3 are talked about, in chapter 4 semi rigid joint concept is defined and explanations about bolted and welded semi rigid joints are given. In chapter 5 several types of numerical examples are given and the results of these numerical examples are examined in chapter 6.

1. GİRİŞ

Günümüzde çelik yapılarla ilgili yapılan statik hesaplarda düğüm noktalarının davranışı hesaplarda gözönüne alınmaz. Çelik çerçevelerin yapısal analizinde düğüm noktalarının tam rijit veya mafsallı düğüm noktası şartlarını ideal bir biçimde sağladığı kabul edilir. Bu şartlar; mafsallı düğüm noktasında elemanlar arasında moment aktarılmadığı ve birleşen elemanların birbirlerine göre rölatif dönme yapabildiği, rijit birleşimlerde düğüm noktasına etkiyen momentin elemanların rijitlikleri ile orantılı olarak dağılması ve elemanlar arasında rölatif dönme meydana gelmemesidir. Bu kabul mühendislere hesaplarda büyük kolaylıklar sağlar fakat bu kabul ile kurulan modeller yapının gerçek davranışını yansıtmaz.

Yapılan deneylerden elde edilen veriler göstermiştir ki mafsallı olarak kabul edilen birleşimler belli bir dönme rijitliğine sahiptir ve rijit olarak kabul edilen birleşimlerde de elemanlar arasında rölatif dönme görülebilmektedir. [2]

Düğüm noktalarının bu tip davranışları yapının davranışının önemli ölçüde etkiler: Mafsallı düğüm noktalarının gösterdiği eğilme rijitliği kirişteki moment diyagramının değişmesine yol açar. Rijit düğüm noktalarında meydana gelen rölatif dönmeler yapıya ikinci derece etkilerin gelmesine neden olur.

Tüm bu etkilerin ele alınıp yapının gerçek davranışını yansıtan modellerin kurulabilmesi için yarı-rijit düğüm noktası kavramının kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Yarı rijit düğüm noktaları elemanlar arasında moment aktarımının olduğu ama aynı zamanda rölatif dönmenin de meydana geldiği düğüm noktalarıdır. Birleşimde hem moment hem de dönme mevcuttur yani ne tam rijit ne de tam mafsallı düğüm noktası olarak davranırlar.

Özellikle çelik yapılar, mukavemet ve stabilite açısından, birleşimlerin yarı-rijit davranışlarından etkilenirler. Bu yüzden bu birleşimlerin davranışını tam olarak anlayabilmenin yolu düğüm noktalarına ait moment-dönme diyagramlarının çizilmesidir. Ancak yarı-rijit düğüm noktalarının moment-dönme diyagramları nonlineer bir bağıntıya sahiptir ve bu diyagramı etkileyen çok fazla parametre vardır.

Düğüm noktalarının moment-dönme eğrilerinin tahmini için birçok ampirik, analitik, mekanik, sonlu eleman ve deneysel modeller kurulmuştur. Bu modellerden

elde elden datalarla yazılan matematiksel ifadelerle moment-dönme eğrileri oluşturulup yarı-rijit düğüm noktalarının davranışı belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmanın amacı çelik yapılarda artık bahsedilmesi kaçınılmaz bir kavram olarak ortaya çıkan yarı rijit düğüm noktalarının davranış ve hesap metotları bakımından derinlemesine irdelenmesi ve yarı rijit düğüm noktalı çerçeve sistemlerinin analizinin diğer çerçeve sistemleri ile karşılaştırmak sureti ile ele alınmasıdır.

2.KİRİŞ KOLON BİRLEŞİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

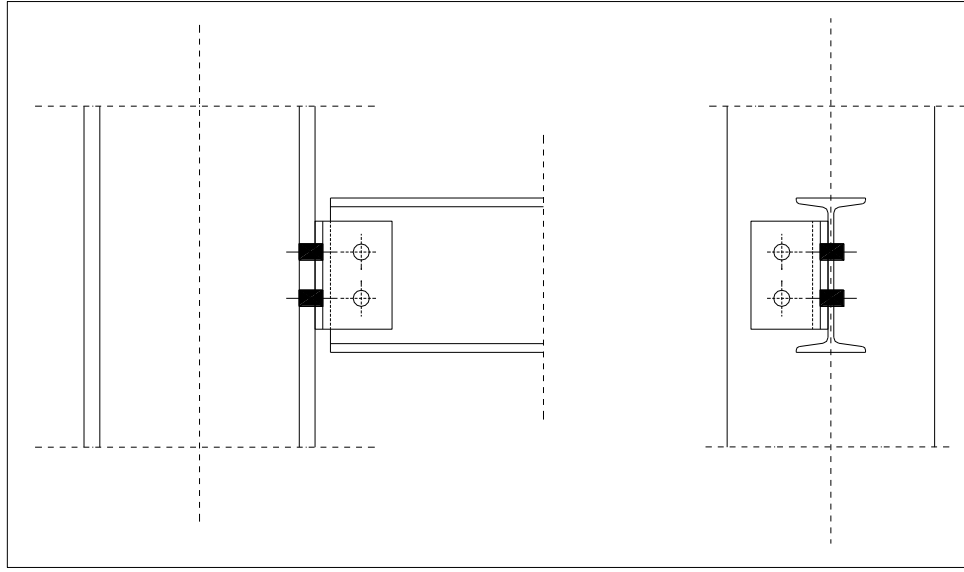
Kiriş – kolon birleşimlerinin gerçek davranışlarını incelemek için uzun yıllardan beri gerek deneysel gerekse teorik çalışmalar sürdürülmektedir. Ancak birleşimlerin yarı-rijit davranışlarını esas alan pratik uygulamalar son yıllarda yaygınlaşmıştır. Pratiğe dönük uygulamaların bu kadar gecikmiş olmasının nedenlerinden en önemlisi, giriş-kolon birleşimlerinin konstrüksiyonun tüm davranış parametrelerini dikkate alan bir yaklaşımla sınıflandırılabilmesinin çok güç olmasıdır. Bu durum, pek çok birleşim tipinin ve buna bağlı olarak da fazla sayıda değişkenin mevcut olmasının doğal bir sonucudur.

Bu bölümde ilk olarak Kishi ve Chen'in yaptıkları deneyler sonucunda elde ettikleri birleşim sınıflandırılması tanıtılacak ikinci olarak da Eurocode 3'e göre birleşim sınıflandırılması incelenecektir.

2.1 Çelik Yapılarda Kullanılan Birleşim Tipleri

2.1.1 Tek Köşebentli Gövde Birleşimi

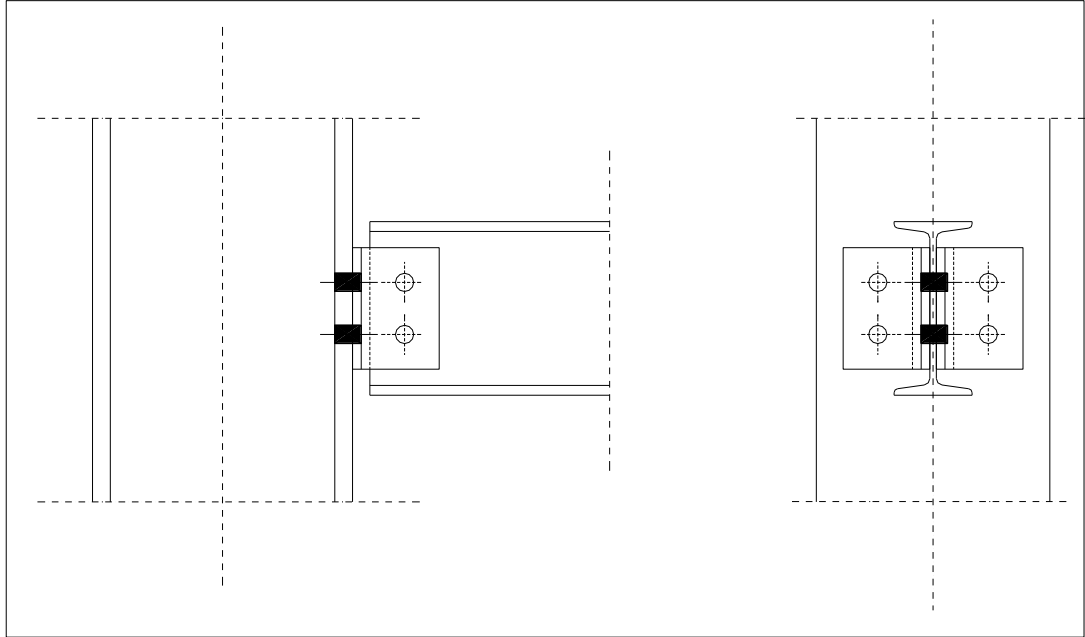
Şekil 2,1'de tek köşebentle yapılmış giriş-kolon birleşiminin kesit ve görünüşü gösterilmiştir. Bu tip bir birleşim tek köşebentin bulonla veya kaynakla kolon başlığına ve giriş gövdesine sabitlenmesi sureti ile yapılır. Pratikte bu tip birleşimlerde genel olarak köşebentin yerini tek levha alır. Köşebentle yapılan birleşime nazaran daha az malzeme kullanılmasına rağmen birleşim rijitliği aynı veya daha fazladır. Kishi ve Chen yapmış oldukları deneylerle bu tip birleşimlerin moment aktarmadığı dolayısıyla mafsallı bir birleşim olarak gözönüne alınması gerektiğini söylemişlerdir.



Şekil 2.1 Tek köşebentli gövde birleşimi [5]

2.1.2 Çift Köşebentli Gövde Birleşimi

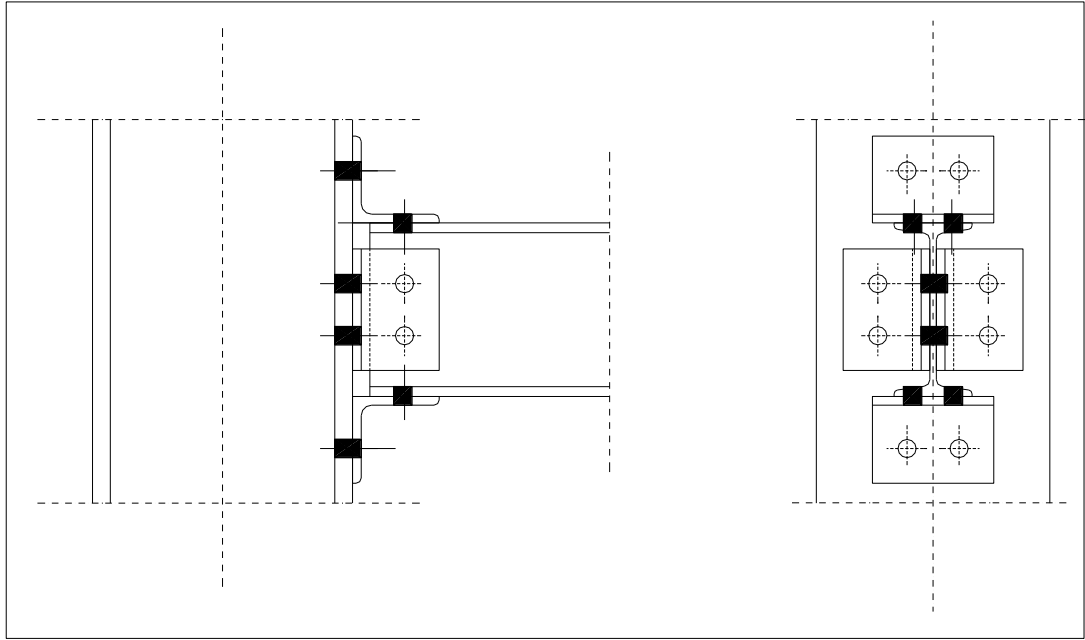
Şekil 2,1’de tek köşebentle yapılmış kiriş-kolon birleşiminin kesit ve görünüşü gösterilmiştir. Bu tip bir birleşim çift köşebentin bulonla veya kaynakla kolon başlığına ve kiriş gövdesine sabitlenmesi sureti ile yapılır. Bu tip birleşimlerde daha çok yüksek mukavemetli bulonlar kullanılır. Bu şekilde tasarlanan düğüm noktasının rijitliği tek köşebentle teşkil edilene göre daha fazla olmasına karşın yine de birleşim mafsallı olarak gözönüne alınmalıdır.



Şekil 2.2 Çift köşebentli gövde birleşimi [5]

2.1.3 Üst ve Alt Başlık Köşebentli, Gövde Çift Köşebentli Birleşim

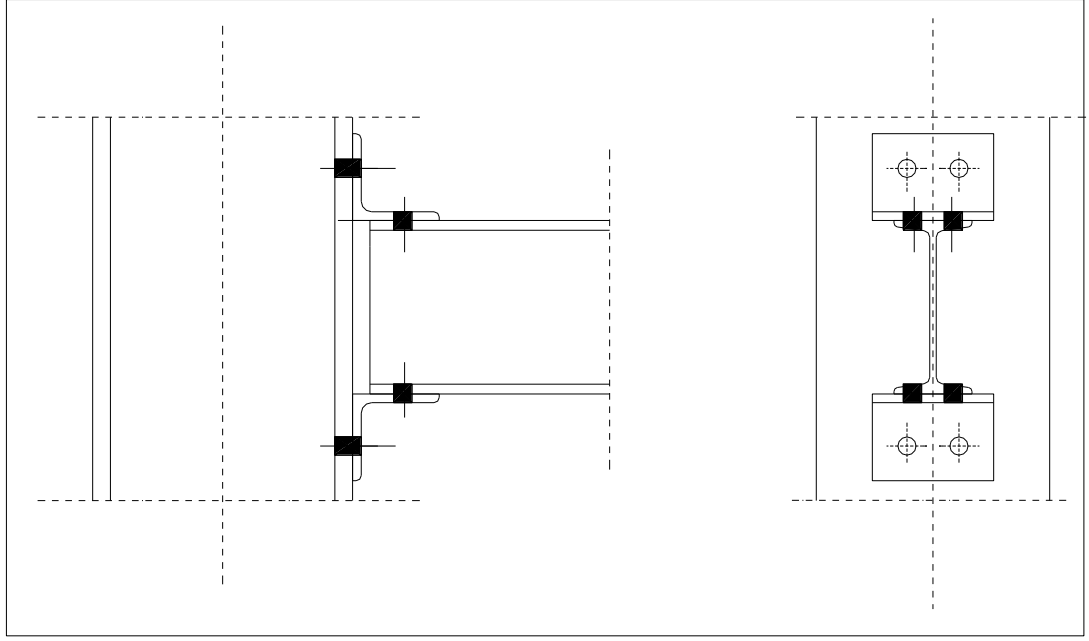
Bu tip bir birleşim kiriş gövdesindeki çift köşebentlerin yanısıra kiriş üst ve alt flanşlarında da köşebentlerin kullanılmasından ibarettir. Kiriş alt ve üst başlıklarında kullanılan köşebentlerin moment aktarımında, gövdede kullanılan köşebentlerin ise kesme kuvvetinin aktarılmasında çalıştığı kabul edilir. Bu tip bir birleşim yarı rijit bölgeye tekabül etmektedir.



Şekil 2.3 Üst ve Alt başlık köşebentli, gövde çift köşebentli birleşimi [5]

2.1.4 Üst ve Alt Başlık Köşebentli Birleşim

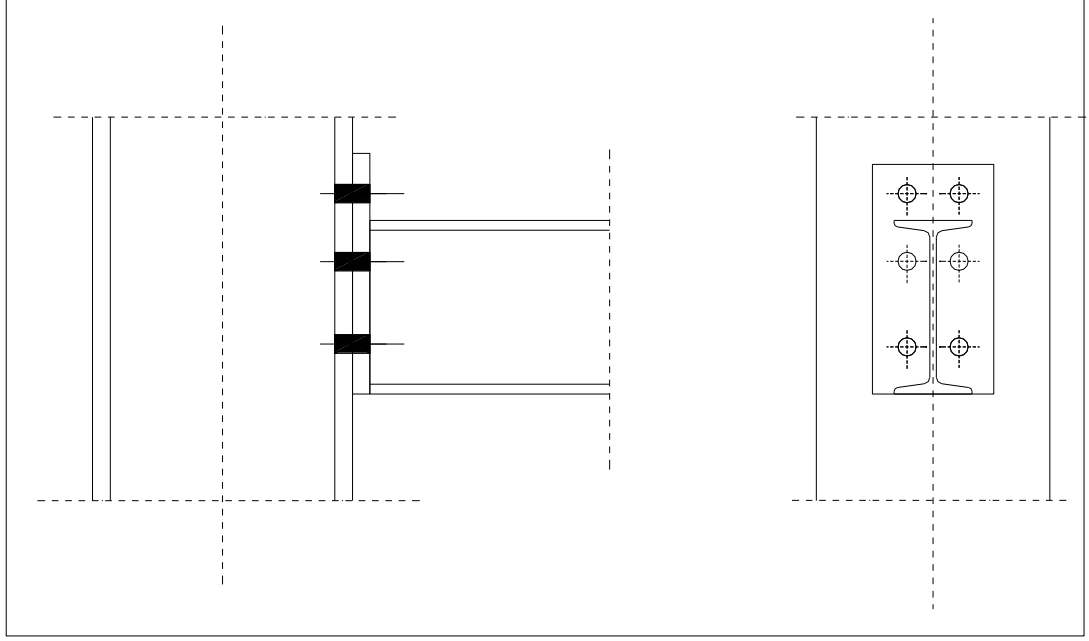
Bu tür bir birleşimin bir önceki birleşimden tek farkı kesme kuvvetini aktaran gövde köşebentlerinin olmamasıdır. Yapılan deneyler sonucunda düğüm noktasında oluşan kesme kuvvetinin kirişin alt flanşındaki köşebent tarafından karşılandığı gözlemlenmiştir. Kiriş üst flanşındaki köşebentin ise moment aktardığı gözlemlenmiştir. Birleşim yarı rijit bir birleşimdir.



Şekil 2.4 Üst ve Alt başlık köşebentli birleşim [5]

2.1.5 Alın Levhalı Birleşim

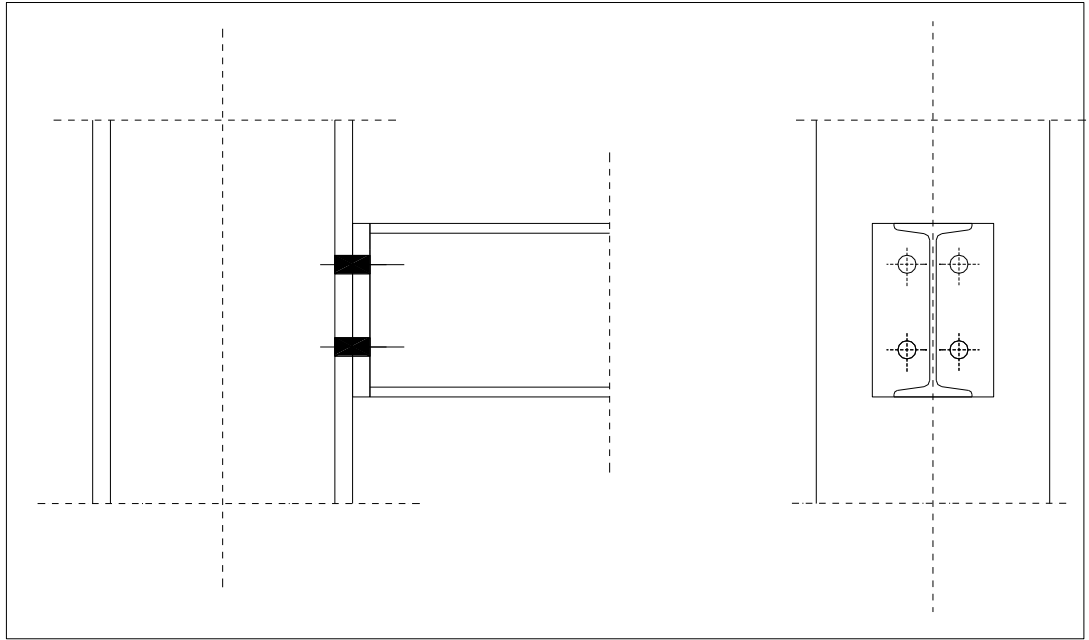
Bu tip bir birleşimde önce çelik levha atölyede kiriş ucuna kaynaklanır daha sonra şantiyede alın levhalı kirişin kolon flanşına cıvatalanması sureti ile birleşim teşkil edilmiş olur. Alın levhalı birleşim tipi 1960'lerden beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu birleşim iki türlü olabilir; biri sadece çekme bölgesinde alın levhasının uzatıldığı birleşim diğeri ise hem çekme hem de basınç bölgesinde alın levhasının uzatıldığı birleşimdir. Tersinir kuvvetlerin etkin olduğu yapılarda her iki bölgeye doğru uzatılmış alın levhalı birleşimin daha emniyetli olacağı açıktır. Bu tür tasarlanan düğüm noktaları rijit düğüm noktası olarak kabul edilir.



Şekil 2.5 Alın levhalı birleşim tipi[5]

2.1.6 Kiriş Gövde Derinliğince Alın Levhalı Birleşim

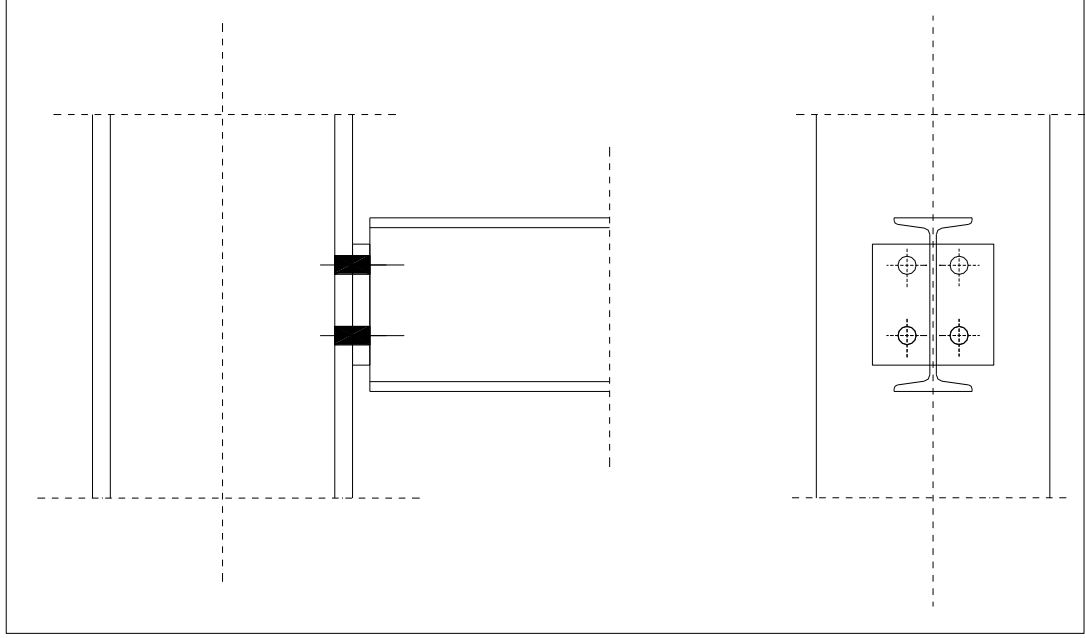
Bu tip birleşimde de alın levhalı birleşimde olduğu gibi önce levha kirişe kaynatılır daha sonra bulonlarla kolona bağlanır. Kiriş gövde derinliğince alın levhalı birleşiminde, alın levhalı birleşimden farklı olarak kiriş başlıklarının rölatif dönmesini önleyecek levha uzatmaları burada yapılmadığı için bu tip bir düğüm noktasının yarı rijit bir düğüm noktası gibi davranacağı gözönüne alınmalıdır.



Şekil 2.6 Kiriş gövde derinliğince alın levhalı birleşim tipi [5]

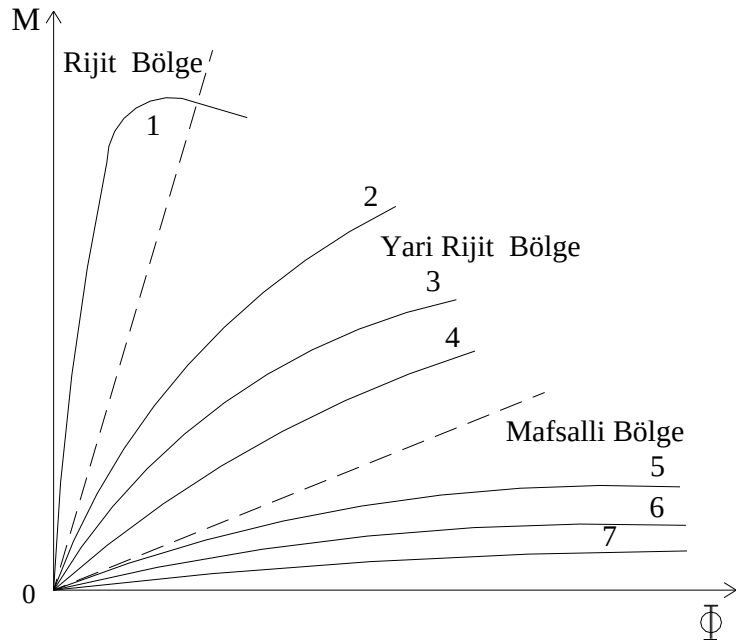
2.1.7 Kısa Alın Levhalı Birleşim

Bu tür bir birleşimde kullanılan levha boyutu kiriş derinliğinden küçüktür. Bu şekilde tasarlanan bir düğüm noktası mafsallı birleşim gibi davranacağı düşünülmektedir.



Şekil 2.7 Kısa alın levhalı birleşim tipi [5]

Şekil 2.8’de yukarıda ifade edilen birleşim tiplerinin M- Φ diyagramındaki yerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Kiriş-kolon birleşimlerine ait M- Φ diyagramları

Eğrilerin temsil ettikleri birleşim tipleri sırasıyla;

1. Alın Levhalı Birleşim tipi
2. Kiriş Derinliğince Alın Levhalı Birleşim Tipi
3. Üst ve Alt Başlık Köşebentli Birleşim Tipi
4. Üst ve Alt Başlık Köşebentli, Gövde Çift Köşebentli Birleşim Tipi
5. Kısa Alın Levhalı Birleşim tipi
6. Çift Köşebentli Gövde Birleşim Tipi
7. Tek Köşebentli Gövde Birleşim Tipi

2.2 Kiriş – Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3’e Göre Sınıflandırılması

Kiriş kolon birleşimleri Eurocode 3’te:

- Dönme rijitliklerine
- Moment dayanımlarına (kapasite) göre sınıflandırılır. [4]

2.2.1 Dönme Rijitliklerine Göre Sınıflandırılması

Dönme rijitliği esas alındığında kiriş kolon birleşimleri üç şekilde sınıflandırılmıştır:

- Mafsallı Birleşimler: Bu tür birleşimlerde birleşen elemanlar arasında moment aktarımının olmadığı, rölatif dönmenin olduğu kabul edilir.
- Rijit Birleşimler: Bu tür birleşimlerde gelen moment etkisi birleşen elemanlar arasında rijitlikleri ile orantılı olarak dağılır. Birleşen elemanlar arasında rölatif dönme yoktur.
- Yarı – rijit Birleşimler: Birleşen elemanlar arasında moment aktarımının olduğu fakat aynı zamanda rölatif dönmenin de meydana geldiği ve bu durumla mafsallı veya ideal rijit olma kriterlerinin sağlamayan birleşim türleridir.

Bir kiriş kolon birleşiminin mafsallı veya rijit davranması aslında deney bulgularına dayanmaktadır. Ancak Eurocode 3’te kirişin rijitliğine, boyuna ve çeliğin elastisite modülüne bağlı sayısal bir sınıflandırma verilmiştir:

Yanal ötelenmesi tutulmamış sistemlerde;

- $S_j < 0,5 \cdot EI_b / L_b$ ise mafsallı
- $0,5 \cdot EI_b / L_b < S_j < 25 \cdot EI_b / L_b$ ise yarı-rijit
- $S_j > 25 \cdot EI_b / L_b$ ise rijit

Yanal ötelenmesi tutulmuş sistemlerde;

- $S_j < 0,5 * EI_b / L_b$ ise mafsallı
- $0,5 * EI_b / L_b < S_j < 8 * EI_b / L_b$ ise yarı-rijit
- $S_j > 8 * EI_b / L_b$ ise rijit olarak gözönüne alınmalıdır.

S_j : Birleşimin başlangıç rijitlik değeri

I_b : Birleşimi oluşturan kirişin atalet momenti

L_b : Birleşimi oluşturan kirişin boyu

E: Çeliğin elastisite modülü

Şekil 2,9'da

$M' = M / M_{pl, Rd}$ $\Phi = EI_b * \Phi / L_b * M_{pl, rd}$ olmak üzere birleşimin rijitliğini belirleyen sınır çizgilerin parametrik ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$M' \leq 2 / 3 \text{ için} \quad M' = 25 \Phi \quad (2.1)$$

$$2 / 3 < M' < 1.0 \text{ için} \quad M' = (25 \Phi + 4) / 7 \quad (2.2)$$

Yatay ötelenmesi tutulmamış sistemler için Şekil 2.9 diyagramının kullanılabilmesi için K_b / K_c değerinin her katta alt limit olan 0.1 değerinden daha büyük olması gerekir.

$$K_b / K_c \geq 0,1$$

K_b : En üst kattaki tüm kirişlerin I_b / L_b değeri

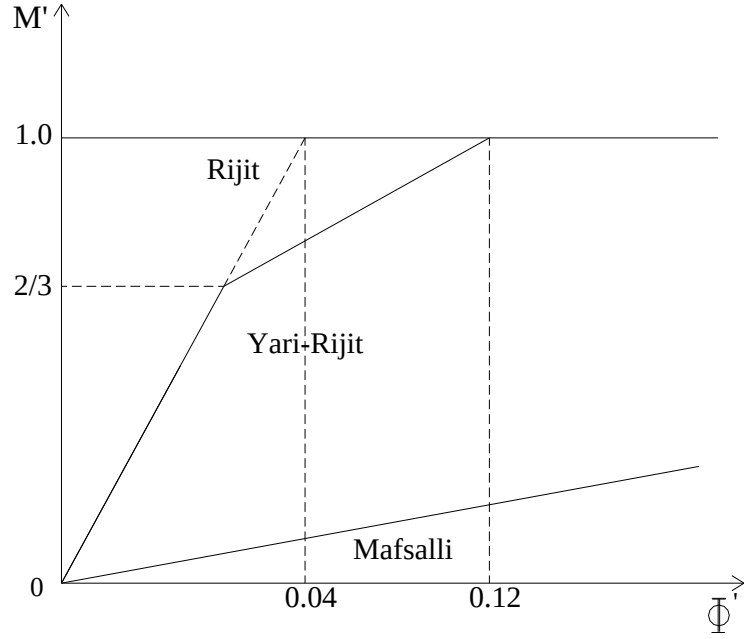
K_c : Gözönüne alınan kattaki tüm kolonların I_c / L_c değeri

I_b : Kirişin atalet momenti

I_c : Kolonun atalet momenti

L_b : Kirişin açıklığı (Kirişin mesnetlendiği kolonların aksları arası uzaklık)

L_c : Kolon için gözönüne alınan kat yüksekliği olarak tanımlanmıştır.

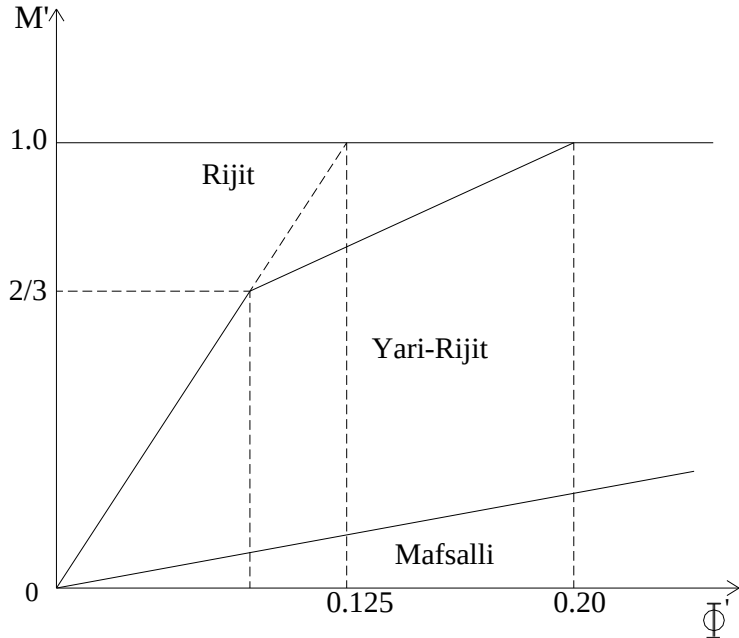


Şekil 2.9 Yatay ötelenmesi tutulmamış sistemlerde kiriş kolon birleşimlerinin tavsiye edilen sınıflandırma diyagramı [4]

Yatay ötelenmesi tutulmuş sistemlerde birleşimin rijitliğini belirleyen sınır çizgilerin parametrik ifadeleri aşağıdaki gibi olur:

$$M' \leq 2/3 \text{ için} \quad M' = 8 \Phi \quad (2.3)$$

$$2/3 < M' < 1.0 \text{ için} \quad M' = (20 \Phi + 3) / 7 \quad (2.4)$$



Şekil 2.10 Yatay ötelenmesi tutulmuş sistemlerde kiriş kolon birleşimlerinin tavsiye edilen sınıflandırma diyagramı [4]

Eurocode 3'te birleşimler için verilen sınıflandırma sisteminin diğer standart sınıflandırma sisteminden iki temel farkı vardır. Standart sınıflandırma sisteminde kiriş kesit yüksekliği cinsinden deney bulgularına dayanılarak tanımlanan bir referans uzunluk kavramı kullanılarak birleşim türlerinin birbirleri ile olan sınırı çizilmekte iken Eurocode 3'te belli bir referans uzunluk kullanmak yerine kiriş açıklığını esas almış ve parametrik ifadelerde katsayılar kullanılarak yapılan gerekli düzeltmelerle bu sınırlar elde edilmektedir. İkinci olarak Eurocode 3 birleşimi standart sınıflandırma sisteminde olduğu gibi tek başına ele almamış çerçevelenme tarzının da birleşimin davranışına olan etkisini de ele almıştır.

2.2.2 Taşıma Güçlerine Göre Sınıflandırma

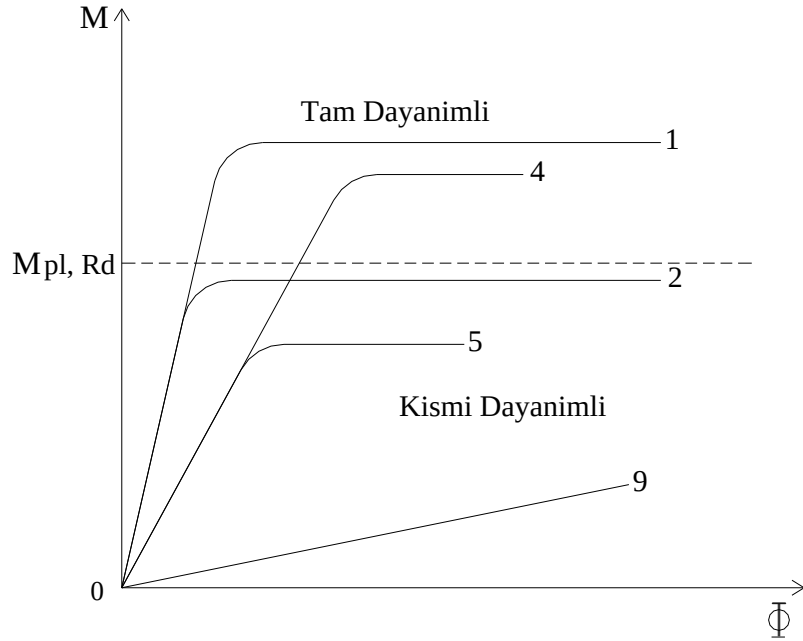
Eurocode 3 kiriş kolon birleşimlerini taşıma güçlerine göre şu şekilde sınıflandırmaktadır:

- Mafsallı Birleşimler: Birleşimin moment taşıma gücü, kirişin taşıyabileceği plastik moment kapasitesinin 0.25 katından büyük değilse ve birleşim yeterli dönme kapasitesine sahipse birleşim mafsallı olarak tanımlanmıştır.
- Tam Dayanımlı Birleşimler: Birleşimin taşıma gücünün, kirişin plastik moment kapasitesine eşit olduğu ve birleşimin yeterli dönme kapasitesine sahip olduğu birleşimler tam dayanımlı birleşimler olarak adlandırılır. Bu tür birleşimlerde birleşimin taşıma gücü eğer kirişin plastik moment kapasitesinin en az 1.2 katından büyükse birleşimin yeterli dönme kapasitesine sahip olduğu düşünülmüştür. Bu tür birleşimlerde plastik mafsallar kirişte oluşur.
- Kısmi Dayanımlı Birleşimler: Kiriş – kolon birleşiminin moment taşıma gücü, kirişin plastik moment kapasitesinden küçükse bu tür birleşimler kısmi dayanımlı olarak tanımlanmaktadır. [4]

Tablo 2.1 Kiriş Kolon Birleşimlerinin EC3'e Göre Sınıflandırılması

		Taşıma Gücü		
		Tam	Kısmi	Mafsallı
Rijitlik	Rijit	1	2	–
	Yarı-Rijit	4	5	–
	Mafsallı	–	–	9

Bu tablodaki rakamların anlamı aşağıdaki Şekil 2.10'da görülmektedir.

**Şekil 2.11** Kiriş-kolon birleşimlerinin EC3'e göre standart sınıflandırılması

Tablo 2.12 Birleşimlerin Tasarımında Yapılan Kabuller [4]

Çerçeveleme	Global Analiz Metodu	Birleşim Türleri
BASİT	Mafsallı Birleşim	Mafsallı
		Mafsallı
SÜREKLİ	Elastik	Rijit
		Mafsallı
	Rijit - Plastik	Tam Dayanımlı
		Mafsallı
	Elastik - Plastik	Tam Dayanımlı - Rijit
		Mafsallı
YARI - SÜREKLİ	Elastik	Yarı- rijit
		Rijit
		Mafsallı
	Rijit - Plastik	Kısmi Dayanımlı
		Tam Dayanımlı
		Mafsallı
	Elastik - Plastik	Kısmi Dayanımlı / Yarı-Rijit
		Kısmi Dayanımlı / Rijit
		Tam Dayanımlı /Yarı - Rijit
		Tam Dayanımlı / Rijit
		Mafsallı

3.EUROCODE 3'ÜN GENEL İLKELERİ

3.1 KAPSAM

Eurocode 3, Avrupa Birliği tarafından hazırlanmış, tamamı 9 ayrı şartnameden oluşan bir şartnameler serisinin üçüncüsü olup çelik yapıların tasarım ve yapım işlerine ilişkindir. Bu şartnamelerin tamamı aşağıda verilmiştir:

Eurocode 1: Tasarım esasları ve binalar üzerindeki yük etkileri

Eurocode 2: Betonarme yapıların tasarımı

Eurocode 3: Çelik yapıların tasarımı

Eurocode 4: Çelik-Beton kompozit yapıların hesabı

Eurocode 5: Ahşap yapıların tasarımı

Eurocode 6: Kâgir yapıların tasarımı

Eurocode 7: Zeminle ilgili esaslar

Eurocode 8: Depreme karşı dayanıklı yapılar

Eurocode 9: Alüminyum yapılar

Eurocode 3, kendi içinde sekiz alt bölüme ayrılmaktadır. Bu bölümler;

Bölüm 1.1: Çelik binaların yapımı hakkında temel kurallar

Bölüm 1.2: Yangına karşı korunma

Bölüm 1.3: Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı eleman ve levhaların hesabı

Bölüm 2: Köprü ve plakalı yapılar

Bölüm 3: Kule ve baca tipi yapılar

Bölüm 4: Tank, silo ve boru hatları

Bölüm 5: Kazıklar

Bölüm 6: Vinç yapıları

Bölüm 7: Deniz yapıları

Bölüm 8: Tarım yapıları başlıkları altında toplanmıştır.

Eurocode 3 Bölüm 1.1'e göre kesit tesirlerinin hesabında, elastik veya plastik analiz yöntemlerinin herhangi birine başvurulabilir. Elastik hesap yöntemlerinin kullanılması durumunda hesabın geçerlilik alanını kısıtlayan herhangi bir kural yokken plastik hesap yapabilmek için sağlanması gerekli bazı kurallar vardır.

3.2 Genel Kurallar

3.2.1 Çelik

Aşağıda verilen Tablo3.1 uygulamada kullanılacak olan sınır değerleri göstermektedir. Yapı çeliğinin nominal sınır değerleri, elemanların başlık ve gövde kalınlıklarına göre değişmektedir.

Plastik analiz teorisi kullanıldığında, kullanılacak çeliğin aşağıdaki koşulları da sağlaması istenmektedir.

- a) Kopma gerilmesi akma gerilmesine oranı 1,2' den büyük olmalıdır.
- b) Kopma uzamasının akma uzamasına oranı 1,2' den büyük olmalıdır.

Tablo 3.1'de verilen çelik cinsleri bu şartları da sağlamaktadır.

Tablo 3.1 EN 10025'e Uygun Yapı Çelikleri İçin Nominal Akma ve Nominal Kopma Değerleri

Nominal Çelik Sınıfı	Kalınlık t (mm)			
	t ≤ 40 mm		40mm ≤ t ≤ 100 mm	
	f _y (N/mm ²)	f _u (N/mm ²)	f(N/mm ²)	f _u (N /mm ²)
Fe 360	235	360	215	340
Fe 430	275	430	255	410
Fe 510	355	510	335	490
t: Elemanın et kalınlığı başlık kalınlığı (hadde profilleri için) başlık veya gövde kalınlığı (yapma kesitler için) f _y = akma sınırı f _u = kopma sınırı				

3.2.2 Taşıyıcı Sistem

Eurocode 3 Bölüm 1.1’de taşıyıcı sistemler, düğüm noktaları ötelenen ve ötelenmeye karşı tutulmuş çerçeveler olmak üzere ikiye ayrılır. Ötelenmesi tutulmuş sistemlerin analizi birinci mertebe teori ile yapılabilen iken ötelenen çerçevelerin analizi ikinci mertebe teorisi ile yapılmaktadır. Ayrıca sistemde oluşacak geometrik kusurların ve ilave gerilmelerin dikkate alınması gerekmektedir.

3.2.3 Taşıyıcı Elemanlar

Enkesitler dört sınıfa ayrılır. Bunlar:

1.Sınıf enkesitler: Bu enkesitler, plastik analiz metotlarında kullanılabilmesi için yeterli plastik dönme kapasitesine sahip olup tam plastik moment dayanımı oluşturabilen enkesitlerdir.

2.Sınıf enkesitler: Bu enkesitler, plastik moment dayanımı oluşturabilen fakat sınırlı oranda dönme kapasitesine sahip enkesitlerdir.

3.Sınıf enkesitler: Bu enkesitler, basınç bölgesindeki son liflerde akma gerilmesine erişildiği fakat yerel burkulmaların tam plastik moment oluşmasını engellediği enkesitlerdir.

4.Sınıf enkesitler: Bu enkesitler, basınç ve moment diagramları hesaplanırken yerel burkulmanın etkilerinin gözönünde bulundurulması şart olan enkesitlerdir.

3.2.4 Yükler, Yük ve Dayanım Faktörleri

Eurocode 3 Bölüm 1.1’ de yükler bölümü “etkiler” adı altında yer almaktadır. Etkiler yapıya tatbik edilen yük veya deplasman olarak tanımlanmaktadır. Etkiler zamana bağlı değişimlerine göre sınıflandırılırlar. Bunlar;

Sürekli etkiler (G) : Sabit yükler

Değişken etkiler (Q) : Hareketli yükler

Ani etkiler (A) : Çarpma, Deprem v.b yükler şeklinde tanımlanmaktadır.

Yukarıda verilen etkilerin karakteristik değerleri F_k olarak adlandırılır. Bu karakteristik etki değerleri Eurocode 1’den, depremleri durum için Eurocode 8’den veya yapının tasarımcısı ile müşterinin üzerinde anlaşacağı bir diğer yük şartnamesinden alınabilir.

Etkilere uygulanacak yük faktörleri (γ_k) “kısmi güvenlik katsayıları” adını alır ve etkinin sınıfına ve içinde bulunduğu yük kombinasyonuna bağlı olarak farklı değerler alır. Etkilere uygulanacak kısmi güvenlik katsayıları ve ilgili yük kombinasyonları Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’ te verilmiştir.

Tablo 3.2 Taşıma Yüğü Sınır Durumu İçin Yüğü Kombinasyonları [4]

İlgili Yüğü Kombinasyonları	G; sabit yüğüler, örneğın zati yüğü
$\gamma_G * \sum G_k + \gamma_Q * \sum Q_{kmax}$	Q; hareketli yüğüler, örneğın döşeme üzerine konan eşyalar, kar yüğü, rüzgâr yüğü
1.) $1,35 * \sum G_k + 1,5 * \sum Q_{kmax}$	Qkmax; hareketli yüğüün en elverişsiz olanı
$\gamma_G * \sum G_k + 0,9 * \gamma_Q * \sum Q_k$	γ_G = sabit yüğüler için olan kısmi güvenliğı katsayısı
2.) $1,35 * \sum G_k + 1,35 * \sum Q_{kmax}$	γ_Q = hareketli yüğüler için olan kısmi güvenliğı katsayısı
G sabit yüğüünün Q hareketli yüğüünü azaltıcı etkisi varsa $\gamma_G = 1,00$ alınır. Q hareketli yüğüünün elverişsiz yüğülemeyi azaltıcı etkisi varsa $\gamma_Q = 0$ alınır.	
Yukarıda verilen yüğü kombinasyonlarından en elverişsiz olanı dikkate alınacaktır.	

Tablo3.3 Kullanma Sınır Durumu İçin Yük Kombinasyonları [4]

İlgili Yük Kombinasyonları	G; sabit yükler, örneğin zati yük
1.) $\sum G_k + \sum Q_{kmax}$	Q_k ; hareketli yükler örneğin döşeme üzerine konan eşyalar, kar yükü, rüzgâr yükü
2.) $\sum G_k + \sum 0,9 \cdot Q_k$	Q_{kmax} ; hareketli yükün en elverişsiz olanı
Yukarıda verilen yük kombinasyonlarından en elverişsiz olanı dikkate alınacaktır.	

3.2.5 Güvenlik Düzeyinin Seçilmesi

Yüklemeye bağlı olarak yapının taşıyıcı sistemine ait herhangi bir elemanın taşıyıcılığını yitirdiği veya yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşan deformasyonlar sonucu yapının görünümünde ve kullanımında rahatsızlık verici bir durumun oluşmaya başladığı an olarak sınır durumu tarif edebiliriz. Yapılar boyutlandırılırken sınır durumlar dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde zaman içerisinde taşıyıcı sistem zarar görebilir veya yapı elemanları kullanılamayacak duruma gelebilir.

Eurocode 3 sınır durumları, taşıma yükü sınır durumu ve kullanma sınır durumu olmak üzere iki sınıfa ayırmıştır.

3.2.5.1 Kullanma Sınır Durumu

Kullanma sınır durumları daha çok binanın görünüşü, kullanılabilirliği ve taşıyıcı olmayan elemanların zarar görmesi durumlarıdır. Bu durumlar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

- a) Yapının görünüm ve kullanımını etkileyecek kadar fazla olan deplasman ve şekil değişiklikleri
- b) Binada bulunan insanların rahatını bozacak veya içindeki eşyalara zarar verecek kadar fazla olan yerdeğiştirme ve çökmeler
- c) Binanın taşıyıcı olmayan elemanlarına zarar verecek kadar fazla olan titreşim ve yerdeğiştirmeler

Deplasmanların hesabında ikinci mertebe teorilerinin ve kullanma durumlarında oluşabilecek plastik mafsalların etkileri gözönünde bulundurulmalıdır.

Kullanma sınır durumuna göre tasarımda, ilgili yük kombinasyonlarına göre yapılan analiz sonuçlarından elde edilen düşey yerdeğiştirme, yatay yerdeğiştirme ve titreşim değerlerinin Tablo 3.4, 3.5 ve 3.6’da verilen sınır değerlerden az olması gerekmektedir.

Tablo3.4 Düşey Yerdeğiştirmeler İçin Tavsiye Edilen Sınır Değerler [4]

Durum	Limit Değerler	
	$\delta_{\max}$	δ_2
Çatı Katı	L / 200	L / 250
Çatı Katı oturma alanına sahipse	L / 250	L / 300
Normal Kat	L / 250	L / 300
Rijit bölme duvarı içeren çatı katı veya normal kat	L / 250	L / 350
$\delta_{\max}$ 'ın yapının görünümünü etkilediği durumlar	L/250	—
L = Elemanın tasarım boyu (Konsol kirişlerde L boyunun iki katı alınır.) δ_2 = Sürekli sehim $\delta_{\max}$ = Maksimum toplam sehim		

Tablo 3.5 Kolon Uçlarında Yatay Deplasmanlar İçin Tavsiye Edilen Limit Değerler[4]

Krensiz hal yapı çerçeveleri	$h / 500$
Diğer tek katlı tüm binalar	$h / 300$
Çok katlı yapılar	
Her katta	$h_1 / 300$
Tüm yapı yüksekliği boyunca	$h_0 / 500$
h = Tek katlı yapılarda yapı yüksekliği h_1 = Çok katlı yapılarda kat yüksekliği h_0 = Çok katlı yapılarda toplam bina yüksekliği	

3.2.5.2 Taşıma Yüğü Sınır Durumu

Taşıma yüğü sınır durumları, yapının veya yapıyı oluşturan elemanlardan birinin tümünden göçmesini veya içinde bulunan insanların güvenliğini tehlikeye sokacak derecede yapısal çökmeleri ifade eder. Eurocode 3 taşıma yüğü sınır durumu kullanılması halinde “kısmi güvenlik katsayıları” olarak tabir edilen katsayıları tanımlamıştır:

1, 2 ve 3 nolu sınıf enkesitleri	$\gamma_{m0} = 1.1$
4 nolu sınıf enkesitleri	$\gamma_{m1} = 1.1$
Burkulmaya haiz elemanlar	$\gamma_{m1} = 1.1$
Bulon delikleri mevcut net kesitlerde	$\gamma_{m2} = 1.25$

Tablo 3.6 Döşeme Titreşimleri İçin Sınır Değerler [4]

	En düşük doğal frekans f_e (Hz)	Toplam yerdeğiştirme sınır değeri $\delta_1 + \delta_2$ (mm)
Üzerinde düzenli olarak insanların yürüdüğü döşemeler	3	28
Üzerinde titreşim olan döşemeler	5	10
$f_e = (1/2\pi) * (\alpha / L^2) * (\sqrt{EI / m}) \text{ (Hz)}$		
f_e: Doğal frekans E: Elastisite Modülü I: Atalet Momenti L: Açıklık m: Birim boya düşen kütle α: Frekans katsayısı olup aşağıdaki değerleri alır: Her iki ucu basit mesnetli kirişlerde $\alpha = 9,869$ Her iki ucu ankastre mesnetli kirişlerde $\alpha = 9,869$ Konsol Kirişlerde $\alpha = 3,516$ Bir ucu basit bir ucu ankastre kirişlerde $\alpha = 15,418$		

3.3 Eurocode 3'e G6re Taşıma Y6k6 Sınır Durumuyla Kesit Boyutlandırılması

Taşıma y6k6 sınır durumu kullanılması durumunda kesit tasarımı i7in Eurocode 3'te aŗaŗıdaki kıstasların zorunlu kılmasıdır.

- a) Enkesit Dayanımı
- b) Elemanın taşıma g6c6 kapasitesi
- c) Birleşim taşıma g6c6 dayanımı
- d) Stabilite Kontrol6
- e) Statik denge

3.3.1 7ekme 7ubukları

7ekme 7ubuklarında yapılması gerekli kontrol:

- Enkesit Dayanımı

3.3.2 Basın7 7ubukları

Basın7 7ubuklarında yapılması gerekli kontrol:

- Enkesit Dayanımı
- Kesit burkulma dayanımı

3.3.3 Kirişler

Eŗilmeye maruz elemanlarda kontrol edilmesi gereken kriterler aŗaŗıda g6sterilmiŗtir.

- Enkesit Dayanımı
- Yanal Burkulma dayanımı
- Kesme burkulması Dayanımı
- Flanŗ burkulması dayanımı
- Kesit g6vde ezilme Dayanımı

3.3.4 Kesit Dayanımları

3.3.4.1 Çekme Elemanları

Çekme elemanları aşağıdaki kritere göre kontrol edilmelidir:

- Enkesit Dayanımı

Eksenel çekmeye maruz çubuklarda, çubuk boyunca her kesitte tasarım çekme kuvvetinin sağlanması gereken kriteri:

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

N_{sd} ; Elemana etkiyen eksenel kuvvet değeri

$N_{t,Rd}$; Kesitin çekme kapasitesi olup , aşağıdaki değerlerden küçüğü alınır.

- a) Enkesite ait tasarım plastik dayanımı

$$N_{pl,Rd} = A * f_y / \gamma_{m0} \quad (3.1)$$

- b) Delik çevrelerinde net enkesit alana ait tasarım taşıma gücü dayanımı

$$N_{U,Rd} = 0,9 * A_{net} * f_u / \gamma_{m0} \quad (3.2)$$

3.3.4.2 Basınç Elemanlar

Basınç elemanları aşağıdaki kritere göre kontrol edilmelidir:

- Enkesit Dayanımı

Eksenel basınca maruz çubuklarda, çubuk boyunca her kesitte tasarım basınç kuvvetinin sağlanması gereken kriteri:

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

N_{sd} ; Elemana etkiyen eksenel kuvvet değeri

$N_{c,Rd}$; Kesitin basınç dayanımı olup , aşağıdaki değerlerden küçüğü alınır.

- a) Enkesite ait tasarım plastik dayanımı

$$N_{pl,Rd} = A * f_y / \gamma_{m0}$$

- b) Enkesite ait burkulma dayanımı

$$N_{0,Rd} = 0,9 * A_{eff} * f_y / \gamma_{m1} \quad (3.3)$$

3.3.4.3 Burkulma Dayanımı

Basınç elemanının burkulma dayanımı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$N_{b,Rd} = x * \beta_a * A * f_y * / \gamma_{m1} \quad (3.4)$$

βa ; 1,2 ve 3 nolu enkesitler için “1”

βa ; 4 nolu enkesitler için “ A_{eff} / A ”

x ; İlgili burkulma moduna ait azaltma katsayısı

Sabit enkesitli elemanların, sabit normal kuvvet altında x ve ilgili burkulma moduna ait boyutsuz narinlik katsayısı λ , λ' kullanılarak şöyle hesaplanır.

$$x = 1 / (\emptyset + [\emptyset^2 - \lambda'^2]^{0,5}) \quad x \leq 1 \quad (3.5)$$

$$\emptyset = 0,5 * [1 + a * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \quad (3.6)$$

$$\lambda' = [\beta a * A * f_y / N_{cr}]^{0,5} = (\lambda / \lambda_1) [\beta a]^{0,5} \quad (3.7)$$

$$\lambda_1 = \pi * [E / f_y]^{0,5} = 93,9 * \varepsilon \quad (3.8)$$

$$\varepsilon = [235 / f_y]^{0,5} \quad f_y = \text{N/mm}^2 \quad (3.9)$$

a ; Kusur katsayısı

λ ; İlgili burkulma moduna ait narinlik katsayısı

N_{cr} ; İlgili burkulma moduna ait elastik kritik kuvvet

Kusurluluk katsayısı a , ilgili burkulma modu bulunup, buna göre Tablo 3.7'den alınır.

Tablo 3.7 Kusurluluk Katsayıları [4]

Kusurluluk Katsayısı				
Burkulma Eğrisi	a	b	c	d
Katsayı "a"	0.21	0.34	0.49	0.76

Azaltma katsayısı x , λ' 'ne bağlı olarak Tablo 3.11'den alınır.

3.3.4.4 Kirişler

Eğilmeye maruz elemanlarda yapılması gereken kontroller aşağıda belirtilmiştir:

Enkesit Dayanımı

- Yanal Burkulma
- Kesme burkulması
- Azaltılmış flanş burkulması

1. Yanal Burkulma Hesabı

$$M_{b,rd} = x_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{m1} \quad (3.10)$$

$M_{b,rd}$; Yanal burkulma tasarım moment değeri

x_{LT} ; Yanal burkulma hesabı azaltma katsayısı

β_w ; Katsayı olmak üzere;

$\beta_w = 1$ 1 ve 2 nolu enkesitler için

$\beta_w = W_{el,y} / W_{pl,y}$ 3 nolu enkesitler için

$\beta_w = W_{elf,y} / W_{pl,y}$ 4 nolu enkesitler için

$W_{pl,y}$; Kesitin plastik mukavemet momenti

f_y ; Çelik elemanın akma gerilmesi

γ_{m1} ; Elemanın burkulmaya karşı güvenlik katsayısı

Tablo 3.8 Enkesitlere Göre Burkulma Eğrileri Seçimi [4]

Enkesit	Sınırlar	Burkulma Eksen	Burkulma Eğrisi
Hadde ürünü I Kesitler	$h / b > 1,2$ $t_f \leq 40 \text{ mm}$	x-x	a
		y-y	b
	$40 \text{ mm} < t \leq 100 \text{ mm}$	x-x	b
		y-y	c
	$h / b \leq 1,2$ $t_f \leq 100 \text{ mm}$ $t_f > 100 \text{ mm}$	x-x	b
		y-y	c
		x-x	d
		y-y	d
Yapma I Kesitler	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	x-x	b
		y-y	c
	$t_f > 40 \text{ mm}$	x-x	c
		y-y	d
Tüp Kesitler	Sıcakta çekilmiş	Herhangi biri	a
	Soğukta şekil verilmiş	Herhangi biri	b
Kaynaklı Kutu Kesitler	Aşağıda belirtilen tiplerin dışında	Herhangi biri	b
	Kalın kaynak dikişlilerde $b / t_f < 30$ $h / t_w < 30$	x-x	c
		y-y	c
U , L ,T ve dolu kesitler		Herhangi biri	c

Tablo 3.9 Azaltma Katsayıları [4]

λ'	Burkulma Eğrisi			
	a	b	c	d
0,20	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,30	0,9775	0,9641	0,9491	0,9235
0,40	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,50	0,9243	0,8842	0,8430	0,7793
0,60	0,8900	0,8371	0,7854	0,7100
0,70	0,8447	0,7837	0,7247	0,6431
0,80	0,7957	0,7245	0,6622	0,5797
0,90	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
1,00	0,6656	0,5970	0,5399	0,4671
1,10	0,5960	0,5352	0,4842	0,4189
1,20	0,5300	0,4781	0,4338	0,3762
1,30	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,40	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,50	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766
1,60	0,3332	0,3079	0,2842	0,2512
1,70	0,2994	0,2781	0,2577	0,2289
1,80	0,2702	0,2521	0,2345	0,2093
1,90	0,2449	0,2294	0,2141	0,1920
2,00	0,2229	0,2095	0,1962	0,1766
2,10	0,2036	0,1920	0,1803	0,1630
2,20	0,1867	0,1765	0,1662	0,1508
2,30	0,1717	0,1628	0,1537	0,1399
2,40	0,1585	0,1506	0,1425	0,1302
2,50	0,1467	0,1397	0,1325	0,1214
2,60	0,1362	0,1299	0,1234	0,1134
2,70	0,1267	0,1211	0,1153	0,1062
2,80	0,1182	0,1132	0,1079	0,0997
2,90	0,1105	0,1060	0,1012	0,0937
3,00	0,1036	0,0951	0,0951	0,0882

$$x_{LT} = 1 / (\emptyset_{LT}^2 + [\emptyset_{LT}^2 - \lambda_{LT}'^2]^{0,5}) \quad x \leq 1 \quad (3.11)$$

$$\emptyset = 0,5 * [1 + a_{LT} * (\lambda_{LT}' - 0,2) + \lambda_{LT}'^2] \quad (3.12)$$

$a_{LT} = 0.21$ Tek parça kesitler

$a_{LT} = 0.49$ Yapma kesitler

x_{LT} 'nin hesabı için boyutsuz narinlik katsayısı λ_{LT}' hesap edilip $\lambda = \lambda_{LT}$

ve $x = x_{LT}$ olarak Tablo3.11'en bakılır.

- Tek parça kesitler için a eğrisi

- Yapma kesitler için c eğrisi kullanılır veya λ_{LT} ' aşağıdaki formülden de hesap edilebilir ;

$$\lambda' = [\beta_w * W_{pl,y} * f_y / M_{cr}]^{0,5} = (\lambda_{LT} / \lambda_1) [\beta_w]^{0,5} \quad (3.13)$$

$$\lambda_1 = \pi * [E / f_y]^{0,5} = 93,9 * \varepsilon$$

$$\varepsilon = [235 / f_y]^{0,5} \quad f_y = N/mm^2$$

M_{cr} ; Yanal burkulmayı oluşturan elastik kritik moment

2. Kesme Burkulması

- Berkitmeli gövdelerde $d / t_w > 69\varepsilon$ veya berkitmesiz gövdelerde $d / t_w > 30 * \varepsilon_y * \sqrt{k_r}$ olduğu takdirde kesme burkulmasına bakılması gerekir.
- Kesme burkulması d / t_w oranına ve gövde berkitme aralıklarına bağlıdır.

Kesme burkulması hesabı aşağıdaki yollardan herhangi biri ile yapılır;

1. Basit kritik metod
2. Çekme alanı metodu

a) Basit Kritik Metod

Elemanın kesme burkulma dayanım kuvveti aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$V_{ba,rd} = d * t_w * \tau_{be} / \gamma_{m1} \quad (3.14)$$

d ; Kiriş yüksekliği

t_w ; Kiriş gövde kalınlığı

τ_{be} ; Basit kritik kesme mukavemeti

τ_{be} , Basit kritik kesme mukavemet değeri aşağıdaki gibi belirlenir:

$$a) \lambda_w \leq 0.8 \rightarrow \tau_{be} = (f_{yw} / \sqrt{3}) \quad (3.15)$$

$$b) 0.8 \leq \lambda_w \leq 1.2 \rightarrow \tau_{be} = [1 - 0.625 * (\lambda_w - 0.8)] * (f_{yw} / \sqrt{3}) \quad (3.16)$$

$$c) \lambda_w \geq 1.2 \rightarrow \tau_{be} = [0.9 / \lambda_w] * (f_{yw} / \sqrt{3}) \quad (3.17)$$

λ_w gövde narinliği aşağıdaki formülden hesaplanır;

$$\lambda_w = [(f_{yw} / \sqrt{3}) / \tau_{cr}]^{0,5} = (d / t_w) / 37.4 * \varepsilon * \sqrt{k_T} \quad (3.18)$$

τ_{cr} ; Elastik kritik kesme mukavemeti

k_T ; Kesme için burkulma katsayısı

3. Azaltılmış Flanş Burkulması

Basınç başlığının flanşını gövde düzlemi içersinde tutabilmek amacıyla d / t_w oranının aşağıdaki kriteri sağlaması gerekir;

$$d / t_w \leq k.(E / f_{yf}) * [A_w / A_{fc}]^{0.5} \quad (3.20)$$

A_w ; Kiriş gövde alanı

A_{fc} ; Kiriş basınç başlığının alanı

f_{yf} ; Kiriş basınç başlığının akma gerilmesi

“k” katsayısının değeri;

$k = 0.3$ 1. sınıf enkesitler için

$k = 0.4$ 2. sınıf enkesitler için

$k = 0.55$ 3. ve 4. sınıf enkesitler için

3.3.4 Eksenel Kuvvet ve Moment Etkisi

a) Eksenel kuvvet ve moment etkisindeki elemanlarda kesme kuvvetinin olmadığı durumlarda 1. ve 2. sınıf enkesitler için aşağıdaki kriter sağlanmalıdır.

$$M_{sd} \leq M_{N,Rd}$$

$M_{N,Rd}$; Azaltılmış plastik moment değeri ,

Delik kaybı olmamış bir levhanın plastik moment değeri;

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} * [1 - (N_{sd} / N_{pl,Rd})^2] \text{ olmak üzere kriter şu hale gelir ;} \quad (3.21)$$

$$(M_{N,Rd} / M_{pl,Rd}) + (N_{sd} / N_{pl,Rd})^2 \leq 1 \quad (3.22)$$

b) Çift yönlü eğilmeye maruz elemanlar

$$(M_{y,Sd} / M_{Ny,Rd})^a + (M_{z,Sd} / M_{Nz,Rd})^\beta \leq 1 \quad (3.23)$$

a ve β ;

I ve H tipi enkesitler için $a = 2$ $\beta = 5n$ $\beta \geq 1$

Dairesel tüpler için $a = 2$ $\beta = 2$ $\beta \geq 1$

Dolu dikdörtgen kesitler ve levhalar için $a = \beta = 1.73 + 1.8n^3$

$$n = N_{sd} / N_{pl,Rd}$$

Daha farklı bir yaklaşımla aşağıdaki formül de kullanılabilir;

$$(N_{sd} / N_{pl,Rd}) + (M_{y,Sd} / M_{ply,Rd}) + (M_{z,Sd} / M_{pl,z,Rd}) \leq 1 \quad (3.24)$$

c) Eğilme, kesme ve eksenel kuvvet etkisi

Tasarım kesme kuvvetinin değeri $V_{sd, plastik}$ kesme dayanımı $V_{pl,Rd}$ ' nin %50'sini aşmıyorsa ;

$$(M_{S,Rd} / M_{pl,Rd}) + (N_{sd} / N_{pl,Rd})^2 \leq 1 \text{ formülü geçerlidir.} \quad (3.25)$$

Eğer tasarım kesme kuvvetinin değeri $V_{sd, plastik}$ kesme dayanımı $V_{pl,Rd}$ 'nin %50'sini aşmıyorsa plastik kapasiteler hesaplanırken azaltılmış akma dayanımı kullanılır.

$$f_y' = (1 - \rho) * f_y \quad \rho = (2V_{sd} / V_{pl,Rd} - 1)^2 \quad (3.26)$$

3.3.6. Eksenel Kuvvet ve Momente Bağlı Eleman Dayanımı

3.3.6.1 Moment ve Çekme Etkisi

Hem eğilmeye hem de çekmeye maruz elemanlar yanal burkulma tahkiki gerektirirler. Eğer etkiyen eksenel kuvvet ve eğilme momenti birbirlerinden bağımsızsa tasarım çekme kuvveti değeri bir azaltma katsayısı ile azaltılır. Vektörel etkiler sonucu elemanın en üst lifinde oluşacak gerilme aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır;

$$\sigma_{com.Ed} = M_{sd} / W_{com} - \phi_{vec.} N_{t.sd} / A \quad (3.27)$$

W_{com} ; En üst basınç lifindeki elastik mukavemet momenti

$N_{t.sd}$; Eksenel çekme kuvveti değeri

$\phi_{vec.}$; 0.8

3.3.6.2 Moment ve Basınç Etkisi

1) Moment ve eksenel basınç maruz 1. ve 2.sınıf enkesite sahip elemanlarda aşağıdaki kriterler sağlanmalıdır.

$$N_{sd} / (x_{min} * A * f_y / \gamma_{m1}) + k_y * M_{ysd} / (W_{ply} * f_y / \gamma_{m1}) + k_z * M_{zsd} / (W_{plz} * f_y / \gamma_{m1}) \leq 1 \quad (3.28)$$

$$k_y = 1 - (\mu_y * N_{sd} / x_y * A * f_y) \quad k_y \leq 1.5 \quad (3.29)$$

$$\mu_y = \lambda_y' * (2 * \beta_{My} - 4) + ([W_{ply} - W_{ely}] / W_{ely}) \quad \mu_y \leq 0,90 \quad (3.30)$$

$$k_z = 1 - (\mu_z * N_{sd} / x_z * A * f_y) \quad k_z \leq 1.5 \quad (3.31)$$

$$\mu_z = \lambda_z' * (2 * \beta_{Mz} - 4) + ([W_{plz} - W_{elz}] / W_{elz}) \quad \mu_z \leq 0,90 \quad (3.32)$$

$$x_{min} = \min (x_y ; x_z)$$

β_{My} ve β_{Mz} ; eşdeğer üniform moment katsayıları

x_y ve x_z ; y-y ve z-z eksenlerine bağlı azaltma katsayıları

2) Potansiyel göçme modu yanal burkulma olan 1. ve 2. sınıf enkesitlerde aşağıdaki kriterde sağlanmalıdır:

$$N_{sd} / (x_y * A * f_y / \gamma_{m1}) + k_{lt} * M_{ysd} / (x_{lt} * W_{ply} * f_y / \gamma_{m1}) + k_z * M_{zsd} / (W_{plz} * f_y / \gamma_{m1}) \leq 1 \quad (3.33)$$

$$k_{lt} = 1 - (\mu_{LT} * N_{sd} / x_y * A * f_y) \quad k_{lt} \leq 1 \quad (3.34)$$

$$\mu_{LT} = 0,15 * \lambda_z' * \beta_{MLT} - 0,15 \quad \mu_{LT} \leq 0,90 \quad (3.35)$$

β_{MLT} ; eşdeğer üniform azaltma katsayısı

3.3.5 Çerçeve Ara Bağlantılı Çubuklarda Narinlik Hesabı

Eurocode.3'te çerçeve ara bağlantılı çubuklar için efektif bir rijitlik tanımlanmıştır:

$$I_{eff} = 0,5 * h_0^2 * A_f + 2 * \mu * I_f \quad (3.36)$$

I_{eff} : Efektif rijitlik

h_0 : Profilin ağırlık merkezleri arasındaki mesafe

A_f : Tek bir profilin alanı

I_f : Tek bir profilin atalet momenti

μ : Çubuk narinliğine bağlı bir katsayı olup aşağıdaki şekilde belirlenir :

- $\lambda \leq 75 \rightarrow \mu = 1$
- $75 < \lambda < 150 \rightarrow \mu = 2 - \lambda / 75$
- $\lambda \geq 150 \rightarrow \mu = 0$

$$\lambda = l / i_0$$

l ; Gözönüne alınan düzlemdeki burkulma boyu

i_0 ; Efektif atalet yarıçapı olup aşağıdaki şekilde belirlenir ; [3]

$$i_0 = (0,5 * I_1 / A_f) \quad (3.37)$$

4.BULONLU VE KAYNAKLI YARI-RİJİT KİRİŞ KOLON BİRLEŞİMLERİNİN EUROCODE 3'E GÖRE ANALİZİ

4.1 Yarı Rijit Düğüm Noktası Kavramı

Bir düğüm noktası, kirişlerin kolonla birleşiminin sağlandığı tüm bölgelerdir. Düğüm noktasının tipine göre, alın levhası, köşebent, kaynak bulon gibi tüm birleşim araçları ile kirişlerin uç kısmı ve kolonların komşu yüzeylerinden oluşur. Kiriş kolon birleşimleri geleneksel olarak rijit veya mafsallı olarak kabul edilir. İdealleştirilmiş varsayımlara dayanan bu kabullerde, rijit bir düğüm noktasında birleşen elemanlar arasında moment aktarımı olmaktadır ancak herhangi bir rölatif dönme meydana gelmezken mafsallı düğüm noktalarında moment aktarımı olmaz fakat elemanlar birbirlerine göre rölatif dönme yapabilirler. Bu kabuller yapının modellenmesini ve analiz edilmesini kolaylaştırmasına karşın gerçek davranışını tam olarak yansıtmaz.

Son yıllarda yapılan deneysel ve teorik araştırmalar uygulamada tüm birleşimlerin aslında belli bir eğilme rijitliğine ve dönme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Bu durum tam rijit veya mafsallı düğüm noktası tanımına uymaz. Bu konudaki bilgi eksikliği birçok ülkede yapı mühendislerini yeni araştırmalara sevk etmiştir. Özellikle yapının gerçek davranışını tam olarak yansıtan modeller kurulması için yapılan deneysel araştırmalar yarı-rijit kavramını ortaya çıkarmıştır. Son yıllarda yürürlüğe giren standartlarda da, örneğin Eurocode 3'te, bu tip birleşimlerin hesap ve değerlendirilmesine ilişkin öneriler verilmektedir. [2]

Yarı -rijit birleşimlerde kirişlerden kolonlara moment aktarılmakta ancak aynı zamanda birleşen elemanlar arasında rölatif dönmeler de oluşabilmektedir. Böylelikle yarı-rijit düğüm noktası olarak tasarlanan çerçeve sistemlerinde analiz sonuçlarında rijit ve mafsallı olan çerçevelerdekilere göre kirişlerin ortasındaki maksimum moment ve sehim değerlerinin azaldığı ve aynı zamanda kolona geçen momentin de küçüldüğü görülecektir. Bu durum özellikle sağlanacak ekonomi açısından çok önemlidir çünkü yapının tüm davranışını etkileyen kiriş - kolon birleşimleri konusundaki bilgi açığı, daha basit olarak projelendirilebilecek düğüm noktası detaylarının belirsizlik yüzünden kullanılmasını engellemektedir. Bu

nedenle pek çok ülkede konuyla ilgili deneysel ve teorik araştırmalar son yıllarda artmıştır.

Araştırmalarda kaynaklı ve bulonlu birleşimler ayrı ayrı ele alınmaktadır. Her birleşim türünde yarı-rijit düğüm noktaları davranış, dayanım, stabilite ve idealleştirme açısından incelenmektedir. Ancak yarı-rijit düğüm noktalarında moment ile dönme arasında nonlinear bir ilişki olduğundan bu düğüm noktalarının davranışını etkileyen birçok parametre vardır. Bu yüzden deneyler belirli bir tip düğüm noktası ile sınırlı kalamamakta, çok sayıda ve farklı tiplerde düğüm noktası ile deney yapılması gerekmektedir. Son yıllarda deneysel çalışmalarla sonlu elemanlar yönteminin beraber kullanılması ile yarı-rijit düğüm noktalarının nonlinear davranışını tanımlayan mevcut matematik modellerinde artış sağlanmıştır.

Kiriş ve kolon birleşimlerinde düğüm noktalarının davranışını, kolonun ve kirişin bölgesel deformasyonu ve bağlantı elemanlarının şekil değiştirmesi önemli ölçüde etkilemektedir. Kiriş kolon birleşimlerinin deformasyonları esas olarak iki kısımdan oluşur:

1) Birleşim bölgesinde oluşan deformasyonlar

- a) Birleşim elemanlarının deformasyonu: Alın levhası, köşebent, bulonlar, kaynaklar
- b) Kolon gövdesi deformasyonu: Kirişin basınç ve çekme başlığından kolona gelen kuvvetlerin kolon gövdelerinde oluşturduğu uzama ve kısalmaların neden olduğu şekil değiştirmelerdir. Kirişin kolonda oluşturduğu bu etkiler “trapezoidal etki” olarak adlandırılır.

2) Düğüm noktası bölgesindeki deformasyon

- a) Kayma gerilmesi etkisindeki gövde panelinin kayma şekil değiştirmesidir.

Düğüm noktası davranışı ile ilgili yapılan çalışmalarda düğüm noktası üç bölgeye ayrılmakta (ekme, basınç, kayma) ve bu üç bölgenin dayanımı ayrı ayrı irdelenmektedir.

4.2 Bulonlu Yarı Rijit Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3’e Göre Analizi

Bulonlu kiriş – kolon birleşimlerinde elemanlar arasındaki kuvvet aktarımının sağlanabilmesi için yardımcı köşebent veya levhalar kullanılır. Bu şekilde teşkil edilen kiriş kolon birleşimlerinden başlıcalar Bölüm 2’de anlatılmıştı. Son yıllarda bulonlu birleşimlerin davranışı ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda, Jaspert ve

Maquoi, bileşen yöntemini kullanmışlardır. Yöntemin özelliği, birleşimin bir bütün olarak değil, temel bileşenlerden oluşmuş gibi düşünülmesidir. Örneğin eğilme etkisindeki berkitmesiz alın levhalı bir kiriş kolon birleşimi aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

Basınç bölgesinde: Kolon gövdesi ve kiriş başlığı

Çekme Bölgesinde: Çekmede kolon gövdesi, bulonlar, kiriş başlığı ve alın levhası

Kayma Bölgesinde: Kolon gövde paneli

Bileşenlerin her biri çekme, basınç ve kaymada kendi mukavemet ve rijitlikleri ile ele alınırlar. Birleşimdeki bir elemanda, birden fazla bileşenini bulunması (örneğin kolon gövdesinin aynı zamanda basınç ve kayma etkisinde bulunması) ,gerilmelerin etkileşimine yol açar; bu yüzden her bir bileşenin mukavemet ve rijitliğini azaltır ve şekil değiştirme eğrilerini etkiler.

Bileşen yöntemi kullanılırken aşağıdaki adımlar izlenir

- Birleşimdeki bileşenlerin hesabı
- Her bir etkiye ait rijitlik ve / veya mukavemet büyüklüklerinin hesabı
- Bileşenlerin birlikte ele alınması ile birleşimin tümü için rijitlik ve / veya mukavemet büyüklüklerinin hesabı

Birleşime etki eden dış yükler, her yükleme adımında bileşenlere rijitlikleri ile orantılı olarak dağılırlar. Rijitlik ve mukavemet büyüklükleri genellikle, deneysel olarak, sayısal yöntemler kullanılarak veya teoriye dayalı analitik modellerden elde edilir. Değişik türde analitik modeller geliştirilebilir. Örneğin Jaspert'ın ele aldığı ifadelerde, bileşenlere etki eden parametrelerin tümü, yüklemenin başından çökme konumuna kadar göz önünde tutulmuştur.

Burada Eurocode 3 Ek J'de bulonlu yarı-rijit birleşimlerin hesabı için önerilen yöntem ana hatları ile ele alınacaktır.

4.2.1 Bulonlu Kiriş Kolon Birleşimleri İçin Eurocode 3 Önerileri

Eurocode 3 Ek J'de alın levhalı ve berkitmesiz kiriş- kolon birleşimlerinin moment dayanımı ve dönme rijitliği elde edilirken moment – dönme özellikleri, plastik bulon kuvvetleri dağılımına göre elde edilerek hesaplar Eurocode 3 J.3,1'e uygun olarak geliştirilmiştir.

Birleşimlerin dayanımı çekme, basınç ve kayma bölgelerinin dayanımlarına bağlıdır. Eurocode 3'te her bir bölgenin dayanımını elde edilmesi eşdeğer T uç bölgesi adı verilen ve ilk defa Yee ve Melchers tarafından alın levhalı birleşimlerin moment –

dönme eğrilerinin tahmininde kullanılan bir model yardımı ile olur. Çekme bölgesinin dayanımı hesaplanırken, kolon başlığı ve alın levhasının T uç bölgelerinden oluştuğu düşünülmektedir. T uç bölgesi, kolon başlığı ve bulonlardan oluşmaktadır ve etkin uzunluğu birleşim tipine bağlı olarak (örneğin üst ve alt başlık köşebentli birleşim tipinde köşebent uzunluğunun yarısı) hesaplanmalıdır. T uç bölgesinin dayanımının belirlenebilmesi için üç farklı göçme mekanizması tanımlanmıştır. [2]

- 1. Tip Göçme Mekanizması: Bu göçme modu başlığın tamamen akmasına karşılık gelir ve dört plastik mafsallın oluşumu ile tanımlanır. Plastik mafsallardan ikisi bulon eksenlerinde diğer ikisi ise flanş ve gövde birleşimindeki iki kesitte meydana gelir. Bu nedenle bu göçme mekanizmasına karşılık gelen dayanım:

$$F_{1,rd} = 4M_{pl,rd} / m \text{ olarak belirlenir ;} \quad (4.1)$$

$F_{1,Rd}$: Dayanım Kuvveti

$M_{pl, rd}$: Eşdeğer T uç bölgesi flanşlarının plastik moment kapasitesi

m: Bulon eksenleri ile plastik mafsallın oluşacağı beklenen kesit arasındaki uzaklık

$$m = d - 0,8r$$

d: Bulon eksenleri ile eşdeğer T uç bölgesi gövde yüzeyi arasındaki uzaklık

r: Flanş ve gövde birleşimi yarıçapı

- 2. Tip Göçme Mekanizması: Bu göçme modu başlığın akmasının ve bulonların göçmesinin birlikte meydana geldiği duruma karşılık gelir ve bulonların göçmesi sonucu flanş ve gövde birleşiminin yakınındaki iki kesitte iki plastik mafsallın oluşumu ile tanımlanır. Q kaldırma kuvvetlerinin artması ile bulondaki gerilmeler de artar ve bu flanş akmasından önce bulonlarda bir göçme meydana gelmesine neden olur. Bu göçme moduna karşılık gelen dayanım ise :

$$F_{2,rd} = 2M_{pl,rd} + \sum B_{rd} * n / (m+n) \text{ olarak belirlenir ;} \quad (4.2)$$

n: Bulon eksenleri ile Q kaldırma kuvveti etkime noktası arasındaki uzaklık

$$n = e_{min} \leq 1,25 m$$

e_{min} = Bulon ekseninin flanş veya levha kenarına olan düşey veya yatay mesafesi

B_{rd} : Bir bulonun çekme mukavemeti

$\sum B_{rd}$ = Eşdeğer T uç bölgesindeki bulonların toplam mukavemeti

$$B_{rd} = Q * (m+n) / M_{pl, rd} \quad (4.3)$$

Q: T eşdeğer uç bölgesine etkiyen kaldırma kuvveti değeri

- 3. Tip Göçme Mekanizması: Bu göçme mekanizması sadece bulon göçmesine karşılık gelir yani T eşdeğer uç bölgesine herhangi bir Q kuvvetinin etkimediği durumdur ve böylelikle flanş ve gövdede plastik mafsall oluşmaz. Bu durumda bu göçme mekanizmasının dayanımı:

$$F_{3,rd} = \sum B_{rd} \text{ olarak belirlenir.} \quad (4.4)$$

Tüm göçme mekanizmaları için:

$$M_{pl,rd} = 0,25 * l_{eff} * t^2 * f_y / \gamma_{m0} \text{ olarak hesaplanır.} \quad (4.5)$$

T eşdeğer uç bölgesinin dayanımı yukarıda açıklanan dayanımların en küçüğüne eşittir.

$$F_{Rd} = \min (F_{1,Rd}, F_{2,Rd}, F_{3,Rd}) \text{ olarak belirlenir ;} \quad (4.6)$$

Şayet bu üç mekanizma durumunu boyutsuz büyüklükler β_{Rd} ve λ ile ifade edilmek istenirse:

$$1. \text{Tip Mekanizmanın oluşacağı durum : } \beta_{Rd} \leq 2 * \lambda / (1 + 2 * \lambda) \quad (4.7)$$

$$2. \text{Tip Mekanizmanın oluşacağı durum: } 2 * \lambda / (1 + 2 * \lambda) < \beta_{Rd} \leq 2 \quad (4.8)$$

$$3. \text{Tip Mekanizmanın oluşacağı durum : } \beta_{Rd} > 2 \quad (4.9)$$

Yapılan deneyler 1. tip mekanizmanın ince flanşlı elemanlarda, 3. tip mekanizmanın ise kalın flanşlı elemanlarda görüldüğünü göstermiştir. [2]

4.2.1.1 Çekme Bölgesinin Dayanımı

1.) Kolon Başlığı: Çekme bölgesindeki kolon başlığının, birleşimin bu bölgedeki bulonların toplam etkin boyuna eşit olan bir boydaki eşdeğer T uç bölgelerinden oluştuğu kabul edilmektedir. Örneğin çekme bölgesinde iki sıra bulon bulunan eşdeğer T uç bölgelerinde yalnız uç bulonların etkin boyları ele alınmalıdır ve bu durumda

$$l_{eff} = 0,5 * p + 2 * m + 0,625 * n , \quad (4.10a)$$

$$l_{eff} = 4 * m + 1,25 * n \quad (4.10b)$$

$$l_{eff} = 2 * \pi * m \quad (4.10c)$$

Bu l_{eff} değerlerinden en küçüğü (4.5)'te kullanılıp bulunan $M_{pl,rd}$ değeri ile (4.1) , (4.2) ve (4.4) denklemlerinden 1. , 2. ve 3. tip mekanizmalara ait dayanımlar hesap edilir ve bu dayanımlardan en küçüğü çekme bölgesindeki kolon başlığının dayanımını verir. Parametrelerle ifade edecek olursak:

$$F_{Rd, 1} = \min (F_{1,Rd}; F_{2,Rd}; F_{3,Rd})$$

$$F_{1,Rd} = [(8*n - 2*e_w)* M_{pl, rd} / (2*m*n - e_w*(m+n))] * k_{fc} \quad (4.11)$$

$$F_{2,Rd} = [2* M_{pl,rd} * k_{fc} + 4*B_{Rd}*n / (m+n)] \quad (4.12)$$

$$F_{3,Rd} = 4*B_{Rd} \quad (4.13)$$

$$e_w = d_w / 4$$

$$d_w = 23.16 \text{ mm}$$

$$\text{Kolon flanşının rijitliği: } K1 = 0,85 * l_{eff} * t_{fc}^3 / m^3$$

2.) Alın Levhası: Çekme bölgesindeki alın levhasının, birleşimin bu bölgesindeki bulonların toplam etkin boyuna eşit olan bir boydaki, eşdeğer T uç bölgelerinden oluştuğu düşünülmüştür. Çekme başlığının dışındaki bulonların etkin boyu için aşağıda verilen değerlerin en küçüğü alınır:

$$l_{eff} = 0,5*w + 2*m + 0,625*n \quad (4.14a)$$

$$l_{eff} = 4*m + 1,25*n \quad (4.14b)$$

$$l_{eff} = 2*\pi*m \quad (4.14c)$$

$$l_{eff} = 0,5 * b \quad (4.14d)$$

Bu en küçük değer (4.5) denkleminde kullanılır ve (4.1) , (4.2) ve (4.4) denklemlerinden 1. , 2. ve 3. tip mekanizmalara ait dayanımlar hesap edilir ve bu dayanımlardan en küçüğü çekme bölgesindeki alın levhasının dayanımını verir.

Kiriş başlığının altındaki ilk sırada bulunan bulonun etkin uzunluğu ise :

$$l_{eff} = \alpha * m \quad (4.15)$$

$$l_{eff} = 2*\pi*m \quad (4.16)$$

(α katsayısı m ve e değerlerine bağlı olarak tanımlanan bir diyagramdan alınır.)

uzunluklarının küçük olanına eşittir ve dayanım benzer şekilde hesaplanır.

$$F_{Rd, 1} = \min (F_{1,ep, Rd}; F_{2, ep, Rd}; F_{3, ep, Rd})$$

$$F_{1,Rd} = [(8*n_p - 2*e_w)* M_{pl, rd} / (2*m_p*n_p - e_w*(m_p+n_p))] \quad (4.17)$$

$$F_{2,Rd} = [2* M_{pl,rd} * k_{fc} + 4*B_{Rd}*n_p / (m_p+n_p)] \quad (4.18)$$

$$F_{3,Rd} = 4*B_{Rd}$$

$$m_p = u_1 - 0,8*\sqrt{2} * a_f$$

$$\text{Alın levhasının rijitliği: } K2 = 0,85 * l_{eff} * t_p^3 / m_p^3 \quad (4.19)$$

3.) Bulonlar: Kolon başlığının dayanımı genellikle, alın levhasınıninkine eşit değildir. Çekme bölgesinde bulonların dayanımını hesaplarken, bulon sıralarında, kolon başlığı ve alın levhasına gelen yükler arasında dengenin oluşturulduğu bir kuvvet dağılımını bulmak gerekir. Dayanım:

$$F_{Rd,3} = 4 \cdot B_{Rd}$$

$$B_{Rd} = 0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{mb} \quad (4.20)$$

Rijitlik;

$$K_3 = 3,2 \cdot A_s / L_b \quad (4.21)$$

$$L_b = t_{fc} + t_p + 0,5 \cdot (h_{bo} + h_n) \quad (4.22)$$

4.) Kolon Gövdesi: Çekme kuvveti etkisindeki kolon gövdesinin dayanımı :

$$F_{Rd,4} = \rho_t \cdot b_{eff} \cdot t_{wc} \cdot f_y / \gamma_{m0} \quad (4.23)$$

b_{eff} : (4.10a) , (4.10b) , (4.10c) denklemlerinde hesaplanan büyüklüklerin en küçüğü

t_{wc} : Kolon gövde kalınlığı

$\beta = 0 \rightarrow \rho_t = 1$ Orta düğüm noktasında eşit fakat ters yönde momentlerin etkimesi durumunda

$\beta = 1 \rightarrow \rho_t = \rho_{t1}$ Kenar düğüm noktalarında

$\beta = 2 \rightarrow \rho_t = \rho_{t2}$ Orta düğüm noktasında eşit ve aynı yönde momentlerin etkimesi durumunda

$$\rho_{t1} = 1 / [1 + 1,3 \cdot (b_{eff} \cdot t_{wc} / A_{vc}^2)]^{0,5} \quad \rho_{t2} = 1 / [1 + 5,2 \cdot (b_{eff} \cdot t_{wc} / A_{vc}^2)]^{0,5} \quad (4.24)$$

Rijitlik:

$$K_4 = 0,7 \cdot b_{eff} \cdot t_{wc} / d_c \quad (4.25)$$

4.2.1.2 Basınç Bölgesinin Dayanımı

1.) Kolon gövdesi: Basınç kuvveti etkisindeki kolon gövdesi dayanımı

$$F_{c,Rd,1} = k_{wc} \cdot \rho_c \cdot b_{eff} \cdot t_{wc} \cdot f_y / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc}' \leq 0,67) \quad (4.26)$$

$$F_{c,Rd,1} = k_{wc} \cdot \rho_c \cdot b_{eff} \cdot t_{wc} \cdot f_y \cdot [(1 - (0,22 / \lambda_{wc}')) / \lambda_{wc}'] / \gamma_{m0} \quad (4.27)$$

$(\lambda_{wc}' > 0,67)$

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} \cdot a_{ep} + 5 \cdot (t_{fc} + s) + s_p \quad (4.28)$$

t_{fb} : Kirişin başlık kalınlığı

a_{ep} : Kiriş başlığını alın levhasına bağlayan kaynak kalınlığı

t_{fc} : Kolonun başlık kalınlığı

$s = r_c$: Kolonunu eğrilik yarıçapı (Hadde ürünü I kesitlerde)

$s = a_c * \sqrt{2}$ (Yapma I kesitlerde)

a_c = Kolonun başlık ve gövdesini birbirine bağlayan kaynak kalınlığı

$s_p = 2 * t_{ep}$

t_{ep} : Alın levhası kalınlığı

$$k_{wc} : \min (1,0 ; 1,25 - 0,5 * (\sigma_{n, wc} / f_{ywc})) \quad (4.29)$$

$$\lambda_{wc}' = 0,93 * [(b_{eff} * d_c * f_{ywc}) / E * t_{wc}^2]^{0,5} \quad (4.30)$$

$$d_c = h_c - 2 * (t_{fc} + t_{rc}) \quad (4.31)$$

Rijitlik;

$$K_{c,1} = 0,7 * b_{eff} * t_{wc} / d_c \quad (4.32)$$

2.) Kiriş flanşı: Basınç etkisindeki kiriş flanşının dayanımı;

$$F_{c, Rd, 2} = M_{c, Rd} / (h_b - t_{fb}) \quad (4.33)$$

Rijitlik;

$$K_{c,2} = : \quad (4.34)$$

4.2.1.3 Kayma Bölgesinin Dayanımı

Kayma kuvveti etkisindeki kolon gövde panelinin dayanımı;

$$F_{s, Rd, 1} = V_{wc, Rd} / \beta \quad (4.35)$$

$$V_{wc, Rd} = 0,9 * A_v * f_{ywc} / (\sqrt{3} * \gamma_{m0}) \quad (4.36)$$

A_v : Kolon kesitinin kayma alanı

4.2.1.4 Sonuç

Yukarıda verilen tüm bu bilgiler ışığında birleşimin moment dayanımı hesap edilebilir.

Birleşimin Moment Dayanımı:

$$F_{Rd} = \min (F_{Rd, j})$$

Plastik moment dayanımı;

$$M_{Rd} = F_{Rd} * h \quad [4]$$

(4.37)

Elastik Moment Dayanımı

$$M_e = 2/3 * M_{Rd} \quad (4.38)$$

Birleşimin Dönme Rijitliği:

$$S_{j, ini} = E * h^2 / \sum_{i=1}^7 1 / K_i \quad (4.39)$$

Elde edilen bu dönme rijitliği sayesinde Bölüm 2’de verilen Eurocode 3 kiriş kolon birleşimlerinin sınıflandırılması sistemine göre birleşimin hangi tür birleşim olduğu (rijit, mafsallı veya yarı – rijit) belirlenebilir.

4.3 Kaynaklı Yarı Rijit Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3’e Göre Analizi

Kaynaklı kiriş kolon birleşimleri, kirişin kolon flanşına veya gövdesine çepeçevre kaynakladığı pratikte sıkça kullanılan birleşim türleridir. Kirişin kolona doğrudan (yardımcı elemana gerek olmaksızın) bağlandığı bu tip birleşimlerde kiriş tesirleri kolona kaynaklarla iletilir. Bu tip birleşimlerde elemanlar arasında moment aktarımının olduğu ve rölatif dönmenin olmadığı yani rijit birleşimler olduğu kabul edilir. Aslında kaynaklı düğüm noktaları ideal rijit birleşim türüne en yakın birleşimlerdir fakat bu ancak kolon gövdesinin yatay, düşey ve diyagonal berkitmelerle (rijitleştiricilerle) güçlendirildiği zaman mümkün olabilir. Oysa pratikte projelerde ekonomi sağlama açısından çoğu zaman bu berkitmeler kullanılmaz ve bu da birleşimde ihmal edilemeyecek deformasyonlar oluşmasına neden olur. Böylelikle kaynaklı düğüm noktaları da yarı-rijit davranış göstermiş olurlar

4.3.1 Kaynaklı Kiriş Kolon Birleşimleri İçin Eurocode 3 Önerileri

Eurocode 3’te kaynaklı birleşimlerin yarı-rijit davranışları gözönünde bulundurularak taşıma gücü aşağıdaki kriterler hesaba katılarak irdelenir[6]:

1. Çekme bölgesinin dayanımı için:

- a) Kolon gövdesinin akması

- b) Kiriş gövdesinin akması
 - c) Kolon başlığının akması
 - d) Kaynak akması
2. Basınç bölgesinin dayanımı için:
- a) Kolon gövdesinin ezilmesi
 - b) Kolon gövdesinin burkulması
3. Kayma bölgesinin dayanımı için:
- a) Kolon gövde panelinin kayma göçmesi

4.3.1.1 Çekme Bölgesinin Dayanımı

Berkitilmemiş kolon başlığı durumunda çekme bölgesi dayanımı:

$$F_{t,Rd} = [f_{yb} * t_{fb} * (t_{wc} + 2r_c) + 7 * f_{yc} * t_{fc}^2] / \gamma_{m0} \leq [f_{yb} * t_{fb} * (t_{wc} + 2r_c + 7t_{fc})] / \gamma_{m0} \quad (4.40)$$

olarak verilmektedir. Buradan bulunan dayanım değerinin :

$$F_{t,Rd} \geq 0,7 * f_{yb} * t_{fb} * b_{fb} \quad (4.41)$$

şartını sağlamıyorsa, düğüm noktasının berkitilmesi gerekir. Ayrıca kolonu kirişi kolon başlığına bağlayan kaynaklar kiriş başlığının dayanımı olan;

$$f_{yb} * t_{fb} * b_{fb} / \gamma_{m0} \quad \text{“} \quad (4.42)$$

kuvvetini taşıyabilecek mukavemette olmalıdır. Kaynak taşıma gücü:

$$F_{wrd} = b_{fb} * t_{fb} * f_{yb} / \gamma_{m0} \leq a * l * f_u / \sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{Mw} \quad (4.43)$$

yazılabilir.

Berkitilmemiş kolon başlığında taşıma gücü:

$$F_{t,Rd} = f_{yc} * t_{wc} * b_{eff} / \gamma_{m0} \quad (4.44)$$

Kaynaklı bağlantılarda, kolon gövdesinin etkili genişliği (hadde ürünü I kesitlerde):

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} * a_b + 5 * (t_{fc} + r_c) \quad (4.45)$$

Berkitilmiş kolon için çekme kuvveti etkisindeki berkitilmiş kolonun dayanımının en az (4.42)'de verilen kiriş başlığı dayanımına eşit alınlabileceği belirtilmektedir.

Bunun için aşağıdaki şartların sağlanması gerekir:

- Berkitmelerin kalınlığı, kiriş başlığının kalınlığından az olmamalıdır.
- Kolon ile berkitmeler arasındaki kaynakların kiriş tarafından uygulanan kuvvete dayanımları kontrol edilmelidir.

4.3.1.2 Basınç Bölgesinin Dayanımı

Berkitilmemiş kolon gövdesinin ezilme dayanımı:

$$F_{t,Rd} = f_{yc} * t_{wc} * [1,25 - 0,5 * \gamma_{m0} * \sigma_{n,Ed} / f_{yc}] * b_{eff} / \gamma_{m0} \leq f_{yc} * t_{wc} * b_{eff} / \gamma_{m0} \quad (4.46)$$

olarak verilmektedir.

Berkitilmemiş kolon gövdesinin burkulma dayanımı;

$$R_{b,Rd} = x * t_{wc} * b_{eff} / \gamma_{m0} \quad (4.47)$$

$$b_{eff} = h_c \rightarrow A = b_{eff} * t_{wc}$$

$$I = b_{eff} * t_{wc}^3 / 12 \rightarrow i = \sqrt{I/A} \quad (4.48)$$

λ' narinlik katsayısı ve x azaltma katsayıları Bölüm 3'te açıklandığı şekilde belirlenecektir.

Berkitilmiş kolon gövdesi dayanımı çekme bölgesinde verilen koşulları sağlayacaktır.

4.3.1.3 Kayma Bölgesinin Dayanımı

Berkitilmemiş kolon gövde panelinin kayma dayanımı:

$$V_{Rd} = [A_v * f_{yc} / \sqrt{3}] / \gamma_{m0} \quad (4.49)$$

olarak verilmektedir.

Kolon gövdesinin kayma dayanımını arttırmak için diyagonal gövde berkitmeleri kullanıldığında, berkitmelerin kirişlerin başlıkları tarafından kolona iletilen çekme ve basınç kuvvetlerine göre irdelenmesi gerekmektedir. Ayrıca berkitmeler ile kolon gövdesi arasındaki kaynakların dayanımı en az berkitmelerin dayanımına eşit olmalıdır.

4.3.1.4 Sonuç

Sonuç olarak kaynaklı bir düğüm noktasının dayanımı; çekme, basınç ve kayma bölgeleri için ayrı ayrı bulunan dayanım değerlerinden en küçüğü olacaktır. Şayet bu dayanım çekme veya basınç bölgesi dayanımlarından biri ise birleşimin taşıyabileceği moment kapasitesi:

$$M_{Rd} = \min (F_{t,Rd}, F_{c,Rd}) * (h_b - t_{fb}) [4] \quad (4.50)$$

olarak bulunur. Burada:

h_b : Kiriş kesit yüksekliği

5.SAYISAL ÖRNEKLER

Sayısal uygulama bölümünde iki tip yapı ele alınarak yarı-rijit birleşimlerin sistem boyutlandırılması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Her iki yapıda öncelikle düğüm noktaları ideal rijit olarak kabul edilip EC3'e göre boyutlandırma yapılmış daha sonra düğüm noktalarının yarı-rijit davranışı da gözönünde bulundurularak EC3'e göre yeniden boyutlandırılmıştır.

5.1 Üç Katlı Büro Binası Analizi

İlk olarak X yönünde 7'şer metre aralıklı üç açıklığı ve Y yönünde 6'şar metre aralıklı üç açıklığı bulunan üç katlı bir büro binası ele alınmıştır. Bina kat yüksekliği 3,0 m olup bina 504 m²'lik bir alana oturmaktadır.

Döşemeler sonsuz rijit diyafram olarak sistemde tanımlanmıştır. Amacın düğüm noktalarının rijitliklerinin sistem üzerindeki etkilerini incelemek olması sebebi ile döşeme hesabı yapılmamıştır. Döşeme yüklerini kirişlere aktarabilmek amacı ile x doğrultusuna paralel 1,2 m aralıkla tali kirişler atılmıştır. X ve Y yönündeki ana kirişler ve tali kirişler kompozit olarak çalıştırılmıştır.

Binanın oturduğu zemin sınıfı Z2, bina önem katsayısı I = 1'dir.Bina 1. deprem bölgesinde bulunmaktadır.

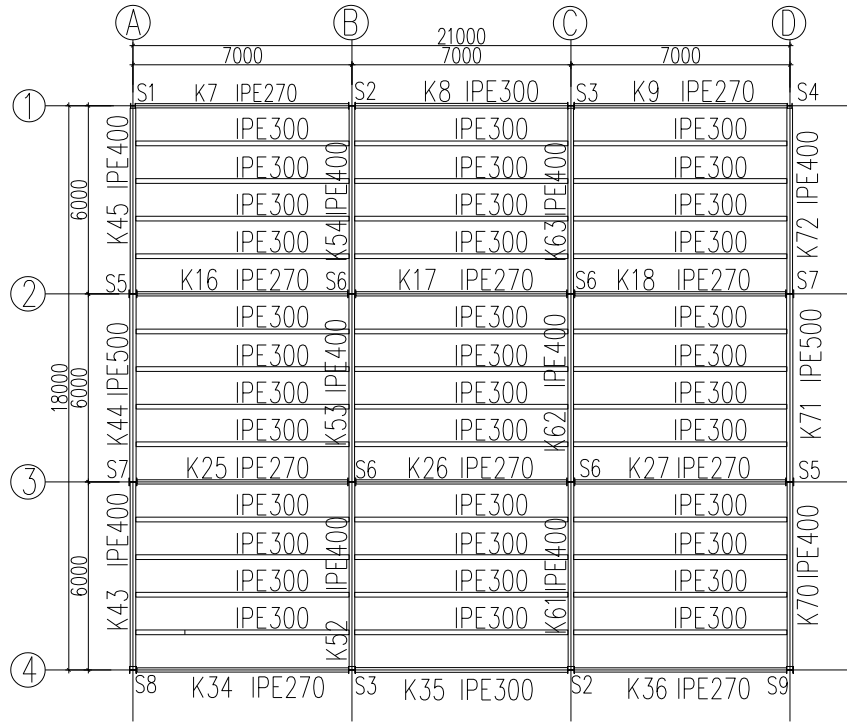
Binanın dört dış cephesinde de orta iki aks arasında bina yüksekliğince devam eden çelik çapraz perdeler (dış merkez çaprazlar) mevcuttur.

Bina büro tipi yapı olduğundan sadece dış kirişler üzerinde Ytong duvarlar mevcuttur. Kat içersindeki alçıpan bölme duvarların ağırlığı ihmal edilmiştir.

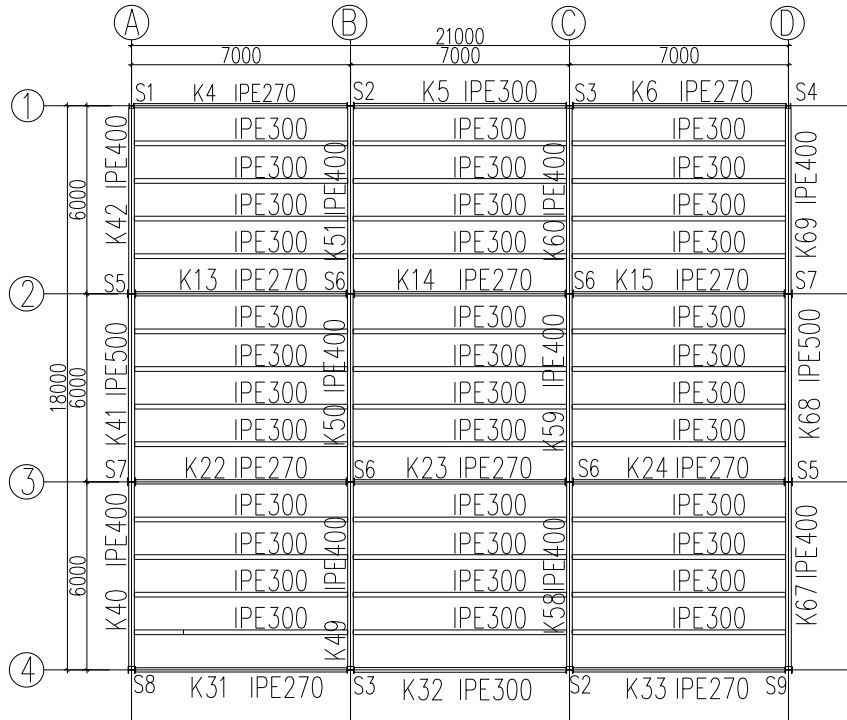
Deprem hesabında eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır.(ABYYHY)

Binanın statik hesabında SAP 2000 V.9 analiz programı kullanılmıştır.

Rijit sistem çözümünde X yönündeki ana kirişlerin kolonlara rijit olarak bağlandığı kabul edilmiştir. Yalnızca dış merkez çaprazların bağlandığı kirişler “daha fazla hareket imkânı ile enerji yutma kapasitelerini arttırmak amacıyla” kolonlara mafsallı olarak bağlanmıştır. Y yönündeki (zayıf eksen yönü) kirişler ise hem rijit hem de yarı-rijit düğüm noktalı çözümde kolonlara mafsallı olarak bağlanmıştır.

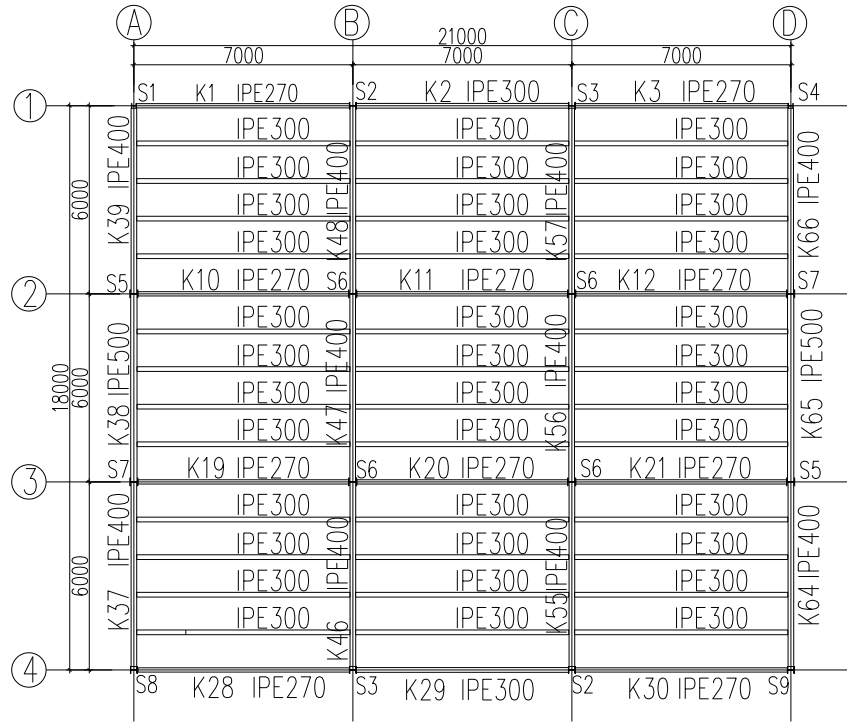


Şekil 5.1 Üç Katlı Bina 1.Kat Planı



Şekil 5.2 Üç Katlı Bina 2.Kat Planı

Dış merkez çaprazlar çift NPU 300 profilinden teşkil edilmiş ve uçlarından mafsallı olarak tasarlanmıştır.



Şekil 5.3 Üç Katlı Bina 3.Kat Planı

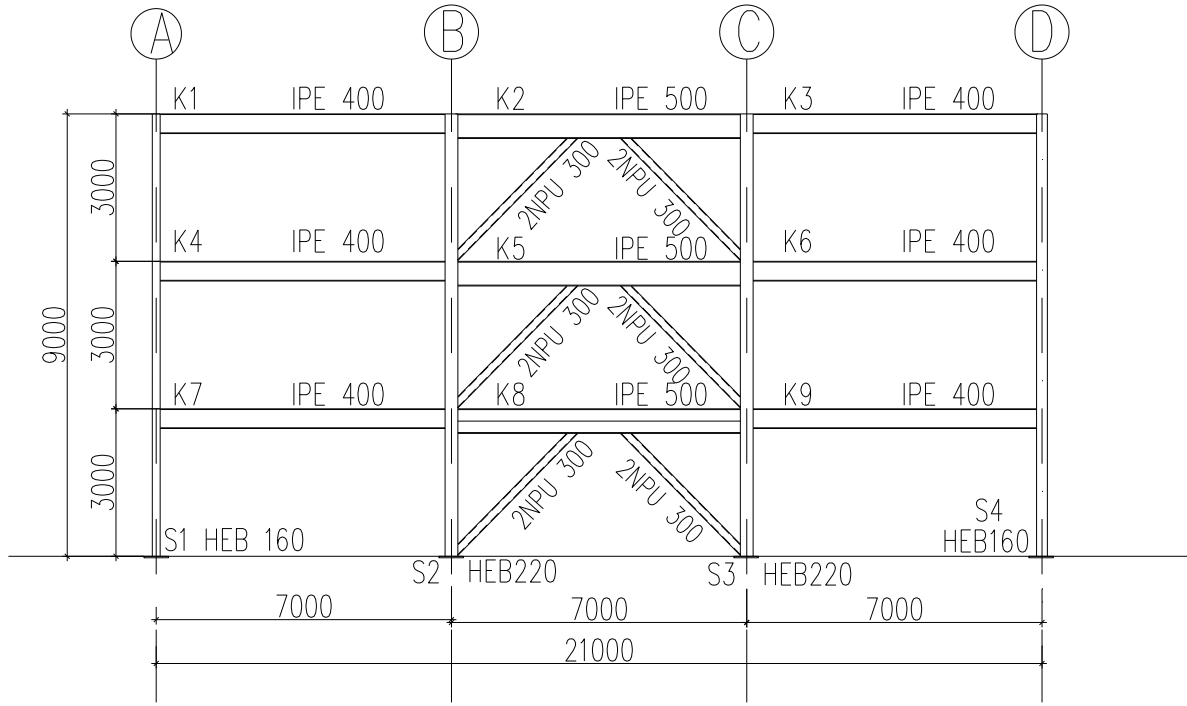
5.1.1 Düğüm Noktaları Rijit Üç Katlı Büro Yapısının Eurocode 3'e Göre Hesabı

X yönündeki ana kirişlerin kolonlara “ideal rijit” olarak bağlandığı kabul edilmiş ve EC3'e göre boyutlandırma yapılmıştır. Binanın yük analizi Ek-A'da verilmiştir. Rüzgâr yükünün belirlenmesinde TS 498 standardından yararlanılmıştır. Deprem yükü ise ABYYHY'deki hususlara göre belirlenmiştir. Sisteme uygulanan yük kombinasyonları ise Ek-B'de verilmiştir. Eurocode 3'te kullanma ve sınır durumuna göre ayrı kombinasyonlar tanımlandığından sistemde de bu şekilde kombinasyonlar tanımlanmıştır. Düğüm noktaları rijit üç katlı büro yapısının EC3'e göre hesabı Ek-C'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

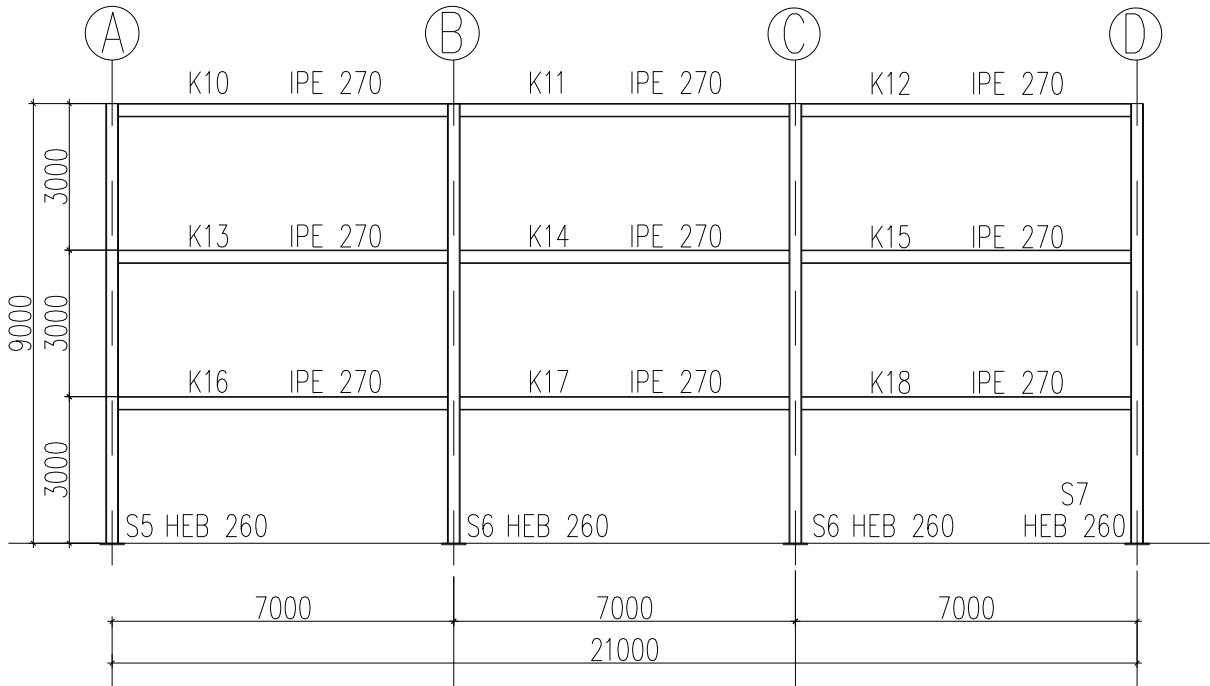
5.1.1.1 Kirişlerin Boyutlandırılması

Ana kirişler ve tali kirişlerde öncelikle kullanma sınır durumuna göre deplasman kontrolleri yapılmıştır. EC3'te kirişin yapabileceği maksimum toplam sehim $L / 250$ değeri ile sınırlı tutulmuştur. X ve Y doğrultusundaki ana kirişlerin kullanma sınır durumuna göre kontrolü Ek-C'deki ilgili tablolarda verilmiştir.

Ana ve tali kirişlerin taşıma sınır durumuna göre kontrolü Bölüm 3'te belirtilen hususlara göre enkesit eğilme dayanımı, yanal burkulma, kesme burkulması, azaltılmış flanş burkulması tahkiklerine göre yapılmıştır. Bu hesaplar ayrıntılı bir biçimde Ek-C'de gösterilmiştir. X ve Y doğrultusundaki ana kirişlerin enkesit eğilme dayanımına göre tahkikleri yine Ek-C'deki ilgili tablolarda verilmiştir.



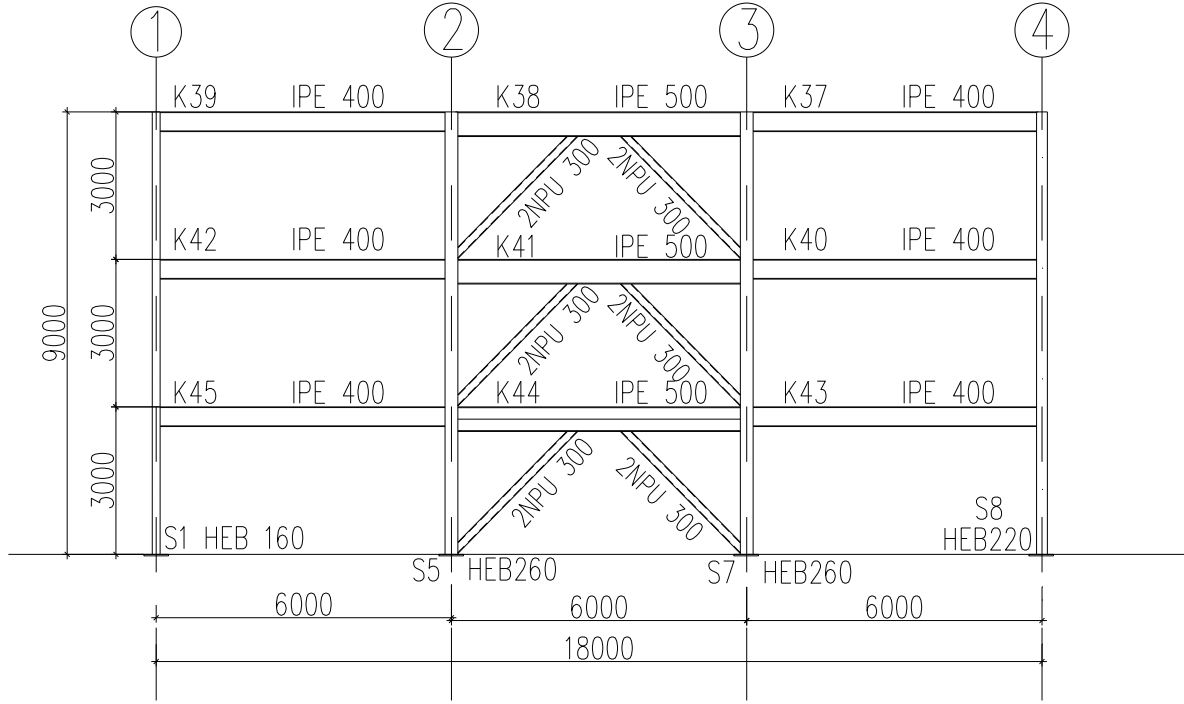
Şekil 5.4 Üç Katlı Bina 1 Aksı Görünüşü



Şekil 5.5 Üç Katlı Bina 2 Aksı Görünüşü

5.1.1.2 Kolonların Boyutlandırılması

Kolonların boyutlandırılmasında her bir kolon kesiti için en elverişsiz duruma haiz kolonda kontroller yapılmıştır. Öncelikle kullanma sınır durumuna göre kontrol yapılmıştır. EC3'te



Şekil 5.6 Üç Katlı Bina A Aksı Görünüşü

kolon yatay deplasmanları katlarda $h/300$, kolon uç noktasında ise $h_0 / 500$ ile sınırlandırılmıştır.

Taşıma sınır durumuna göre kontrolde ise yine her bir kolon kesiti için maksimum kesit tesirleri ele alınarak Bölüm 3.3.6.2’de moment ve basınç etkisinin beraber bulunduğu duruma göre boyutlandırma yapılmıştır. Hesap ayrıntıları Ek-C’de verilmiştir.

5.1.1.3 Dış Merkez Çaprazların Boyutlandırılması

Çift NPU 300 profilinden teşkil edilen uçlarından mafsallı çaprazların Bölüm 3.3.5’teki hususlara göre boyutlandırılması Ek-C’de verilmiştir.

5.1.2 Düğüm Noktaları Yarı Rijit Alın Levhalı Üç Katlı Büro Yapısının Eurocode 3’e Göre Hesabı

X yönündeki kiriş kolon birleşimlerinde yarı rijit alın levhalı birleşim tipi kullanılmıştır. Rijit sisteme oranla daha küçük kesitte kirişler seçilerek birleşimler oluşturulmuş ve birleşimlerin moment taşıma kapasiteleri ve dönme rijitlikleri Bölüm 4’te belirtilen hususlara göre hesaplanmıştır. Bu hesaplar ayrıntılı olarak Ek-D’de verilmiştir.

Hesaplanan dönme rijitlikleri Sap 2000 programındaki partial fixity özelliği yardımı ile düğüm noktalarına yay katsayısı olarak girilmiş ve sistem yeniden analiz edilmiştir. Yeni analiz sonuçlarına göre de sistem elemanları tekrar EC3 esaslarına göre boyutlandırılmıştır. Boyutlandırma detayları Ek-D’de verilmiştir.

5.1.2.1 Kirişlerin Boyutlandırılması

X yönünde kolonlara yarı rijit alın levhalı olarak bağlanan kirişler, düğüm nokta rijitliklerinin girildiği sistem analiz sonuçları kullanılarak kullanma ve taşıma sınır durumuna göre boyutlandırılmıştır. Kullanma ve taşıma sınır durumlarına göre kontroller Ek-D'deki ilgili tablolarda verilmiştir.

5.1.2.1 Kolonların Boyutlandırılması

Kolonların yarı rijit düğüm noktalı sistem analiz sonuçlarına göre boyutlandırılması Ek-D'de verilmiştir. Kolonlarda yanal burkulma ve eğilme tahkikleri yapılmıştır.

Y yönündeki kirişler ve düşey çaprazlar uçlarından mafsallı olarak tasarlandığından yeniden boyutlandırılmalarına gerek duyulmamıştır.

5.2 Endüstri Yapısı Analizi

Son olarak toplam 45 m uzunluğunda 22 m çerçeve açıklıklı kolon yüksekliği 6m ve toplam bina yüksekliği 7,65 m olan bir endüstri (hal) yapısı ele alınmıştır. Bina toplam 990 m² lik bir oturma alanına sahiptir. Çatı kirişleri 5 m ara ile konulmuştur.

Endüstri yapısının oturduğu zemin sınıfı Z2, bina önem katsayısı $I = 1$ 'dir. Bina 1. deprem bölgesinde bulunmaktadır.

Yapı, Y doğrultusunda daha fazla deprem kuvveti aldığından dolayı bu doğrultuda ilk ve son açıklıklara çift NPU 160 profilinden teşkil edilen dış merkez düşey çaprazlar konulmuştur. Ayrıca çatıda da ilk ve son açıklıklarda 5 inch borudan çatı çaprazları kullanılmıştır.

Y doğrultusundaki HEA 140 profilden çerçeve kirişleri kolonlara mafsallı olarak bağlanmaktadır.

Yapıda çatı ve yan cephelerin kaplanmasında alüminyum sandviç panel kullanılmıştır. Çatı ve cephede NPU 120'lik aşık ve kuşaklar kullanılmıştır.

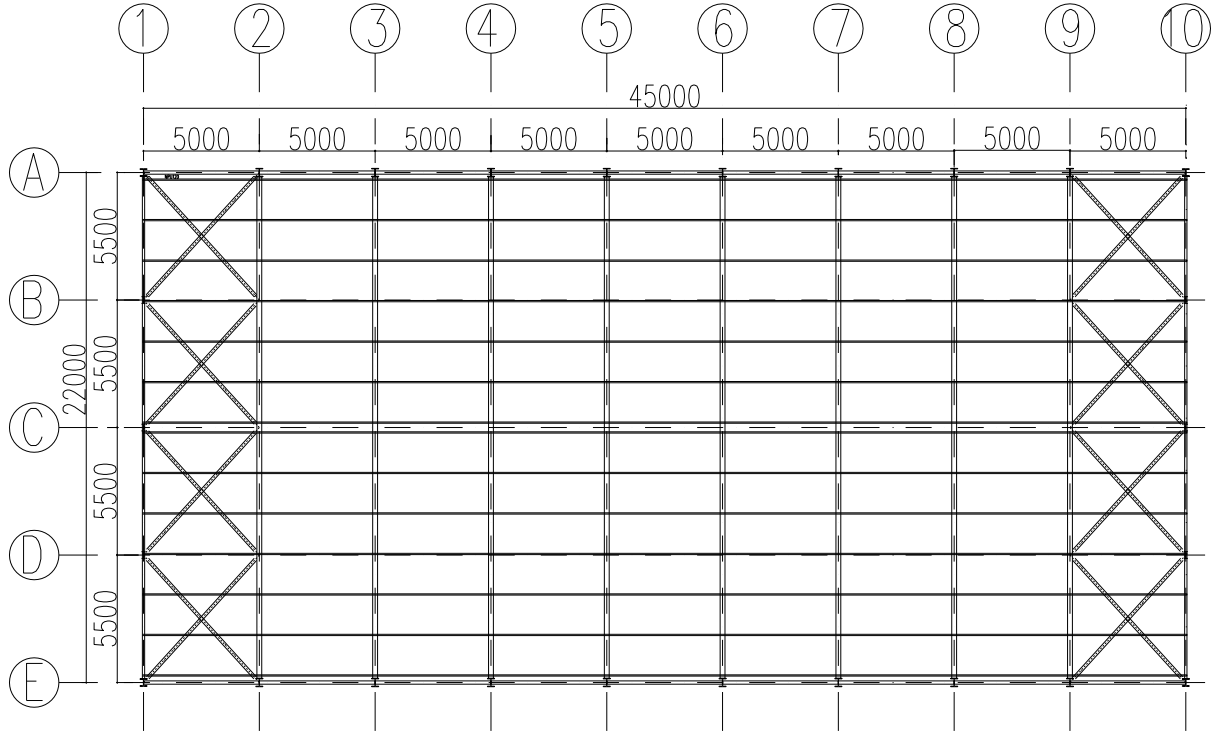
Kalkan cephelerde kuşakların mesnetlenmesi amacı ile 5,5 m aralıkla IPE 300 profilinden cephe kolonları konulmuştur.

Deprem hesabı ABYYHY'ye göre yapılmıştır ve eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır.

Yapı SAP 2000 v.9 programı yardımı ile analiz edilmiştir.

5.2.1 Düğüm Noktaları Rijit Endüstri Yapısının Eurocode 3'e Göre Hesabı

X yönündeki çatı kirişlerinin kolonlara ideal rijit olarak bağlandığı kabul edilmiş ve buna göre analiz edilen sistemdeki elemanlar EC3'e göre boyutlandırılmıştır. Yapıya ait yük analizi ve deprem hesabı Ek-E'de verilmiştir. Yapının analizinde kullanılan kullanma ve taşıma sınır



Şekil 5.7 Endüstri Yapısı Çatı Dispozisyon Planı

durumuna göre yük kombinasyonları Ek-F’de gösterilmiştir. Düğüm noktaları rijit endüstri yapısının EC3’e göre hesabı Ek-G’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

5.2.1.1 Çatı Kirişlerinin Boyutlandırılması

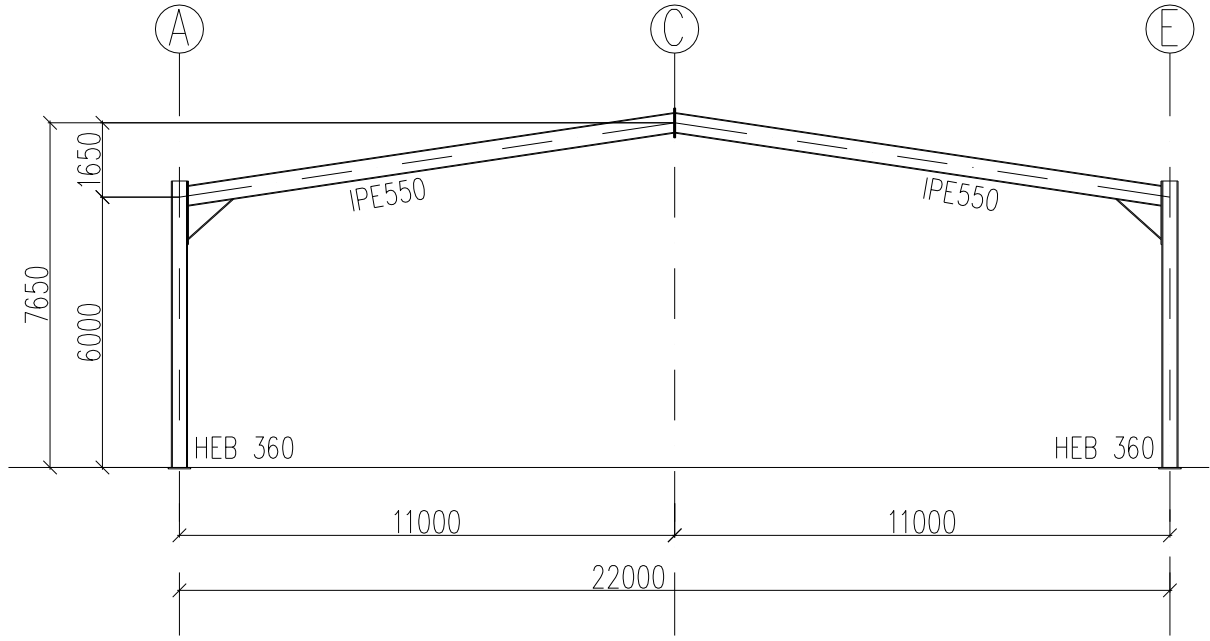
Kolonlara ideal rijit olarak bağlanan çatı kirişlerinde öncelikle kullanma sınır durumunun sağlanıp sağlanmadığına bakılmıştır. EC3’te verilen $L / 250$ maksimum deplasman sınır şartına göre çatı kirişlerinin yaptığı maksimum sehim kontrol edilmiştir.

Taşıma sınır durumuna göre çatı kirişleri enkesit eğilme dayanımı, yanal burkulma, kesme burkulması, azaltılmış flanş burkulması tahkiklerine göre kontrol edilmiştir. Orta çatı kirişlerinde IPE 550, kenar çatı kirişlerinde ise IPE 300 enkesiti kullanılmıştır. Hesap detayları Ek-G’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

5.2.1.2 Kolonların Boyutlandırılması

Ana kolonlarda HEB 320 ve cephe kolonlarında IPE 300 profili kullanılmıştır. Kolonların boyutlandırılmasında en elverişsiz duruma haiz kolonda kontroller yapılmıştır. Öncelikle kullanma sınır durumuna göre kontrol yapılmıştır. EC3’te krensiz hal yapı çerçeveleri için kolon uç noktası deplasmanı $h / 500$ ile sınırlandırılmıştır. (Tablo 3.5)

Taşıma sınır durumuna göre kontrolde ise maksimum kesit tesirlerinin olduğu ana kolonda yanal burkulma ve moment ve basınç etkisinin beraber bulunduğu eğilme durumuna göre boyutlandırma yapılmıştır. Ana kolonlar zemine ankastre olarak oturmaktadır. Cephe kolonları ise zemine mafsallı olarak oturduğundan moment almamaktadırlar bu yüzden basınç elemanı



Şekil 5.8 Endüstri Yapısı 2 Aksı Görünüşü

olarak Bölüm 3.3.4.2’de belirtilen hususlara göre boyutlandırılmıştır. Ana kolonların ve cephe kolonlarının hesap detayları Ek-G’de verilmiştir.

5.2.1.3 Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması

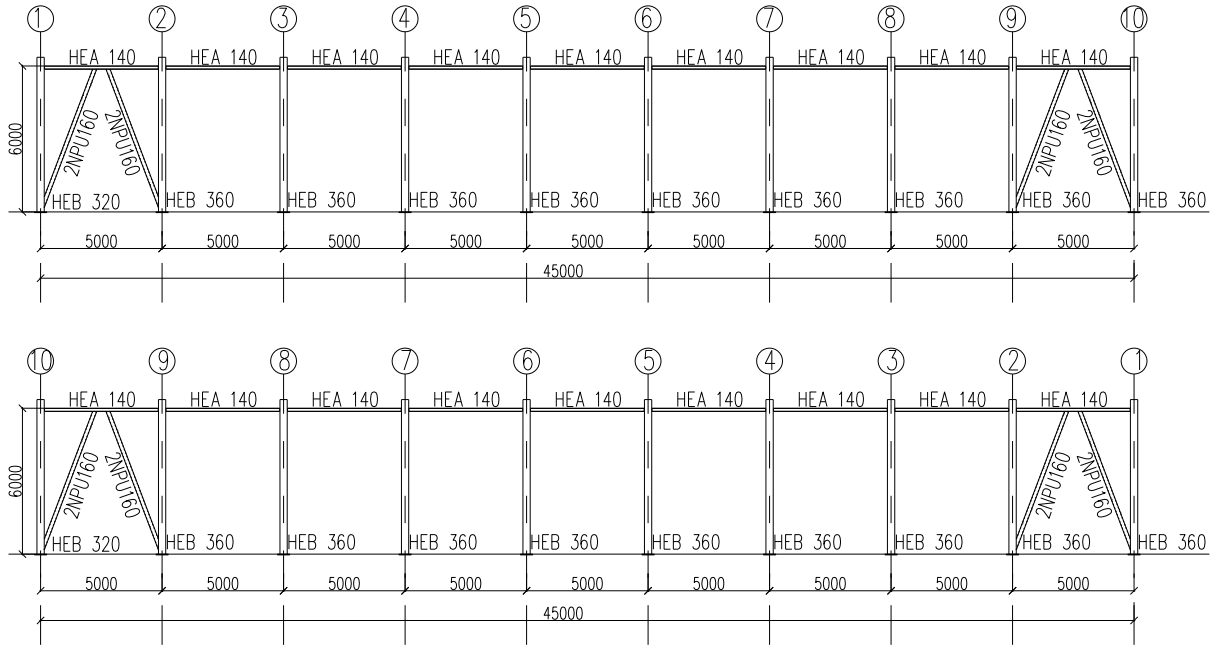
Y doğrultusunda kolonlara mafsallı olarak bağlanan çerçeve kirişlerinin kullanma sınır durumu, enkesit eğilme dayanımı, yanal burkulma, kesme burkulması, azaltılmış flanş burkulması hesapları yapılmış ve kirişler HEA 140 profilinden teşkil edilmiştir. Hesap detayları Ek-G’de gösterilmiştir.

5.2.1.4 Dış Merkez Çaprazların Boyutlandırılması

Çift NPU 160 profilinden teşkil edilen uçlarından mafsallı çaprazların Bölüm3.3.5’teki hususlara göre boyutlandırılması Ek-G’de verilmiştir.

5.2.1.5 Çatı Çaprazlarının Boyutlandırılması

5 inch boru profillerin kullanıldığı çatı çaprazları çekme çubuğu olarak tasarlanmıştır. Bu yüzden Bölüm 3.3.4.1’de çekme elemanları için EC3’ün önerdiği boyutlandırma yöntemine göre boyutlandırılmışlardır. Kullanma ve taşıma sınır durumuna göre hesap detayları Ek-G’de verilmiştir. inden teşkil edilen uçlarından mafsallı çaprazların Bölüm3.3.5’teki hususlara göre boyutlandırılması Ek-G’de verilmiştir.



Şekil 5.9 Endüstri Yapısı E ve A Aksları Görünüşü

5.2.2 Düğüm Noktaları Yarı Rijit Alın Levhalı Endüstri Yapısının Eurocode 3'e Göre Hesabı

Çatı kirişlerinin kolonlara birleşiminde yarı-rijit alın levhalı birleşimler kullanılmıştır. İlk olarak kolon ve kiriş kesiti küçültülerek oluşturulan birleşimin moment taşıma kapasitesi ve dönme rijitliği hesaplanarak sistemdeki çatı kirişlerine kısmi rijitlik olarak atanmış ve sistem yeniden analiz edilmiştir. Çıkan analiz sonuçlarından kesitlerin uygun olmadığı görülmüş ve rijit sistemle aynı kesitler kullanılmak sureti ile yeni bir birleşim oluşturulmuştur. Bu birleşimin dönme rijitliği hesaplanarak sisteme girilmiş ve kolonların kullanma sınır durumunu sağlamaması üzerine kolon kesiti arttırılarak oluşturulan yeni birleşimin dönme rijitliğinin kirişlere atanması sureti ile sistem analiz edilmiştir. Analiz sonucu birleşime gelen moment değerlerinin birleşimin moment taşıma kapasitesinden büyük olması yüzünden birleşimde guse kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Son olarak guseli birleşim moment taşıma kapasitesi ve dönme rijitliği hesaplanmış, dönme rijitliği ve guse kesiti kirişlere atanmış bu duruma göre sistem analiz edilip boyutlandırılmıştır. Bu üç duruma ait hesaplar ayrıntılı bir biçimde Ek-H'de verilmektedir.

5.2.2.1 Çatı Kirişlerinin Boyutlandırılması

Çatı kirişlerinin kolonlara alın levhalı olarak yarı-rijit bir biçimde bağlandığı kabulü yapılarak rijit sistemle aynı kesit kullanılmış ve bu şekilde oluşturulan birleşimin dönme rijitliği sistemdeki kirişlere atanmış ve sistem bu rijitliklerle analiz edilmiştir. Analiz sonucu düğüm

noktasına gelen moment değerinin birleşimin moment taşıma kapasitesinden büyük olması sebebi ile birleşimde gse yapılmıştır. Guseli birleşimin moment kapasitesi ve dönme rijitliği hesaplanarak sistem tekrar analiz edilmiştir. Guseli çatı kirişinin EC3'e göre kullanma ve taşıma sınır durum kontrolleri Ek-H'de verilmiştir

Burada önemle belirtilmesi gereken husus mahyadaki iki çatı kirişi birleşim noktasının her iki durumda da "ideal rijit" olarak tanımlanması gerektiğidir.

5.2.2.2 Kolonların Boyutlandırılması

Yarı rijit alın levhalı sistemde kolonlarda oluşan maksimum yatay deplasman EC3 kullanma sınır durumuna göre kontrol edilmiştir. Taşıma sınır durumuna göre de yanal burkulma ve moment ve basınç etkisi hesabına göre kolonlar boyutlandırılmıştır. Boyutlandırma hesapları Ek-H'de verilmiştir.

Y yönündeki çerçeve kirişleri, düşey ve yatay çaprazlar, cephe kolonları mafsallı olarak bağlandıklarından kesit tesirlerinde ve deplasmanlarda yarı-rijitliğe bağlı önemli bir değişim meydana gelmediğinden tekrar boyutlandırılmamışlardır.

6.SONUÇLAR

Çelik yapılar projelendirilirken yapı elemanlarının açıklık ve mümkün olabilecek mesnetlenme durumuna göre birleşimler ideal mafsallı veya ideal rijit olarak kabul edilir. Fakat ideal rijit olarak kabul edilen birleşimlerin aslında yarı rijit davranış gösterdiğinin kabul edilip birleşim rijitliklerinin hesaplanıp sisteme aktarılması ile yapılan çözümlemelerin gerçek davranışı daha iyi bir şekilde yansıtacağı açıktır. Bu çalışmada bu şekilde yapılan çözümlemelerin değişik yapı sistemleri için ekonomik olup olmadığı sonucu irdelenmek istenmiştir. Aslında mühendisleri yarı rijit birleşim kullanmamaya iten sebep ekonomiden ziyade bu birleşim hesaplarının çok fazla parametreye bağlı olmasından doğan zorluk ve karışıklıktır. Henüz bu konuda pratik hesap metotları geliştirilmemiş olduğundan mühendisler daha basit hesap tarzına haiz ideal rijit birleşim kabulü ile sistemleri analiz etmektedirler. Ülkemizde, yarı rijit birleşimlerden ziyade, henüz çelik yapılar bile tam olarak yaygınlaşmamıştır. Ayrıca ülkemizde yarı rijit birleşimler hakkında bir yönetmeliğin olmaması bu tip bir hesabın ülkemiz çelik yapılarında kullanılmasının daha uzun yıllar alacağını göstermektedir.

Yarı rijit birleşim tasarımında en önemli sıkıntılardan biri sistem analizinin tekrar tekrar yapılma zorunluluğudur. Zira önboyutlama aşamasında kolon ve kiriş kesitleri belli olmadığından önboyutlama niteliğinde verilen kolon ve kiriş kesitleri ile oluşturulan birleşimlerin rijitliklerinin hesaplanıp sisteme aktarılıp analiz edilmesi gerekir. Şayet bu analizden elde edilen sonuçlar başlangıçtaki kiriş ve kolon kesitlerinin uygun olmadığını gösterirse yeni kolon ve kiriş kesitleri seçilip yeniden rijitliklerin hesaplanıp sisteme aktarılıp yeniden analiz yapılması gerekir. Gerçi bu konuda bilim adamları yaklaşık bir rijitlik tahmini ile sistemin analiz edilip daha sonradan tahmin edilmiş olan rijitliğin gerçek rijitlikle karşılaştırılarak kabul edilir düzeyde olup olmadığının irdelenmesinin yeterli olacağını söylemektedirler. Yine de yarı rijit birleşim hesabı daha pratik hesap metotlarının üretilmesine ihtiyaç duymaktadır.

6.1 Sayısal Hesapların Değerlendirilmesi

Bu kısımda Ekler kısmında hesap ayrıntıları verilen ve Bölüm 5'te özetlenen sayısal hesapların değerlendirilmesi yapıp sonuçları üzerinde durulacaktır.

6.1.1 Üç Katlı Büro Binasına Ait Değerlendirmeler

Bölüm 5.1’de sistem detayları tanıtilen üç katlı büro binası Bölüm 5.1.1 ve 5.1.2’de belirtildiği üzere ilkönce düğüm noktaları ideal rijit olarak kabul edilip analiz edilip EC3’e göre boyutlandırılmış daha sonra da yarı rijit alın levhalı birleşimler oluşturulup birleşim rijitliği gözönünde bulundurularak analiz edilip yine EC3’teki plastik hesap esaslarına göre boyutlandırılmıştır.

6.1.1.1 Kiriş ve Kolon Kesitlerinin Karşılaştırılması

Rijit ve yarı rijit alın levhalı düğüm noktaları ile çözülen sistemlerdeki x yönündeki kiriş kesitleri karşılaştırılması Tablo 6.1’de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere rijit sistemde kolonlara rijit olarak bağlanan kiriş kesitleri IPE 270 profilinden seçilmişti. Yarı rijit düğüm noktalı sistemde ise bu kesit IPE 200 olarak atanmış ve istenilen sınır durum şartlarını sağlamıştır. Bu da üç katlı binada kat kirişi kesitlerinin düğüm noktalarının yarı rijit tanımlanması ile “daha ekonomik” bir şekilde boyutlandırılabilceğini göstermektedir. Zira sistemimizde maksimum momentlerin açıklık ortasında değil mesnetlerde çıkması da buna elverişli bir durum yaratmaktadır. Dış merkez çaprazların bağlandığı IPE300 kirişlerinin her iki durumda kesiti değişmemiştir. Bunun sebebi bu kirişlerin enerji yutma kapasitelerini arttırmak için kolonlara mafsallı olarak bağlanmış olmasıdır.

Yarı rijit düğüm noktalarının kullanılması kolon kesitlerinde herhangi bir değişikliğe yol açmamıştır. Aynı zamanda kolonlara mafsallı olarak bağlanan y yönündeki kirişlerde ve bunlara mafsallı olarak bağlanan tali kiriş kesitlerinde de herhangi bir değişikliğe yol açmamıştır. Fakat x yönündeki kiriş kesitlerinde ciddi değişikliklere sebep olmaktadır. Çok katlı binaları gözönünde bulunduracak olursak yarı rijit birleşimlerin kullanılması hem kiriş kesitlerinin düşmesi bakımından hem de rijit düğüm noktalarında kullanılması gereken berkitme ve ilave rijitleştiricilere ihtiyaç duyulmaması bakımından maliyeti azaltacak ve olumlu ekonomik sonuçlar doğuracaktır.

6.1.1.2 Deplasmanların Karşılaştırılması

Rijit ve yarı rijit alın levhalı düğüm noktaları ile çözülen sistemlerdeki kiriş deplasmanları Tablo 6.2’de verilmiştir. Buradan anlaşılabileceği gibi yarı rijit düğüm noktalı sistemde kirişler rijit düğüm noktalı sisteme nazaran daha fazla deplasman yapmaktadır. Bunun sebebi rijit düğüm noktalı sistemde rölatif dönme yapamayan kiriş uç noktalarının yarı rijit davranışlarının sisteme aktarılması ile hareket serbestliği kazanmış olmasıdır.

Tablo 6.1 Rijit ve Yarı rijit düğüm noktalı üç katlı bina kiriş kesitleri karşılaştırması

Kiriş Adı	Düğüm Noktaları Rijit Sistem(EC3)	Düğüm Noktaları Yarı Rijit Sistem(EC3)
K1	IPE270	IPE200
K2	IPE300	IPE300
K3	IPE270	IPE200
K4	IPE270	IPE200
K5	IPE300	IPE300
K6	IPE270	IPE200
K7	IPE270	IPE200
K8	IPE300	IPE300
K9	IPE270	IPE200
K10	IPE270	IPE200
K11	IPE270	IPE200
K12	IPE270	IPE200
K13	IPE270	IPE200
K14	IPE270	IPE200
K15	IPE270	IPE200
K16	IPE270	IPE200
K17	IPE270	IPE200
K18	IPE270	IPE200
K19	IPE270	IPE200
K20	IPE270	IPE200
K21	IPE270	IPE200
K22	IPE270	IPE200
K23	IPE270	IPE200
K24	IPE270	IPE200
K25	IPE270	IPE200
K26	IPE270	IPE200
K27	IPE270	IPE200
K28	IPE270	IPE200
K29	IPE300	IPE300
K30	IPE270	IPE200
K31	IPE270	IPE200
K32	IPE300	IPE300
K33	IPE270	IPE200
K34	IPE270	IPE200
K35	IPE300	IPE300
K36	IPE270	IPE200

Tablo 6.2 Rijit ve Yarı rijit düğüm noktalı üç katlı bina kiriş deplasmanları karşılaştırması

Kiriş Adı	Düğüm Noktaları Rijit Sistem(EC3)	Düğüm Noktaları Yarı Rijit Sistem(EC3)
K1	0,004856	0,009286
K2	0,000967	0,0015
K3	0,004529	0,009287
K4	0,005738	0,0077
K5	0,005433	0,0015
K6	0,005738	0,0077
K7	0,0057	0,0078
K8	0,0054	0,001
K9	0,0057	0,0078
K10	0,00396	0,0146
K11	0,000962	0,0144
K12	0,003956	0,0146
K13	0,003227	0,0133
K14	0,0006	0,0134
K15	0,003228	0,0133
K16	0,004939	0,013
K17	0,005	0,0129
K18	0,0049	0,0129
K19	0,00494	0,0146
K20	0,004989	0,0144
K21	0,004963	0,0146
K22	0,003	0,0133
K23	0,00059	0,0134
K24	0,0028	0,0134
K25	0,003558	0,013
K26	0,000042	0,01287
K27	0,00356	0,013
K28	0,0046	0,0086
K29	0,0044	0,0015
K30	0,0046	0,0086
K31	0,0046	0,0074
K32	0,0044	0,0015
K33	0,0046	0,0074
K34	0,002784	0,0074
K35	0,00003	0,001
K36	0,002779	0,0073

Kolon uç nokta deplasmanları kıyaslanacak olursa :

Rijit düğüm noktalı sistemde: 0,00426 mm

Yarı rijit düğüm noktalı sistemde ise : 0,00442 mm'dir.

Görüldüğü gibi kolon uç deplasmanları da yarı rijit davranışın verdiği rölatif dönme özelliği yüzünden daha fazla yatay deplasman yapmaktadır.

Karşılaştırmalardan anlaşılacağı üzere, daha pratik hesap metotlarının da geliştirilmesi ile çok katlı binalarda yarı rijit düğüm noktalarının kullanılması çok büyük ekonomik avantajlar sağlayacaktır.

6.1.2 Endüstri Yapısına Ait Değerlendirmeler

Bölüm 5.2'de sistem bilgileri verilen endüstri yapısı Bölüm 5.2.1 ve 5.2.2'de belirtildiği üzere ilkönce düğüm noktaları ideal rijit olarak kabul edilip analiz edilmiş ve EC3'e göre boyutlandırılmış daha sonra da çatı kirişlerinin kolonlara birleşimi yarı rijit alın levhalı birleşim olarak tasarlanıp birleşim rijitliği gözönünde bulundurularak analiz edilip yine EC3'e göre boyutlandırılmıştır.

6.1.2.1 Deplasmanların Karşılaştırılması

Rijit düğüm noktalı sistemde HEB 320 ve IPE 550 olarak seçilen kolon ve çatı kirişi kesitleri yarı rijit düğüm noktalı sistemde ilk etapta HEB 300 ve IPE 500 olarak seçilerek yarı rijit düğüm noktalarının kullanılması ile böyle bir avantajın kazanılıp kazanılmayacağına bakılmıştır. Kolon uç deplasmanları kıyaslanacak olursa:

Rijit düğüm noktalı sistemdeki kolon uç deplasmanı: $11,00 \cdot 10^{-3}$ m

Yarı rijit düğüm noktalı sistemdeki kolon uç deplasmanı: $17,00 \cdot 10^{-3}$ m

Görüldüğü gibi yarı rijit düğüm noktalı HEB300 ve IPE 500 kolon ve çatı kirişi kesitli sistemde kolon uç noktası hem kolon ve çatı kirişi kesitinin azalması hem de yarı rijit davranışın verdiği rijit düğüm noktasına nazaran daha fazla serbestlik dolayısıyla daha fazla deplasman yapmış ve kullanma sınır durum şartları aşılmıştır.

İkinci olarak yarı rijit düğüm noktalı sistemde rijit düğüm noktalı sistemle aynı kesitler kullanılarak birleşim rijitliği hesaplanıp sisteme aktarılmıştır. Bu durumda kolon uç noktalarında oluşan deplasmanlar kıyaslanacak olursa:

Rijit düğüm noktalı sistemdeki kolon uç deplasmanı: $11,00 \cdot 10^{-3}$ m

Yarı rijit düğüm noktalı sistemdeki kolon uç deplasmanı: $13,43 \cdot 10^{-3}$ m

Deplasman kıyaslanmasından anlaşılacağı üzere aynı kesitler kullanılmış olmasına rağmen yarı rijit düğüm noktalı sistemde kolon uç noktası “daha fazla deplasman” yapmaktadır. Bunun sebebi düğüm noktasının artık yarı rijit davranış gösterip kolonun kirişe göre rölatif dönme yapabiliyor olmasıdır.

Son olarak kolon kesiti HEB 360 olarak artırılmış ve kirişe guse yapılarak oluşturulan birleşim rijitlikleri sisteme aktarılıp yeniden analiz edilmiştir. Bu durumda kolon uç noktasında oluşan deplasmanlar:

Rijit düğüm noktalı sistemdeki kolon uç deplasmanı: $11,00 \cdot 10^{-3}$ m

Yarı rijit düğüm noktalı sistemdeki kolon uç deplasmanı: $9,64 \cdot 10^{-3}$ m

Rijit düğüm noktalı sistemdeki çatı kirişi maksimum deplasmanı: 0,04782 m

Yarı rijit düğüm noktalı sistemde çatı kirişi maksimum deplasmanı: 0,04211 m

Görüldüğü gibi ancak kesitler arttırıldığı zaman yarı rijit düğüm noktalı sistemde deplasmanlar rijit sisteminkinden daha düşük seviyelerde kalmaktadır.

Yarı rijit düğüm noktalarının tek katlı endüstri yapılarında kullanılması deplasman değerlerinin artmasına yol açmaktadır.

6.1.2.2 Kiriş ve Kolon Kesitlerinin Karşılaştırılması

Yukarıda belirtildiği üzere kolon kesitleri deplasman koşulunun sağlamaması üzerine son olarak rijit sistemin kolon kesitinden daha büyük (HEB 360) olarak atanmıştır. İdeal rijit düğüm noktası kabulünde birleşim rijitliği hesaba katılmadığından dolayı sabit kesitli IPE550 profil çatı kirişlerinde kullanılmıştır. Fakat yarı rijit birleşimde birleşimin hesaplanan moment taşıma kapasitesi analiz sonucu düğüm noktasına gelen moment değerinden küçük çıkmıştır.

$$M_{Rd} = 15000,15 \text{ kgm} < M_{sd} = 28034,75 \text{ kgm}$$

Bu durumda birleşimin rijitliğinin arttırılması için IPE 550 kirişine guse yapılmış ve yeni rijitlik ve guse kesiti sisteme girilerek yeniden analiz edilmiştir.

Bu durumda ideal rijit birleşimde koşulları sağlıyor görünen IPE 550 çatı kirişi birleşim rijitliği gözönüne alındığında guse yapılması zorunlu hale gelmiştir.

Sonuç olarak deprem bölgelerindeki tek katlı endüstri yapılarında yarı rijit düğüm noktaları kullanmak ekonomik açıdan uygun olmadığı görülmüştür. Bu nedenle oluşturulan

birleşimlerde mutlaka berkitme ve ilave rijitleştiricilerin kullanılıp birleşim davranışı mümkün olduğu kadar ideal rijit duruma yaklaştırılmalı aksi halde yarı rijit düğüm noktasına göre hesap yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Özgen, A., Bayramoğlu, G.,** 2002. Çelik Yapılar 1 Ders Notları
- [2] **Faella, C., Piluso, V. and Rizzano, G.,** 1999. Structural Steel Semi Rigid Connection, New Directions in Civil Engineering, Washington.
- [3] **Commission Of The European Communities Directorate General for Science, Research and Development Technical Research Steel (XII-C4)** Frame Design Including Joint Behavior Volume I January 1997
- [4] **Eurocode 3, ENV 1993–1–1,** Design of Steel Structures.
- [5] **Chen, W. and Kishi, F.,** 1990. Semi-rigid Steel Beam to Column Connections: Data Base and Modeling, Journal of Structural Engineering, Vol.115, pp105-107, USA
- [6] **Commission Of The European Communities Directorate General for Science, Research and Development Technical Research Steel (XII-C4)** Frame Design Including Joint Behavior Volume II January 1997
- [7] **Chen, W. and Toma, S.,** 1994. Advanced Analysis of Steel Frames , New Directions in Civil Engineering, Washington.

A.ÜÇ KATLI BÜRO BİNASINA AİT YÜK ANALİZİ

A.1 Normal Katlarda

Döşemeye ait yük analizi:

Kaplama (Ahşap Parke)... 8 kg/m²

Betonarme Döşeme (10 cm)... 250 kg/m²

Galvanizli Trapez Sac (0,80 mm)... 6,1 kg/m²

$$\Sigma G = 264,1 \text{ kg/m}^2$$

Hareketli Yük (Büro) $\Sigma Q = 200 \text{ kg/m}^2$ (TS 498)

0,80 mm kalınlığındaki trapez sacın 1,20 m tali kiriş aralığına göre taşıyabileceği maksimum yayılı yük 530 kg/m²'dir.

$\Sigma G + \Sigma Q = 464,1 \text{ kg/m}^2 < 530 \text{ kg/m}^2$ Galvanizli trapez sac için bir problem yoktur.

Orta döşeme kirişlerine gelen yük:

$$P_G = 264,1 * 1,2 = 316,92 \text{ kg/m}$$

$$P_Q = 200 * 1,2 = 240 \text{ kg/m}$$

Kenar döşeme kirişlerine gelen yük:

$$P_G = 264,1 * 0,6 = 158,46 \text{ kg/m}$$

$$P_Q = 200 * 0,6 = 120 \text{ kg/m}$$

A.2 Çatı Katında

Döşemeye ait yük analizi:

İzolasyon malzemeleri... 10 kg/m²

Betonarme Döşeme... 250 kg/m²

Galvanizli Trapez Sac (0,80 mm)... 6,1 kg/m²

$$\Sigma G = 266,1 \text{ kg/m}^2$$

Hareketli Yük $\Sigma Q = 150 \text{ kg/m}^2$ (TS 498)

Kar Yüğü $P_K = 75 \text{ kg/m}^2$

$$\Sigma G + \Sigma Q + P_K = 491,1 \text{ kg/m}^2 < 530 \text{ kg/m}^2$$

Çatı katı orta döşeme kirişlerine gelen yük :

$$P_G = 266,1 * 1,2 = 319,32 \text{ kg/m}$$

$$P_Q = 225 * 1,2 = 270 \text{ kg/m}$$

Kenar döşeme kirişlerine gelen yük :

$$P_G = 266,1 * 0,6 = 159,66 \text{ kg/m}$$

$$P_Q = 225 * 0,6 = 135 \text{ kg/m}$$

A.3 Rüzgâr Yüğü

Yapı yüksekliği $H_N = 9 \text{ m} > 8 \text{ m}$ olduğu için $q = 80 \text{ kg/m}^2$ olarak alınmıştır (TS498). TS498 yük şartnamesine göre rüzgâr yüğü:

$$W = c * Q * L$$

c: Katsayı

Q: Rüzgâr yüğü (kg/m^2)

L: Yüğü alma aralığı (m)

Rüzgâr yüğü kolonlara düzgün yayılı yüğü olarak etkitilecektir. Rüzgâr, estiğı yönde çarptığı yüzeylerde basınç, diğer yüzeylerde emme oluşturur. TS498 yüğü şartnamesine göre basınç oluşan yüzeylerde $c=0,8$ emme oluşan yüzeylerde $c= 0,4$ alınır. [1]

A.3.1 W_x (X doğrultusu Rüzgâr) Yükleme

1 aksında

C1 ve C13 kolonlarında

$$W = 0,8 * 80 * 3 = 192 \text{ kg/m}$$

C5 ve C9 kolonlarında

$$W = 0,8 * 80 * 6 = 384 \text{ kg/m}$$

4 aksında

C4 ve C16 kolonlarında

$$W = 0,4 * 80 * 3 = 96 \text{ kg/m}$$

C5 ve C9 kolonlarında

$$W = 0,4 \cdot 80 \cdot 6 = 192 \text{ kg/m}$$

A.3.2 W_Y (Y doğrultusu Rüzgâr) Yükleme

D aksında

C13 ve C16 kolonlarında

$$W = 0,8 \cdot 80 \cdot 3,5 = 224 \text{ kg/m}$$

C14 ve C15 kolonlarında

$$W = 0,8 \cdot 80 \cdot 7 = 448 \text{ kg/m}$$

A aksında

C1 ve C4 kolonlarında

$$W = 0,4 \cdot 80 \cdot 3,5 = 112 \text{ kg/m}$$

C2 ve C3 kolonlarında

$$W = 0,4 \cdot 80 \cdot 7 = 224 \text{ kg/m}$$

A.4 Deprem Hesabı

$$V_t = W \cdot A / R \quad A = A_0 \cdot I \cdot S(T)$$

$$V_t = W \cdot A_0 \cdot I \cdot S(T) / R$$

$$W: \text{Binanın toplam ağırlığı} = G + nQ \quad n=0,3$$

A_0 : Etkin yer ivme katsayısı

I : Bina önem katsayısı

$S(T)$: Spektrum Katsayısı

R : Süneklik Katsayısı

$$A_0 = 0,4 \quad (1. \text{ Derece Deprem Bölgesi})$$

$$I = 1 \quad (\text{Büro Binası})$$

$$\text{Yerel zemin sınıfı Z2} \quad T_A = 0,15 \text{ sn} \quad T_B = 0,40 \text{ sn}$$

$S(T)$ spektrum katsayısının bulunması:

Yapının periyodu yaklaşık olarak $T_1 = C_T \cdot H_N^{3/4}$ formülü ile bulunaktır.

C_T : Birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan katsayı

H_N : Bina yüksekliği

X doğrultusunda $C_T = 0,05$ (Dışmerkez çaprazlar + çelik çerçeve)

$R = 8$ (Dışmerkez çaprazlar + çelik çerçeve)

$T_1 = 0,05 \cdot 9^{3/4} = 0,2598$ sn

$T_A < T_1 < T_B$ olduğundan $S(T) = 2,5$

Y doğrultusunda $C_T = 0,07$ (Dışmerkez çaprazlar)

$R = 7$ (Dışmerkez çaprazlar)

$T_1 = 0,07 \cdot 9^{3/4} = 0,3637$ sn

$T_A < T_1 < T_B$ olduğundan $S(T) = 2,5$

A.4.1 Bina Ağırlığının Bulunması

A.4.1.1 Döşeme Ağırlığı

Alan = $18 \cdot 21 = 378$ m²

1. ve 2. Katlarda $G = 264,1 \cdot 378 = 99829,8$ kg

Çatı Katında $G = 266,1 \cdot 378 = 100585,8$ kg

A.4.1.2. Dış Duvarlar

20 cm ytong + 5 cm sıva

$= 60 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,2 \text{ m} + 2200 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m}$

$= 230 \text{ kg/m}^2$

Bina çevresi: $2 \cdot (18+21) = 78$ m

Duvar Yüksekliği: $3-0,3 = 2,7$ m (30 cm kiriş yüksekliği düşünüldü.)

Σ Dış duvar ağırlığı: $230 \cdot 78 \cdot 2,7 = 48438$ kg

A.4.1.3 Kirişler

Bina ağırlığının bulunabilmesi için ön boyutlama niteliğinde kesitler verilmiştir.

K1-K3-K4-K5-K6-K7-K8-K9-K10-K12.....IPE270

K2-K11 IPE300

K13-K15-K16-K18 IPE400

K14-K17 IPE500

Bu durumda ağırlıklar

10 Adet IPE270 Kirişi $10 \cdot 36,1 \cdot 7 = 2527$ kg

2 Adet IPE300 Kirişı $2*42,2*7 = 590,8$ kg

10 Adet IPE400 Kirişı $10*66,3*6 = 3978$ kg

2 Adet IPE500 Kirişı $2*90,7*6 = 1088,4$ kg

Σ Kiriş ağırlığı : 8184,20 kg

Tali Kirişler

36 Adet IPE240 Kirişı..... $36*30,7*7 = 7736,4$ kg

A.4.1.4 Kolonlar

Kolonlara ön boyutlama niteliğinde kesitler verilmiştir.

C1-C2-C3-C4 Kolonları HEB160

C5-C6-C7-C8-C9-C10 Kolonları HEB260

C13-C14-C15-C16 Kolonları HEB220

4 Adet HEB160 Kolonu $4*42,6*3 = 511,2$ kg

8 Adet HEB260 Kolonu $8*93*3 = 2232$ kg

4 Adet HEB220 Kolonu $4*71,5*3 = 858$ kg

Σ Kolon ağırlığı : 3601,2 kg

1. ve 2. Kat Ağırlığı

$$G_1 = G_2 = 99829,8 + 48438 + 8184,20 + 7736,4 + 3601,2 = 167789,6 \text{ kg}$$

$$Q_1 = Q_2 = 18*21*200 = 75600 \text{ kg}$$

$$W_1 = W_2 = (167789,6 + 0,3*75600) = 190469,6 \text{ kg}$$

Çatı Katı Ağırlığı

$$G_{\text{Ç}} = 100585,8 + 48438 + 8184,20 + 7736,4 + 3601,2 = 168545,6 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{Ç}} = 18*21*225 = 85050 \text{ kg}$$

$$W_{\text{Ç}} = (168545,6 + 0,3*85050) = 194060,6 \text{ kg}$$

$$\Sigma W = W_1 + W_2 + W_{\text{Ç}} = 574999,8 \text{ kg}$$

$$V_t = W * A_0 * I * S(T) / R$$

A.4.2 X Doğrultusundaki Deprem Kuvveti

$$V_{tx} = 574999,8 * 0,4 * 1 * 2,5/8 = 71874,97 \text{ kg}$$

A.4.2.1 X Doğrultusunda Her Bir Kata Gelen Deprem Kuvveti

$$F_{ix} = (V_{tx} - \Delta F_n) * w_i * H_i / \sum(w_j * H_j)$$

ΔF_n = Binanın n. katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü

$H_N < 25$ m olması sebebi ile $\Delta F_n = 0$ alınır.

$$F_{1x} = 71874,97 * 190469,6 * 3 / (190469,6 * 3 + 190469,6 * 6 + 194060,6 * 9)$$

$$F_{1x} = 11867,29 \text{ kg}$$

$$F_{2x} = 71874,97 * 190469,6 * 6 / (190469,6 * 3 + 190469,6 * 6 + 194060,6 * 9)$$

$$F_{2x} = 23734,58 \text{ kg}$$

$$F_{3x} = 71874,97 * 194060,6 * 9 / (190469,6 * 3 + 190469,6 * 6 + 194060,6 * 9)$$

$$F_{3x} = 36273,09 \text{ kg}$$

A.4.3 Y Doğrultusundaki Deprem Kuvveti

$$V_{ty} = 574999,8 * 0,4 * 1 * 2,5/7 = 82142,82 \text{ kg}$$

A.4.3.1 Y Doğrultusunda Her Bir Kata Gelen Deprem Kuvveti

$$F_{1y} = 82142,82 * 190469,6 * 3 / (190469,6 * 3 + 190469,6 * 6 + 194060,6 * 9)$$

$$F_{1y} = 13562,62 \text{ kg}$$

$$F_{2y} = 82142,82 * 190469,6 * 6 / (190469,6 * 3 + 190469,6 * 6 + 194060,6 * 9)$$

$$F_{2y} = 27125,24 \text{ kg}$$

$$F_{3y} = 82142,82 * 194060,6 * 9 / (190469,6 * 3 + 190469,6 * 6 + 194060,6 * 9)$$

$$F_{3y} = 41454,96 \text{ kg}$$

B.ÜÇ KATLI BÜRO BİNASINA AİT YÜKLEME KOMBİNASYONLARI

Sistem Eurocode.3'e göre dizayn edileceğinden yükleme kombinasyonları da bu standarda uygun olarak alınmıştır. Eurocode.3'e göre kullanma sınır durumu ve taşıma sınır durumları için ayrı kombinasyonlar tanımlanmaktadır.(Eurocode 3 - 2.3.3.1)

B.1 Taşıma Sınır Durumu Kombinasyonları

1. COMB1: $1,35G + 1,5Q$
2. COMB2: $1,35G + 1,5W_{X1}$
3. COMB3: $1,35G + 1,5W_{X2}$
4. COMB4: $1,35G + 1,35Q + 1,35W_{X1}$
5. COMB5: $1,35G + 1,35Q + 1,35W_{X2}$
6. COMB6: $1,35G + 1,35Q + 1,35W_{Y1}$
7. COMB7: $1,35G + 1,35Q + 1,35W_{Y2}$
8. COMB8: $1,35G + 1,5W_{Y2}$
9. COMB9: $1,35G + 1,5W_{Y1}$
10. COMB10: $1G + 1E_X$
11. COMB11: $1G - 1E_X$
12. COMB12: $1G + 1E_Y$
13. COMB13: $1G - 1E_Y$
14. COMB14: $1G + 0,45Q + 1E_X$
15. COMB15: $1G + 0,45Q - 1E_X$
16. COMB16: $1G + 0,45Q + 1E_Y$
17. COMB17: $1G + 0,45Q - 1E_Y$

B.2 Kullanma Sınır Durumu Kombinasyonları

18. COMB18: $1 G + 1 Q$
19. COMB19: $1 G + 1 W_{X1}$
20. COMB20: $1 G + 1 W_{X2}$
21. COMB21: $1 G + 1 W_{Y1}$
22. COMB22: $1 G + 1 W_{Y2}$
23. COMB23: $1 G + 0,9 Q + 0,9 W_{X1}$
24. COMB24: $1 G + 0,9 Q + 0,9 W_{X2}$
25. COMB25: $1 G + 0,9 Q + 0,9 W_{Y1}$
26. COMB26: $1 G + 0,9 Q + 0,9 W_{Y2}$
27. COMB27: $1 G + 1 Q + 1 E_X$
28. COMB28: $1 G + 1 Q - 1 E_X$
29. COMB29: $1 G + 1 Q + 1 E_Y$
30. COMB30: $1 G + 1 Q - 1 E_Y$

G: Ölü Yükler Q: Hareketli Yükler

W_{X1} : +X Yönündeki Rüzgar Yükü W_{X2} : -X Yönündeki Rüzgar Yükü

W_{Y1} : +Y Yönündeki Rüzgar Yükü W_{Y2} : -Y Yönündeki Rüzgar Yükü

E_X : +X Yönündeki Deprem Yükü $-E_X$: -X Yönündeki Deprem Yükü

E_Y : +Y Yönündeki Deprem Yükü $-E_Y$: -Y Yönündeki Deprem Yükü

C.DÜĞÜM NOKTALARI RİJİT ÜÇ KATLI BÜRO BİNASININ EUROCODE.3'E GÖRE HESABI

C.1 Tali Kirişlerinin Boyutlandırılması

C.1.1 Kullanma Sınır Durumuna Göre:

Kiriş kesiti IPE240 olarak seçildiğinde:

Kirişte oluşabilecek maksimum düşey deplasman : $\delta_{\max} = 7/250 = 0,028$ m'dir.

Kirişte oluşan maksimum düşey deplasman : $\delta = 0,0358$ m'dir.

(Frame 118 Joint 307 COMB30)

$$\delta = 0,0358 > 0,028 \text{ m} \quad \delta > \delta_{\max}$$

IPE240 Tali kirişleri; öngörülen kullanma sınır durumu şartını sağlamıyor. Bu yüzden tali kiriş kesiti arttırılacaktır.

Kiriş kesiti IPE300 olarak seçildiğinde:

Kirişte oluşan maksimum düşey deplasman $\delta = 0,0273$ m'dir.

(Frame 118 Joint 307 COMB18)

$$\delta = 0,0274 < 0,028 \text{ m} \quad \delta < \delta_{\max} \text{ kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.}$$

C.1.2 Taşıma Sınır Durumuna Göre

C.1.2.1 Enkesit Eğilme Dayanımı

IPE300 Kesit özellikleri

$$H = 300 \text{ mm} \quad b = 150 \text{ mm} \quad t_f = 10,7 \text{ mm} \quad t_w = 7,1 \text{ mm} \quad W_{pl} = 628,4 \text{ cm}^3 \quad d = 248,6 \text{ mm}$$

$$A_v = 25,68 \text{ cm}^2 \quad F = 53,81 \text{ cm}^2$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{Malzeme ST44})$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 75 / 10,7 = 7,00 < 10\varepsilon = 9,2 \text{ I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 248,6 / 7,1 = 35,01 < 72 \varepsilon = 66,24 \text{ I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir. $\gamma_{m0} = 1,1$

IPE300 kirişi enkesit eğilme dayanımına göre tahkik edilecektir.

Maksimum Kesit Tesirleri

$$M_{sd} = 5457,5 \text{ kgm} \quad V_{sd} = 3118,31 \text{ kg (Frame 118 COMB1)}$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = 628,4 * 10^{-6} * 2,75 * 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl,rd} = 15709,95 \text{ kgm}$$

$$V_{pl,rd} = A_v * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{m0}$$

$$V_{pl,rd} = 25,68 * 10^{-4} * (2,75 * 10^7 / \sqrt{3}) / 1,1 = 37765,15 \text{ kg}$$

$$V_{sd} / V_{pl,rd} = 3118,31 / 37765,15 = 0,083 < 0,50$$

Kirişin aldığı kesme kuvveti, kesme kuvveti taşıma dayanımının %50'sini aşmadığından kesit plastik mukavemet momentinde bir azaltma yapmaya gerek yoktur.

$$M_{sd} / M_{pl,rd} = 5457,50 / 15709,95 = 0,35$$

C.1.2.2 Yanal Burkulma Hesabı

Tali kirişlerin, her ne kadar üzerlerinde trapez sac ve betonarme döşeme olmasına karşın, yanal burkulma tahkiki yapılmasında fayda görülmüştür.

Yanal Burkulma Tasarım Moment Değeri:

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \text{ I.sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/k_w)^2 I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1 \quad k_w = 1 \quad \phi = 1 \quad C_1 = 1 \quad I_z = 603,8 \text{ cm}^4 \quad I_w = 1,259 * 10^5 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 20,12 \text{ cm}^4 \quad L = 7 \text{ m} \quad E = 2,1 * 10^{10} \text{ kg/m}^2 \quad W_{pl} = 628,2 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = 7406,5 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 1,53 \quad x_{LT} = 0,36 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{bd} = 0,36 M_{pl} > 0,39 M_{sd}$$

C.1.2.3 Kesme Burkulması Hesabı

Berkitmesiz gövde için :

$$d / t_w = 248,6 / 7,1 = 35 < 69\varepsilon = 63,48$$

Kesme burkulması hesabına gerek yoktur.

C.1.2.4 Azaltılmış Flanş Burkulması Hesabı

$$d / t_w < k*(E / f_{yf}) * [A_w / A_{fc}]^{0,5}$$

$$k = 0,3 \text{ I.sınıf enkesit } A_w = 17,65 \text{ cm}^2 \text{ } A_{fc} = 18,08 \text{ cm}^2$$

$$0,3 * (2,1*10^{10} / 2,75*10^7) * (17,65*10^{-4} / 18,08*10^{-4})^{0,5} = 226,35 > 63,48$$

Basınç başlığı flanşı gövde düzlemi içersinde kalmaktadır.

C.2 X Doğrultusundaki Ana Kirişlerin Boyutlandırılması

X doğrultusunda kolonlara **rijit olarak bağlanan** kirişlerin enkesit eğilme dayanımı Tablo C.1 ve Tablo C.2’de, kullanma sınır durumu kontrolü Tablo C.3’de verilmiştir.

Örnek teşkil etmesi amacı ile K11 kirişinin boyutlandırma hesap detayları verilecektir.

(Frame 128–132 IPE270)

C.2.1 Kullanma Sınır Durumuna Göre:

Kirişte oluşan maksimum düşey deplasman $\delta = 0,00545 \text{ m}$ (Joint 309 COMB30)

$0,00545 \text{ m} < 0,028 \text{ m}$ Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

C.2.2. Taşıma Sınır Durumuna Göre:

C.2.2.1 Enkesit Eğilme Dayanımı

IPE270 Kesit özellikleri

$$H = 270 \text{ mm } b = 135 \text{ mm } t_f = 10,2 \text{ mm } t_w = 6,6 \text{ mm } W_{pl} = 484 \text{ cm}^3 \quad d = 219,6 \text{ mm}$$

$$A_v = 22,14 \text{ cm}^2 \quad F = 45,95 \text{ cm}^2$$

Eurocode.3’e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75*10^7 \text{ kg/m}^2 \text{ (Malzeme ST44)}$$

$$\varepsilon = (2,35*10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

Başlık : $(b/2) / t_f = 67,5 / 10,2 = 6,62 < 10\varepsilon = 9,2$ I.sınıf

Tablo C.1 X yönü Kirişleri Kesme Kuvveti Kontrolü

KİRİŞ ADI	YÜKLEME	FRAME	KESİT TÜRÜ	V_{sd} (kg)	$V_{pl,rd}$ (kg)	$V_{sd}/V_{pl,rd}$
K1	COMB1	158	IPE270	1718,46	27889,1	0,062
K2	COMB14	468	IPE300	7369,16	32958,7	0,224
K3	COMB1	162	IPE270	1718,51	27889,1	0,062
K4	COMB1	596	IPE270	1590,29	27889,1	0,057
K5	COMB14	470	IPE300	12360,8	32958,7	0,375
K6	COMB1	597	IPE270	1589,62	27889,1	0,057
K7	COMB1	688	IPE270	1505,03	1607,45	0,936
K8	COMB14	472	IPE300	13650,5	32958,7	0,414
K9	COMB1	689	IPE270	1605,88	27889,1	0,058
K10	COMB1	117	IPE270	3148,76	27889,1	0,113
K11	COMB1	128	IPE270	3089,22	27889,1	0,111
K12	COMB1	133	IPE270	3148,79	27889,1	0,113
K13	COMB1	590	IPE270	2910,79	27889,1	0,104
K14	COMB1	592	IPE270	2920,47	27889,1	0,105
K15	COMB1	593	IPE270	2910,53	27889,1	0,104
K16	COMB1	682	IPE270	2951,91	27889,1	0,106
K17	COMB1	684	IPE270	2920,64	27889,1	0,105
K18	COMB1	685	IPE270	2951,23	27889,1	0,106
K19	COMB1	143	IPE270	3148,84	27889,1	0,113
K20	COMB1	148	IPE270	3089,24	27889,1	0,111
K21	COMB1	152	IPE270	3029,28	27889,1	0,109
K22	COMB1	584	IPE270	2910,6	27889,1	0,104
K23	COMB1	586	IPE270	2920,25	27889,1	0,105
K24	COMB1	587	IPE270	2911,2	27889,1	0,104
K25	COMB1	676	IPE270	2951,36	27889,1	0,106
K26	COMB1	678	IPE270	2920,09	27889,1	0,105
K27	COMB1	679	IPE270	2952,33	27889,1	0,106
K28	COMB1	53	IPE270	1606,1	27889,1	0,058
K29	COMB14	450	IPE300	7364,69	32958,7	0,223
K30	COMB1	54	IPE270	1605,7	27889,1	0,058
K31	COMB1	580	IPE270	1519,88	27889,1	0,054
K32	COMB15	452	IPE300	12354,5	32958,7	0,375
K33	COMB1	581	IPE270	1520,44	27889,1	0,055
K34	COMB1	672	IPE270	1528,46	27889,1	0,055
K35	COMB15	454	IPE300	13587,2	32958,7	0,412
K36	COMB1	673	IPE270	1529,92	27889,1	0,055

Gövde: $d/t_w = 219,6 / 6,6 = 33,27 < 72 \varepsilon = 66,24$ I.sınıf

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir. $\gamma_{m0} = 1,1$

IPE270 kirişi enkesit eğilme dayanımına göre tahkik edilecektir.

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = 484 * 10^{-6} * 2,75 * 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl,rd} = 12100 \text{ kgm}$$

$$V_{pl,rd} = A_v * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{m0}$$

$$V_{pl,rd} = 22,14 * 10^{-4} * (2,75 * 10^7 / \sqrt{3}) / 1,1 = 37765,15 \text{ kg}$$

Kesit Tesirleri:

$$M_{sd} = 3612,03 \text{ kgm} \quad V_{sd} = 3089,22 \text{ kg} \quad (\text{COMB1})$$

$V_{sd} / V_{pl, rd} = 3089,22 / 37765,15 = 0,081 < 0,5$ olduğundan W_{pl} plastik mukavemet momentinde azaltma yapmaya gerek yoktur.

$$M_{sd} / M_{pl, rd} = 3612,03 / 12100 = 0,298 < 1$$

C.1.2.2 Yanal Burkulma Hesabı

Yanal Burkulma Tasarım Moment Değeri:

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl, y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \text{ I.sınıf enkesit} \quad \gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [(k/k_w)^2 I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t] / I_z^{0,5}$$

$$k = 1 \quad k_w = 1 \quad \phi = 1 \quad C_1 = 1 \quad I_z = 419,9 \text{ cm}^4 \quad I_w = 70,58 * 10^3 \text{ cm}^6 \quad I_t = 15,94 \text{ cm}^4$$
$$L = 7 \text{ m} \quad E = 2,1 * 10^{10} \text{ kg/m}^2$$

$$M_{cr} = 5292,79 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 1,59 \quad x_{LT} = 0,333 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{bd} = 0,333 M_{pl} > 0,298 M_{sd}$$

C.1.2.3 Kesme Burkulması Hesabı

Berkitmesiz gövde için:

$$d / t_w = 219,6 / 6,6 = 33,27 < 69 \varepsilon = 63,48$$

Kesme burkulması hesabına gerek yoktur.

C.1.2.4 Azaltılmış Flanş Burkulması Hesabı

$$d / t_w < k * (E / f_{yf}) * [A_w / A_{fc}]^{0,5}$$

$$k = 0,3 \text{ I.sınıf enkesit } A_w = 14,49 \text{ cm}^2 \text{ } A_{fc} = 15,73 \text{ cm}^2$$

$$0,3 * (2,1 * 10^{10} / 2,75 * 10^7) * (14,49 * 10^{-4} / 15,73 * 10^{-4})^{0,5} = 219,93 > 63,48$$

Basınç başlığı flanş gövde düzlemi içersinde kalmaktadır

Tablo C.2 X yönü Kirişleri Eğilme Dayanımı Kontrolü

KİRİŞ ADI	YÜKLEME	FRAME	KESİT TÜRÜ	M_{sd} (kgm)	M_{PL,Rd} (kgm)	M_{sd}/ M_{PL,Rd}
K1	COMB1	158	IPE270	1827,16	10560	0,173
K2	COMB14	468	IPE300	2483,24	13710,5	0,181
K3	COMB1	162	IPE270	1827,4	10560	0,173
K4	COMB1	596	IPE270	1843,74	10560	0,175
K5	COMB14	470	IPE300	4028,94	13710,5	0,294
K6	COMB1	597	IPE270	1841,29	10560	0,174
K7	COMB1	688	IPE270	1811,12	10560	0,172
K8	COMB14	472	IPE300	4470,89	13710,5	0,326
K9	COMB1	689	IPE270	1805,24	10560	0,171
K10	COMB1	117	IPE270	3671,9	10560	0,348
K11	COMB1	128	IPE270	3612,03	10560	0,342
K12	COMB1	133	IPE270	3671,99	10560	0,348
K13	COMB1	590	IPE270	3340,66	10560	0,316
K14	COMB1	592	IPE270	3402,28	10560	0,322
K15	COMB1	593	IPE270	3339,76	10560	0,316
K16	COMB1	682	IPE270	3448,32	10560	0,327
K17	COMB1	684	IPE270	3410,94	10560	0,323
K18	COMB1	685	IPE270	3445,95	10560	0,326
K19	COMB1	143	IPE270	3672,17	10560	0,348
K20	COMB1	148	IPE270	3612,15	10560	0,342
K21	COMB1	152	IPE270	3253,74	10560	0,308
K22	COMB1	584	IPE270	3340	10560	0,316
K23	COMB1	586	IPE270	3401,53	10560	0,322
K24	COMB1	587	IPE270	3342,06	10560	0,316
K25	COMB1	676	IPE270	3446,44	10560	0,326
K26	COMB1	678	IPE270	3409,08	10560	0,323
K27	COMB1	679	IPE270	3449,81	10560	0,327
K28	COMB1	53	IPE270	1582,79	10560	0,150
K29	COMB14	450	IPE300	2481,53	13710,5	0,181
K30	COMB1	54	IPE270	1581,39	10560	0,150
K31	COMB1	580	IPE270	1663,06	10560	0,157
K32	COMB15	452	IPE300	4026,44	13710,5	0,294
K33	COMB1	581	IPE270	1664,31	10560	0,158
K34	COMB1	672	IPE270	1628,47	10560	0,154
K35	COMB15	454	IPE300	4451,02	13710,5	0,325
K36	COMB1	673	IPE270	1653,56	10560	0,157

Tablo C.3 X yönü Kirişleri Kullanma Sınır Durumuna Göre Kontrolü

KİRİŞ ADI	YÜKLEME	JOINT NO	$\delta_{\max}$	δ	$\delta / \delta_{\max}$
K1	COMB29	316	0,028	0,004856	0,173
K2	COMB30	241	0,028	0,000967	0,035
K3	COMB30	317	0,028	0,004529	0,162
K4	COMB29	306	0,028	0,005738	0,205
K5	COMB18	309	0,028	0,005433	0,194
K6	COMB29	310	0,028	0,005738	0,205
K7	COMB30	313	0,028	0,0057	0,204
K8	COMB18	314	0,028	0,0054	0,193
K9	COMB30	315	0,028	0,0057	0,204
K10	COMB28	311	0,028	0,00396	0,141
K11	COMB30	235	0,028	0,000962	0,034
K12	COMB28	312	0,028	0,003956	0,141
K13	COMB30	359	0,028	0,003227	0,115
K14	COMB30	242	0,028	0,0006	0,021
K15	COMB30	360	0,028	0,003228	0,115
K16	COMB29	356	0,028	0,004939	0,176
K17	COMB30	357	0,028	0,005	0,179
K18	COMB29	358	0,028	0,0049	0,175
K19	COMB30	353	0,028	0,00494	0,176
K20	COMB30	354	0,028	0,004989	0,178
K21	COMB30	355	0,028	0,004963	0,177
K22	COMB28	351	0,028	0,003	0,107
K23	COMB30	236	0,028	0,00059	0,021
K24	COMB30	352	0,028	0,0028	0,100
K25	COMB28	405	0,028	0,003558	0,127
K26	COMB30	243	0,028	0,000042	0,002
K27	COMB27	406	0,028	0,00356	0,127
K28	COMB30	399	0,028	0,0046	0,164
K29	COMB29	400	0,028	0,0044	0,157
K30	COMB30	401	0,028	0,0046	0,164
K31	COMB30	399	0,028	0,0046	0,164
K32	COMB18	400	0,028	0,0044	0,157
K33	COMB30	401	0,028	0,0046	0,164
K34	COMB30	397	0,028	0,002784	0,099
K35	COMB30	237	0,028	0,00003	0,001
K36	COMB30	398	0,028	0,002779	0,099

C.3 Y Doğrultusundaki Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması

Y doğrultusunda kolonlara **mafsallı olarak bağlanan** kirişlerin kullanma sınır durumuna göre kontrolü Tablo C.4'te, enkesit eğilme dayanımı Tablo C.5 ve Tablo C.6'da verilmiştir.

Örnek teşkil etmesi amacı ile K47 ve K65 kirişinin boyutlandırma hesap detayları verilecektir.

K47 kirişi EC3'e göre boyutlandırılacaktır. (Frame 512-130 IPE 400)

C.3.1 K47 Kirişinin Kullanma Sınır Durumuna Göre Kontrolü:

Kirişte oluşan maksimum düşey deplasman $\delta = 0,015353 \text{ m}$ (Joint 91 COMB29)

$0,015353 \text{ m} < 0,024 \text{ m}$ Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

C.3.2 K47 Kirişinin Taşıma Sınır Durumuna Göre Kontrolü:

C.3.2.1 Enkesit Eğilme Dayanımı

IPE400 Kesit özellikleri

$H = 400 \text{ mm}$ $b = 180 \text{ mm}$ $t_f = 13,5 \text{ mm}$ $t_w = 8,6 \text{ mm}$ $W_{pl} = 1300,7 \text{ cm}^3$ $d = 331 \text{ mm}$

$A_v = 42,69 \text{ cm}^2$ $F = 84,46 \text{ cm}^2$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$f_y = 2,75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2$ (Malzeme ST44)

$$\varepsilon = (235 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

Başlık : $(b/2) / t_f = 90/13,5 = 6,67 < 10\varepsilon = 9,2$ I.sınıf

Gövde: $d/t_w = 331 / 8,6 = 38,48 < 72 \varepsilon = 66,24$ I.sınıf

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir. $\gamma_{m0} = 1,1$

Kesit Tesirleri:

$M_{sd} = 22833,88 \text{ kgm}$ (Frame 130) $V_{sd} = 12729,20 \text{ kg}$ (Frame 512) (COMB1)

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = 1300,7 \cdot 10^{-6} * 2,75 \cdot 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl,rd} = 32517,49 \text{ kgm}$$

$$V_{pl,rd} = A_v * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{m0}$$

Tablo C.4 Y yönü Kirişleri Kullanma Sınır Durumuna Göre Kontrolü

KİRİŞ ADI	YÜKLEME	JOINT NO	$\delta_{\max}$	δ	$\delta / \delta_{\max}$
K37	COMB30	75	0,024	0,007879	0,328
K38	COMB30	79	0,024	0,000948	0,040
K39	COMB29	83	0,024	0,007983	0,333
K40	COMB30	123	0,024	0,007442	0,310
K41	COMB30	127	0,024	0,000842	0,035
K42	COMB29	131	0,024	0,007506	0,313
K43	COMB30	171	0,024	0,007147	0,298
K44	COMB30	175	0,024	0,000537	0,022
K45	COMB29	178	0,024	0,007221	0,301
K46	COMB30	95	0,024	0,015109	0,630
K47	COMB29	91	0,024	0,015353	0,640
K48	COMB29	87	0,024	0,015221	0,634
K49	COMB30	143	0,024	0,014173	0,591
K50	COMB30	138	0,024	0,014371	0,599
K51	COMB28	135	0,024	0,014315	0,596
K52	COMB30	191	0,024	0,013683	0,570
K53	COMB30	187	0,024	0,013799	0,575
K54	COMB28	183	0,024	0,013805	0,575
K55	COMB27	107	0,024	0,015261	0,636
K56	COMB29	103	0,024	0,015353	0,640
K57	COMB27	99	0,024	0,015222	0,634
K58	COMB27	155	0,024	0,014331	0,597
K59	COMB30	151	0,024	0,014371	0,599
K60	COMB27	147	0,024	0,0143	0,596
K61	COMB27	203	0,024	0,0138	0,575
K62	COMB30	199	0,024	0,0138	0,575
K63	COMB30	195	0,024	0,013626	0,568
K64	COMB30	111	0,024	0,00788	0,328
K65	COMB29	115	0,024	0,000949	0,040
K66	COMB29	119	0,024	0,007983	0,333
K67	COMB30	159	0,024	0,007443	0,310
K68	COMB30	163	0,024	0,000849	0,035
K69	COMB29	166	0,024	0,007566	0,315
K70	COMB30	207	0,024	0,007061	0,294
K71	COMB30	211	0,024	0,000542	0,023
K72	COMB29	215	0,024	0,007169	0,299

$$V_{pl,rd} = 42,69 \cdot 10^{-4} \cdot (2,75 \cdot 10^7 / \sqrt{3}) / 1,1 = 61617,70 \text{ kg}$$

$V_{sd} / V_{pl,rd} = 12729,20 / 61617,7 = 0,206 < 0,5$ olduğundan W_{pl} plastik mukavemet momentinde azaltma yapmaya gerek yoktur.

$$M_{sd} / M_{pl,rd} = 22833,88 / 32517,49 = 0,70 < 1$$

C.3.2.2 Yanal Burkulma Hesabı

Yanal Burkulma Tasarım Moment Değeri:

$$M_{brd} = x_{lt} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \quad \text{I. sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} \cdot f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 \cdot (\pi^2 \cdot E \cdot I_z) / (kL)^2) \cdot [((k/k_w)^2 I_w + 0,039 \cdot (kL)^2 \cdot I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1 \quad k_w = 1 \quad \phi = 1 \quad C_1 = 1 \quad I_z = 1318,00 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \quad I_w = 49 \cdot 10^{-8} \text{ m}^6$$

$$I_t = 51,08 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \quad L = 6 \text{ m} \quad E = 2,1 \cdot 10^{10} \text{ kg/m}^2 \quad W_{pl} = 1300,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{cr} = 75880,80 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,47 \quad x_{LT} = 0,93 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{bd} = 0,93 M_{pl,rd} > M_{sd} = 0,70 M_{pl,rd}$$

C.3.2.3 Kesme Burkulması Hesabı

Berkitmesiz gövde için:

$$d / t_w = 331 / 8,6 = 38,48 < 69 \epsilon = 63,48$$

Kesme burkulması hesabına gerek yoktur.

C.3.2.4 Azaltılmış Flanş Burkulması Hesabı

$$d / t_w < k \cdot (E / f_{yf}) \cdot [A_w / A_{fc}]^{0,5}$$

$$k = 0,3 \text{ I. sınıf enkesit} \quad A_w = 28,46 \text{ cm}^2 \quad A_{fc} = 28,00 \text{ cm}^2$$

$$0,3 \cdot (2,1 \cdot 10^{10} / 2,75 \cdot 10^7) \cdot (28,46 \cdot 10^{-4} / 28 \cdot 10^{-4})^{0,5} = 230,92 > 38,48$$

Basınç başlığı flanşı gövde düzlemi içersinde kalmaktadır.

K65 kirişi EC3'e göre boyutlandırılacaktır. (Frame 420 IPE 500)

C.3.3 K65 Kirişinin Kullanma Sınır Durumuna Göre Kontrolü:

Kirişte oluşan maksimum düşey deplasman $\delta = 0,000949 \text{ m}$ (Joint 115 COMB29)

$0,000949 \text{ m} < 0,024 \text{ m}$ Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

C.3.3 K65 Kirişinin Taşıma Sınır Durumuna Göre Kontrolü:

C.3.3.1 Enkesit Eğilme Dayanımı

IPE500 Kesit özellikleri

$$H = 500 \text{ mm } b = 200 \text{ mm } t_f = 16 \text{ mm } t_w = 10,2 \text{ mm } W_{pl} = 2194 \text{ cm}^3 \text{ } d = 426 \text{ mm}$$

$$A_v = 59,87 \text{ cm}^2 \text{ } F = 115,5 \text{ cm}^2$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2 \text{ (Malzeme ST44)}$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 100/16 = 6,25 < 10\varepsilon = 9,2 \text{ I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 426 / 10,2 = 41,76 < 72 \varepsilon = 66,24 \text{ I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir. $\gamma_{m0} = 1,1$

Kesit Tesirleri:

$$M_{sd} = 4029,79 \text{ kgm (Frame 420) } V_{sd} = 10462,44 \text{ kg (Frame 420) (COMB16)}$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = 2194 \cdot 10^{-6} * 2,4 \cdot 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl,rd} = 54850 \text{ kgm}$$

$$V_{pl,rd} = A_v * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{m0}$$

$$V_{pl,rd} = 59,87 * 10^{-4} * (2,75 \cdot 10^7 / \sqrt{3}) / 1,1 = 86414,89 \text{ kg}$$

$V_{sd} / V_{pl,rd} = 10462,44 / 86414,89 = 0,12 < 0,5$ olduğundan W_{pl} plastik mukavemet momentinde azaltma yapmaya gerek yoktur.

$$M_{sd} / M_{pl,rd} = 4029,79 / 54850 = 0,073 < 1$$

C.3.3.2 Yanal Burkulma Hesabı

Yanal Burkulma Tasarım Moment Değeri:

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \text{ I.sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/k_w)^2 I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1 \quad k_w = 1 \quad \phi = 1 \quad C_1 = 1 \quad I_z = 2142,00 \text{ cm}^4 \quad I_w = 124,9 * 10^4 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 89,29 * 10^{-8} \text{ m}^4 \quad L = 6 \text{ m} \quad E = 2,1 * 10^{10} \text{ kg/m}^2 \quad W_{pl} = 2194 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = 41929,04 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 1,44 \quad x_{LT} = 0,59 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{bd} = 0,39 M_{pl, rd} > M_{sd} = 0,073 M_{pl, rd}$$

C.3.3.3 Kesme Burkulması Hesabı

Berkitmesiz gövde için:

$$d / t_w = 426 / 10,2 = 41,76 < 69 \varepsilon = 63,48$$

Kesme burkulması hesabına gerek yoktur.

C.3.3.4 Azaltılmış Flanş Burkulması Hesabı

$$d / t_w < k * (E / f_{yf}) * [A_w / A_{fc}]^{0,5}$$

$$k = 0,3 \text{ I.sınıf enkesit } A_w = 43,45 \text{ cm}^2 \quad A_{fc} = 36,02 \text{ cm}^2$$

$$0,3 * (2,1 * 10^{10} / 2,75 * 10^7) * (43,45 * 10^{-4} / 36,02 * 10^{-4})^{0,5} = 249,70 > 41,76$$

Basınç başlığı flanşı gövde düzlemi içersinde kalmaktadır

Tablo C.5 Y yönü Kirişleri Kesme Kuvveti Kontrolü

KİRİŞ ADI	YÜKLEME	KESİT TÜRÜ	V_{sd} (kg)	$V_{pl,rd}$ (kg)	$V_{sd} / V_{pl,rd}$
K37	COMB1	IPE400	6492,59	53775,45	0,121
K38	COMB16	IPE500	10419,84	75416,64	0,138
K39	COMB1	IPE400	3880,20	53775,45	0,072
K40	COMB1	IPE400	3677,58	53775,45	0,068
K41	COMB17	IPE500	17239,15	75416,64	0,229
K42	COMB1	IPE400	3677,57	53775,45	0,068
K43	COMB1	IPE400	3677,58	53775,45	0,068
K44	COMB17	IPE500	7539,29	75416,64	0,100
K45	COMB1	IPE400	6154,92	53775,45	0,114
K46	COMB1	IPE400	7622,17	53775,45	0,142
K47	COMB1	IPE400	12729,20	53775,45	0,237
K48	COMB1	IPE400	12729,18	53775,45	0,237
K49	COMB1	IPE400	12053,85	53775,45	0,224
K50	COMB1	IPE400	12053,84	53775,45	0,224
K51	COMB1	IPE400	12053,83	53775,45	0,224
K52	COMB1	IPE400	12053,84	53775,45	0,224
K53	COMB1	IPE400	12053,84	53775,45	0,224
K54	COMB1	IPE400	12053,83	53775,45	0,224
K55	COMB1	IPE400	12729,21	53775,45	0,237
K56	COMB1	IPE400	12729,20	53775,45	0,237
K57	COMB1	IPE400	12729,18	53775,45	0,237
K58	COMB1	IPE400	12053,85	53775,45	0,224
K59	COMB1	IPE400	12053,84	53775,45	0,224
K60	COMB1	IPE400	12053,83	53775,45	0,224
K61	COMB1	IPE400	12053,80	53775,45	0,224
K62	COMB15	IPE500	12053,84	75416,64	0,160
K63	COMB1	IPE400	12053,83	53775,45	0,224
K64	COMB1	IPE400	6492,57	53775,45	0,121
K65	COMB16	IPE500	10462,44	75416,64	0,139
K66	COMB1	IPE400	6492,60	53775,45	0,121
K67	COMB1	IPE400	6154,89	53775,45	0,114
K68	COMB17	IPE500	17377,18	75416,64	0,230
K69	COMB1	IPE400	6154,91	53775,45	0,114
K70	COMB1	IPE400	5440,74	53775,45	0,101
K71	COMB17	IPE500	20365,24	75416,64	0,270
K72	COMB1	IPE400	6154,91	53775,45	0,114

Tablo C.6 Y yönü Kirişleri Eğilme Dayanımı Kontrolü

KİRİŞ ADI	YÜKLEME	KESİT TÜRÜ	M_{sd} (kgm)	$M_{PL,Rd}$ (kgm)	$M_{sd} / M_{PL,Rd}$
K37	COMB1	IPE400	11610,78	28516,36	0,407
K38	COMB16	IPE500	4017,02	47869,09	0,084
K39	COMB1	IPE400	11610,78	28516,36	0,407
K40	COMB1	IPE400	10999,07	28516,36	0,386
K41	COMB17	IPE500	6354,34	47869,09	0,133
K42	COMB1	IPE400	11002,91	28516,36	0,386
K43	COMB1	IPE400	11002,91	28516,36	0,386
K44	COMB17	IPE500	20156,44	47869,09	0,421
K45	COMB1	IPE400	11002,91	28516,36	0,386
K46	COMB1	IPE400	22819,5	28516,36	0,800
K47	COMB1	IPE400	22833,88	28516,36	0,801
K48	COMB1	IPE400	22834,85	28516,36	0,801
K49	COMB1	IPE400	21619,25	28516,36	0,758
K50	COMB1	IPE400	21618,31	28516,36	0,758
K51	COMB1	IPE400	21619,25	28516,36	0,758
K52	COMB1	IPE400	21619,25	28516,36	0,758
K53	COMB1	IPE400	21618,29	28516,36	0,758
K54	COMB1	IPE400	21619,25	28516,36	0,758
K55	COMB1	IPE400	22834,85	28516,36	0,801
K56	COMB1	IPE400	22833,88	28516,36	0,801
K57	COMB1	IPE400	22834,85	28516,36	0,801
K58	COMB1	IPE400	21619,25	28516,36	0,758
K59	COMB1	IPE400	21618,31	28516,36	0,758
K60	COMB1	IPE400	21619,25	28516,36	0,758
K61	COMB1	IPE400	21619,06	28516,36	0,758
K62	COMB15	IPE500	21618,29	47869,09	0,452
K63	COMB1	IPE400	21619,25	28516,36	0,758
K64	COMB1	IPE400	11610,78	28516,36	0,407
K65	COMB16	IPE500	4029,79	47869,09	0,084
K66	COMB1	IPE400	11610,78	28516,36	0,407
K67	COMB1	IPE400	11002,91	28516,36	0,386
K68	COMB17	IPE500	6395,75	47869,09	0,134
K69	COMB1	IPE400	11002,91	28516,36	0,386
K70	COMB1	IPE400	9273,64	28516,36	0,325
K71	COMB17	IPE500	7608,28	47869,09	0,159
K72	COMB1	IPE400	11002,91	28516,36	0,386

C.4 Kolonların Boyutlandırılması

C.4.1 S4 (HEB160) Kolonunun Boyutlandırılması (Frame 85–87)

C.4.1.1 Kullanma Sınır Durumuna Göre

Kolon boyunca oluşan yatay deplasmanlar:

1. Katta $\delta = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 3 / 300 = 0,01 \text{ m}$ (Joint 71 COMB28)
2. Katta $\delta = 3,10 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 6 / 300 = 0,02 \text{ m}$ (Joint 72 COMB28)
3. Katta $\delta = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 9 / 500 = 0,018 \text{ m}$ (Joint 60 COMB28)

Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

C.4.1.2 Taşıma Sınır Durumuna Göre

Kolonların potansiyel göçme modu yanal burkulma olduğu için sağlanması gerekli kriter:

$$N_{sd} / (x_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{m1}) + k_{lt} \cdot M_{ysd} / (x_{lt} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{m1}) \leq 1$$

$$k_{lt} = 1 - (\mu_{LT} \cdot N_{sd} / x_y \cdot A \cdot f_y) \quad k_{lt} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \lambda_y \cdot \beta_{MLT} - 0,15 \quad \mu_{LT} \leq 0,90$$

β_{MLT} ; eşdeğer üniform azaltma katsayısı

x_y ; y-y eksenine bağlı azaltma katsayısı

HEB 160 Kesit Özellikleri:

$$W_{el,y} = 311,5 \text{ cm}^3 \quad W_{pl,y} = 354 \text{ cm}^3 \quad h = 160 \text{ mm} \quad b = 160 \text{ mm}$$

$$t_f = 13 \text{ mm} \quad t_w = 8 \text{ mm} \quad F = 54,25 \text{ cm}^2 \quad i_y = 6,78 \text{ cm} \quad i_z = 4,05 \text{ cm}$$

$$I_w = 4,794 \cdot 10^4 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 31,24 \text{ cm}^4 \quad I_y = 2492 \text{ cm}^4 \quad I_z = 889,2 \text{ cm}^4$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{Malzeme ST44})$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 80/13 = 6,15 < 10\varepsilon = 9,2 \quad \text{I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 104/8 = 13 < 72\varepsilon = 66,24 \quad \text{I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir.

Kesit Tesirleri:

$$M_{üst} = -1179,80 \text{ kgm} \quad N = -23804 \text{ kg} \quad M_{alt} = 281,68 \text{ kgm} \quad (\text{ COMB1})$$

Öncellikle kolonun yanal burkulma tahkiki yapılacaktır.

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \text{ I. sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/k_w)^2 I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1,0 \quad k_w = 1,0 \quad \varphi = M_{alt} / M_{üst} = 281,68 / -1179,80 = -0,24$$

$$C1 = 1,75$$

$$M_{cr} = 46586,20 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,21 \quad x_{LT} = 0,98 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{pl} = 354 * 10^{-6} * 2,75 * 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl} = 8850 \text{ kgm}$$

$$M_{sd} / M_{pl} = 1179,80 / 8850 = 0,13$$

$$M_{brd} = 0,98 M_{pl} > M_{sd} = 0,15 M_{pl} \text{ Yanal burkulma tehlikesi yoktur.}$$

Kolonun y eksenini etrafındaki burkulma boyu S_{ky} için:

$$n_1 = 0 \text{ (Temele rijit bağlantı)}$$

$$n_2 = 2 * 2492 / 3 / (2 * 2492 / 3 + 5790 / 7) = 0,667$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(n_1 + n_2) + 0,055(n_1 + n_2)^2$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(0 + 0,67) + 0,055(0 + 0,67)^2 = 0,62$$

$$S_{ky} = 0,62 * 3 = 1,86 \text{ m}$$

$$\lambda_y = S_{ky} / i_y = 1,86 / 0,0678 = 27,43$$

$$\varepsilon = (2,35 * 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 86,39$$

$$\lambda_y' = 27,43 / 86,39 = 0,32$$

$$k_z = 0,8 \text{ (Alt ankastre üst uç mafsallı) } \quad S_{ky} = 0,8 * 3 = 2,4 \text{ m}$$

$$\lambda_z = S_{kz} / i_z = 2,4 / 0,045 = 59,25$$

$$\lambda_z' = 59,25 / 86,39 = 0,685$$

HEB 160 için burkulma eğrisi tayini:

$h / b = 1 \text{ tf} = 13 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ olduğu için y-y eksenindeki burkulma eğrisi “c” eğrisi , z-z eksenindeki burkulma eğrisi “b” eğrisidir.

$$X_y = 0,96 \quad X_z = 0,75$$

$$X_{\min} = 0,75$$

b eğrisine ait hata katsayısı: $a = 0,34$ 'dür.

$$\phi_y = 0,5 * (1 + 0,34 * (0,685 - 0,2) + 0,685^2) = 0,82$$

$$X_y = 1 / (0,82 + (0,82^2 - 0,685^2)^{0,5}) = 0,786$$

$$\beta_{MLT} = 1,8 - 0,7 * \phi = 1,968 \quad \mu_{LT} = 0,05 \quad k_{LT} = 0,99$$

$$A+B = 23804,9 / (0,786 * 54,25 * 10^{-4} * 2,75 * 10^7 / 1,1) + 0,99 * 1179,8 / (0,98 * 354 * 10^{-6} * 2,75 * 10^7 / 1,1)$$

$$A+B = 0,223 + 0,135 = 0,358 < 1 \text{ ok.}$$

C.4.2 S5 (HEB260) Kolonunun Boyutlandırılması (Frame 55–57)

C.4.2.1 Kullanma Sınır Durumuna Göre

Kolon boyunca oluşan yatay deplasmanlar:

1. Katta $\delta = 1,49 * 10^{-3} \text{ m} < 3 / 300 = 0,01 \text{ m}$ (Joint 46 COMB28)
2. Katta $\delta = 3,10 * 10^{-3} \text{ m} < 6 / 300 = 0,02 \text{ m}$ (Joint 47 COMB28)
3. Katta $\delta = 4,26 * 10^{-3} \text{ m} < 9 / 500 = 0,018 \text{ m}$ (Joint 41 COMB28)

Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

C.4.2.2 Taşıma Sınır Durumuna Göre

Kolonların potansiyel göçme modu yanal burkulma olduğu için sağlanması gerekli kriter:

$$N_{sd} / (x_y * A * f_y / \gamma_{m1}) + k_{lt} * M_{y, sd} / (x_{lt} * W_{ply} * f_y / \gamma_{m1}) \leq 1$$

$$k_{lt} = 1 - (\mu_{LT} * N_{sd} / x_y * A * f_y) \quad k_{lt} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 * \lambda_y * \beta_{MLT} - 0,15 \quad \mu_{LT} \leq 0,90$$

β_{MLT} ; eşdeğer üniform azaltma katsayısı

x_y ; y-y eksenine bağlı azaltma katsayısı

HEB 260 Kesit Özellikleri:

$$W_{el,y} = 1148 \text{ cm}^3 \quad W_{pl,y} = 1283 \text{ cm}^3 \quad h = 260 \text{ mm} \quad b = 260 \text{ mm}$$

$$t_f = 17,5 \text{ mm} \quad t_w = 10 \text{ mm} \quad F = 118,4 \text{ cm}^2 \quad i_y = 11,28 \text{ cm} \quad i_z = 6,58 \text{ cm}$$

$$I_w = 7,54 \cdot 10^5 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 123,8 \text{ cm}^4 \quad I_y = 14920 \text{ cm}^4 \quad I_z = 5135 \text{ cm}^4$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2 \text{ (Malzeme ST44)}$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 130/17,5 = 7,43 < 10\varepsilon = 9,2 \quad \text{I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 177 / 10 = 17,7 < 72 \varepsilon = 66,24 \quad \text{I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir.

Kesit Tesirleri:

$$M_{\text{üst}} = 3254,05 \text{ kgm} \quad N = -43651,31 \text{ kg} \quad M_{\text{alt}} = -622,27 \text{ kgm} \quad (\text{COMB1})$$

Öncellikle kolonun yanal burkulma tahkiki yapılacaktır.

$$M_{\text{brd}} = x_{lt} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \text{ I.sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} \cdot f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 \cdot (\pi^2 \cdot E \cdot I_z) / (kL)^2) \cdot [((k/k_w)^2 I_w + 0,039 \cdot (kL)^2 \cdot I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1,0 \quad k_w = 1,0 \quad \varphi = M_{\text{alt}} / M_{\text{üst}} = -622,27 / 3254,05 = -0,19$$

$$C_1 = 1,60$$

$$M_{cr} = 57267 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,79 \quad x_{LT} = 0,79 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{pl} = 1283 \cdot 10^{-6} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl} = 32075 \text{ kgm}$$

$$M_{sd} / M_{pl} = 3254,05 / 32075 = 0,10$$

$$M_{\text{brd}} = 0,79 M_{pl} > M_{sd} = 0,10 M_{pl} \quad \text{Yanal burkulma tehlikesi yoktur.}$$

Kolonun y eksenine etrafındaki burkulma boyu S_{ky} için:

$$n_1 = 0 \text{ (Temele rijit bağlantı)}$$

$$n_2 = 2 \cdot 19270 / 3 / (2 \cdot 19270 / 3 + 5790 / 7) = 0,940$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(n_1 + n_2) + 0,055(n_1 + n_2)^2$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(0 + 0,94) + 0,055(0 + 0,94)^2 = 0,680$$

$$S_{ky} = 0,680 \cdot 3 = 2,04 \text{ m}$$

$$\lambda_y = S_{ky} / i_y = 2,04 / 0,1128 = 18,08$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 86,39$$

$$\lambda_y' = 18,08 / 86,39 = 0,21$$

$$k_z = 0,8 \text{ (Alt ankastre üst uç mafsallı) } \quad S_{ky} = 0,8 \cdot 3 = 2,4 \text{ m}$$

$$\lambda_z = S_{kz} / i_z = 2,4 / 0,0658 = 36,47$$

$$\lambda_z' = 36,47 / 86,39 = 0,42$$

HEB 260 için burkulma eğrisi tayini:

$h / b = 1$ $t_f = 17,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ olduğu için y-y eksenindeki burkulma eğrisi “c” eğrisi , z-z eksenindeki burkulma eğrisi “b” eğrisidir.

$$X_y = 1 \quad X_z = 0,75$$

$$X_{\min} = 0,75$$

b eğrisine ait hata katsayısı: $a = 0,34$ 'dür.

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,42 - 0,2) + 0,42^2) = 0,625$$

$$X_y = 1 / (0,625 + (0,625^2 - 0,42^2)^{0,5}) = 0,573$$

$$\beta_{MLT} = 1,8 - 0,7 \cdot \phi = 1,933 \quad \mu_{LT} = 0,028 \quad k_{LT} = 0,99$$

$$A+B = 46351,31 / (0,573 \cdot 131,4 \cdot 10^{-4} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1) + 0,99 \cdot 3254,05 / (0,79 \cdot 1283 \cdot 10^{-6} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1)$$

$$A+B = 0,246 + 0,127 = 0,373 < 1 \quad \text{ok.}$$

C.4.3 S9 (HEB220) Kolonunun Boyutlandırılması (Frame 22–24)

C.4.3.1 Kullanma Sınır Durumuna Göre

Kolon boyunca oluşan yatay deplasmanlar:

$$1. \text{ Katta} \quad \delta = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 3 / 300 = 0,01 \text{ m} \quad (\text{Joint 23 COMB28})$$

$$2. \text{ Katta} \quad \delta = 3,10 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 6 / 300 = 0,02 \text{ m} \quad (\text{Joint 24 COMB28})$$

$$3. \text{ Katta} \quad \delta = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 9 / 500 = 0,018 \text{ m} \quad (\text{Joint 16 COMB28})$$

Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

C.4.3.2 Taşıma Sınır Durumuna Göre

Kolonların potansiyel göçme modu yanal burkulma olduğu için sağlanması gerekli kriter:

$$N_{sd} / (x_y * A * f_y / \gamma_{m1}) + k_{lt} * M_{ysd} / (x_{lt} * W_{ply} * f_y / \gamma_{m1}) \leq 1$$

$$k_{lt} = 1 - (\mu_{LT} * N_{sd} / x_y * A * f_y) \quad k_{lt} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 * \lambda_y * \beta_{MLT} - 0,15 \quad \mu_{LT} \leq 0,90$$

β_{MLT} ; eşdeğer üniform azaltma katsayısı

x_y ; y-y eksenine bağlı azaltma katsayısı

HEB 220 Kesit Özellikleri:

$$W_{el,y} = 735 \text{ cm}^3 \quad W_{pl,y} = 827 \text{ cm}^3 \quad h = 220 \text{ mm} \quad b = 220 \text{ mm}$$

$$t_f = 16 \text{ mm} \quad t_w = 9,5 \text{ mm} \quad F = 91,04 \text{ cm}^2 \quad i_y = 9,43 \text{ cm} \quad i_z = 5,59 \text{ cm}$$

$$I_w = 2,95 * 10^5 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 76,57 \text{ cm}^4 \quad I_y = 8091 \text{ cm}^4 \quad I_z = 2843 \text{ cm}^4$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 * 10^7 \text{ kg/m}^2 \text{ (Malzeme ST44)}$$

$$\varepsilon = (2,35 * 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 110/16 = 6,875 < 10\varepsilon = 9,2 \quad \text{I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 152 / 9,5 = 16 < 72 \quad \varepsilon = 66,24 \quad \text{I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir.

Kesit Tesirleri:

$$M_{üst} = -1723,9 \text{ kgm} \quad N = -23691 \text{ kg} \quad M_{alt} = 344,22 \text{ kgm} \quad (\text{COMB1})$$

Öncellikle kolonun yanal burkulma tahkiki yapılacaktır.

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \text{ I.sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/kw)^2 I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1,0 \quad kw = 1,0 \quad \varphi = M_{alt} / M_{üst} = 344,22 / -1723,9 = -0,20$$

$$C1 = 1,55$$

$$M_{cr} = 46615,82 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,488 \quad x_{LT} = 0,93 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{pl} = 827 * 10^{-6} * 2,75 * 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl} = 20675 \text{ kgm}$$

$$M_{sd} / M_{pl} = 1723,9 / 20675 = 0,083$$

$$M_{brd} = 0,79 M_{pl} > M_{sd} = 0,08 M_{pl} \quad \text{Yanal burkulma tehlikesi yoktur.}$$

Kolonun y eksenini etrafındaki burkulma boyu S_{ky} için:

$$n_1 = 0 \quad (\text{Temele rijit bağlantı})$$

$$n_2 = 2 \cdot 8091 / 3 / (2 \cdot 8091 / 3 + 5790 / 7) = 0,867$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(n_1 + n_2) + 0,055(n_1 + n_2)^2$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(0 + 0,87) + 0,055(0 + 0,87)^2 = 0,66$$

$$S_{ky} = 0,66 \cdot 3 = 1,98 \text{ m}$$

$$\lambda_y = S_{ky} / i_y = 1,98 / 0,0943 = 21$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 86,39$$

$$\lambda_y' = 21 / 86,39 = 0,24$$

$$k_z = 0,8 \quad (\text{Alt ankastre üst uç mafsallı}) \quad S_{ky} = 0,8 \cdot 3 = 2,4 \text{ m}$$

$$\lambda_z = S_{kz} / i_z = 2,4 / 0,0559 = 42,93$$

$$\lambda_z' = 42,93 / 86,39 = 0,496$$

HEB 220 için burkulma eğrisi tayini:

$h / b = 1$ $t_f = 16 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ olduğu için y-y eksenindeki burkulma eğrisi “c” eğrisi, z-z eksenindeki burkulma eğrisi “b” eğrisidir.

$$X_y = 0,97 \quad X_z = 0,884$$

$$X_{\min} = 0,884$$

b eğrisine ait hata katsayısı: $a = 0,34$ 'dür.

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,496 - 0,2) + 0,496^2) = 0,673$$

$$X_y = 1 / (0,673 + (0,673^2 - 0,496^2)^{0,5}) = 0,887$$

$$\beta_{MLT} = 1,8 - 0,7 \cdot \phi = 1,94 \quad \mu_{LT} = 0 \quad k_{LT} = 1$$

$$A+B = 23691 / (0,887 \cdot 91,04 \cdot 10^{-4} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1) + 1 \cdot 1723,9 / (0,93 \cdot 827 \cdot 10^{-6} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1)$$

$$A+B = 0,117 + 0,089 = 0,206 < 1 \text{ ok.}$$

C.5 Çelik Çaprazların (Çift NPU 300) Boyutlandırılması (Frame 409)

Çaprazlar uçlarından mafsallı olarak teşkil edilmiştir. Bu yüzden normal kuvvete göre boyutlandırılacaklardır. Boyutlandırma Bölüm 3.3.5’ te belirtilen hususlara göre yapılacaktır. Binaya Y doğrultusunda daha fazla deprem kuvveti geldiğinden bu yöndeki çaprazlar daha fazla yük almıştır.

Kesit Tesiri:

$$N_{sd} = 34207,23 \text{ kg (COMB 16)}$$

NPU 300 Kesit Özellikleri

$$I_x = 8030 \text{ cm}^4 \quad I_y = 495 \text{ cm}^4 \quad h = 300 \text{ mm} \quad t_f = 16 \text{ mm} \quad t_w = 10 \text{ mm}$$

$$F = 58,8 \text{ cm}^2 \quad i_x = 11,7 \text{ cm} \quad i_y = 2,9 \text{ cm}$$

$$I_{eff} = 0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_f + 2 \cdot \mu \cdot I_f$$

$$I_{eff} = 0,5 \cdot 14,6^2 \cdot 58,8 + 2 \cdot 1 \cdot 8030 = 22326,90 \text{ cm}^4$$

$$i_0 = (0,5 \cdot I_1 / A_f)^{0,5} = (0,5 \cdot 8030 / 58,8) = 8,26 \text{ cm}$$

$$\lambda = l / i_0 = 404 / 8,26 = 48,89$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,92 = 86,39$$

$$\lambda' = \lambda / \lambda_1 = 48,89 / 86,39 = 0,566$$

NPU 300 kaynaklı kutu kesit için burkulma eğrisi “b” eğrisidir. (Tablo 3.8)

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,566 - 0,2) + 0,566^2) = 0,722$$

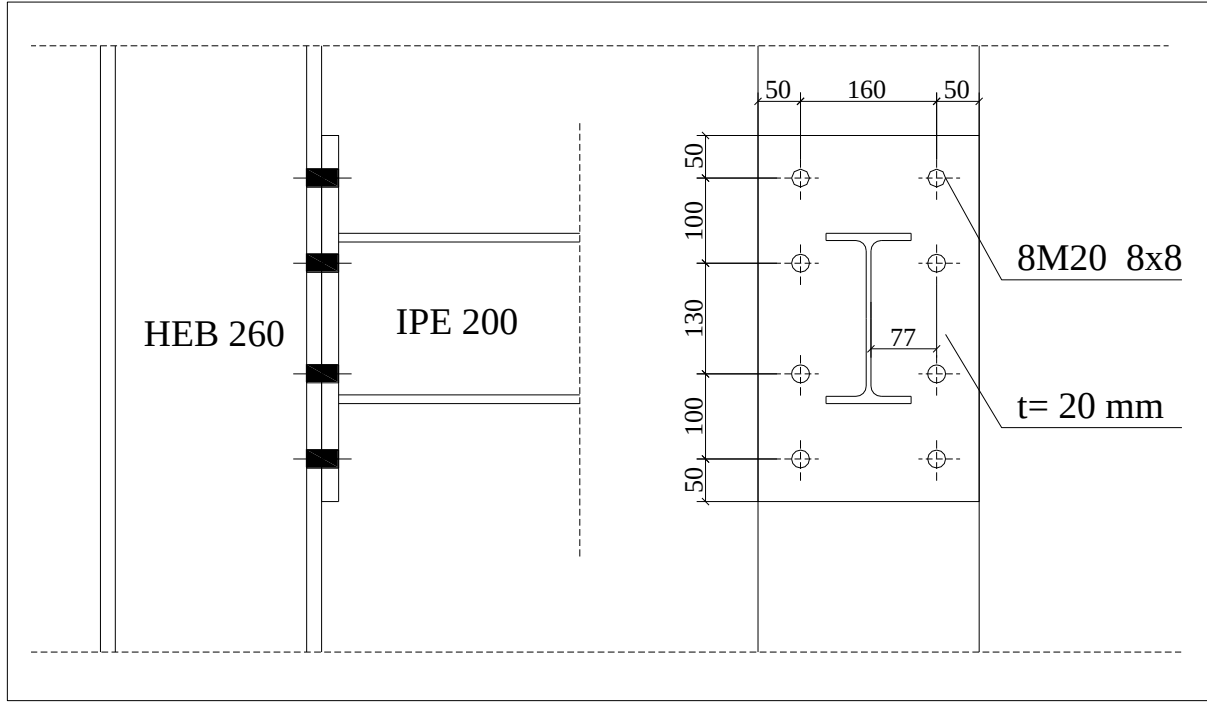
$$X = 1 / (0,722 + (0,722^2 - 0,566^2)^{0,5}) = 0,855$$

$$N_{b, Rd} = X \beta A f_y / \gamma_{m1}$$

$$N_{b, Rd} = 0,855 \cdot 1 \cdot 117,6 \cdot 10^{-4} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1 = 251370 \text{ kg}$$

$$N_{b, Rd} > N_{sd} = 34207,23 \text{ kg}$$

D.DÜĞÜM NOKTALARI YARI-RİJİT ALIN LEVHALI SİSTEMİN EUROCODE.3'E GÖRE HESABI



Şekil D.1 HEB 260 – IPE 200 Birleşimi

D.1 HEB260 – IPE200 Birleşimi

Birleşim çekme, kayma ve basınç bölgesi olmak üzere üç bölgeye ayrılacak ve herbir bölgedeki bileşenlerin rijitlikleri hesap edilecektir

D.1.1 Çekme Bölgesi

D.1.1.1 Çekme Bölgesinde Kolon Başlığı:

Bölüm 4'te belirtildiği gibi kolon başlığının plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl,rd} = l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / 4 \cdot \gamma_{m0}$$

Çekmede kolon başlığının efektif genişliği:

$$l_{eff} = 4m + 1,25e$$

$$m = g/2 - t_w/2 - 0,8 \cdot r_c \quad (g: \text{Bulon eksenleri arası uzaklık})$$

$$m = \frac{160}{2} - \frac{10}{2} - 0,8 * 24$$

$$m = 55,8 \quad e = 50$$

$$l_{eff} = 4 * 55,8 + 1,25 * 50 = 285,7 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 0,5p + 2m + 0,625e$$

$$l_{eff} = 0,5 * 100 + 2 * 55,8 + 0,625 * 50 = 192,85 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 2\pi m = 350,60 \text{ mm}$$

l_{eff} efektif genişlik bu değerlerden minimum olan 192,85 mm değeridir. Fakat bu değer tek bir bulon sırası için bulunan değerdir. İki sıra bulon için:

$$l_{eff} = 2 * 192,85 = 385,7 \text{ mm}$$

Plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl, rd} = 0,39 * (0,0175)^2 * 27,5 * 10^6 / 4 * 1,1 = 746,5 \text{ kg m} \quad (\text{Malzeme ST44})$$

Çekme bölgesinde kolon başlığında 4. bölümde belirtildiği gibi üç farklı göçme modu oluşabilir.

- Göçme modu 1: Başlığın tamamen akması (İnce et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 M_{pl, rd} / m$$

$$F_{t, Rd} = 4 * 746,5 / 0,056 = 53321 \text{ kg}$$

- Göçme modu 2: Başlığın ve bulonların beraber akması

$$F_{t, Rd} = \frac{2M_{pl, rd} + n \sum B_{t, Rd}}{m + n}$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 * A_s * f_{ub} / \gamma_{mb}$$

$$A_s = \text{Bulon etkin gövde alanı} = \pi d_r^2 / 4 \quad (d_r = \sqrt{0,78 * d})$$

$$A_s = \pi * (0,78 * 2^2) / 4 = 245 \text{ mm}^2$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 * 245 * 10^{-6} * 800 * 10^5 / 1,25 = 14112 \text{ kg}$$

T eşdeğer uç bölgesinin sınırları içersinde 2 sıra bulon bulunmaktadır

$$F_{t, Rd} = \frac{2 * 746,5 + 2 * 14112 * 0,05}{0,056 + 0,05}$$

$$F_{t, Rd} = 27398,10 \text{ kg}$$

- Göçme modu 3: Bulonların akması (Kalın et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 B_{Rd} = 4 * 14112 = 56448 \text{ kg}$$

Bu durumda çekme bölgesindeki kolon başlığının dayanımı:

$$F_{t, Rd} = 27398,10 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,85 \cdot b_{eff} \cdot t_{fc}^3 / m_c^3 = 0,85 * 0,39 * (0,0175)^3 / (0,0558)^3 = 0,01 \text{ m}$$

D.1.1.2 Çekme Bölgesinde Alın Levhası

Çekme bölgesinde alın levhasının dayanımı hesaplanırken kiriş çekme başlığının altında ve üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgeleri ayrı ayrı ele alınır. [1]

Çekme başlığının üstünde kalan bulon sırası için :

T uç bölgesi efektif uzunluğu

$$l_{eff1} = 4m_x + 1,25 e_x$$

$$l_{eff2} = e_{ep} + 2m_x + 0,625 e_x$$

$$l_{eff3} = 0,5 b_p$$

$$l_{eff4} = 0,5w + 2m_x + 0,625e_x$$

$$m_x = 50 \text{ mm} \quad e_x = 50 \text{ mm} \quad e_{ep} = 50 \text{ mm} \quad b_p = 260 \text{ mm} \quad w = 160 \text{ mm}$$

$$l_{eff1} = 4 * 50 + 1,25 * 50 = 262,5$$

$$l_{eff2} = 50 + 2 * 50 + 0,625 * 50 = 181,25$$

$$l_{eff3} = 0,5 * 260 = 130 \text{ mm}$$

$$l_{eff4} = 0,5 * 160 + 2 * 50 + 0,625 * 50 = 211,25$$

$$l_{eff} = 130 \text{ mm}$$

$$M_{ep, Rd} = 0,13 * (0,02)^2 * 27.500.000 / (4 * 1,1) = 325 \text{ kgm}$$

1. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 4 * 325 / 0,05 = 26000 \text{ kg}$$

2. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = \frac{2 * 325 + 2 * 14112 * 0,05}{0,1} = 20612 \text{ kg}$$

3. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 2 * B_{Rd} = 2 * 14112 = 28224 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{ep, Rd} = 20612 \text{ kg}$$

Çekme başlığının altında kalan bulon sırası için:

Eşdeğer uç bölgesi efektif genişliği:

$$l_{eff1} = \alpha m_{ep}$$

$$l_{eff2} = 2\pi m_{ep}$$

α katsayısının belirlenmesi:

$$\lambda_1 = m_y / (e_{ep} + m_y) \quad \lambda_2 = m_2 / (e_{ep} + m_2)$$

$$m_y = 77,2 \text{ mm} \quad m_2 = 50 \text{ mm} \quad e_{ep} = 50 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 77,2 / (50 + 77,2) = 0,60$$

$$\lambda_2 = 50 / (50 + 50) = 0,50$$

$$\alpha = 5,25$$

Bu durumda efektif uzunluk $l_{eff1} = 5,25 * 77,2 = 405,63 \text{ mm}$

Alın levhası dayanımı:

$$M_{pl, Rd} = l_{eff} t_f^2 f_y / 4\gamma_{m0} = 0,406 * (0,0175)^2 * 27.500.000 / 4 * 1,1 = 777,11 \text{ kgm}$$

1.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd1} = 4 * 777,11 / 0,0772 = 40264,77 \text{ kg}$$

2.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd2} = \frac{2 * 777,10 + 2 * 14112 * 0,05}{0,072 + 0,05} = 23312,89 \text{ kg}$$

3.Göçme modu için

$$F_{b, Rd3} = 2 * 14112 = 28224 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının altında kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 23312,89 \text{ kg}$$

Rijitlikler:

Çekme başlığının üstündeki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_x = 0,85 * 0,13 * (0,02)^3 / (0,05)^3 = 0,0070 \text{ m}$$

Çekme başlığının altındaki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_y = 0,85 * 0,406 * (0,02)^3 / (0,0772)^3 = 0,006 \text{ m}$$

D.1.1.3 Çekme Bölgesinde Bulonlar

Çekme bölgesindeki bulonların dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 4B_{t,Rd}$$

$$F_{b, Rd} = 4 \cdot 14112 = 56448 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 3,2 A_s / L_b$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2 \quad L_b = 20 + 17,5 + 2 \cdot 4 + 0,5 \cdot (16+16) = 61,5 \text{ mm}$$

$$K = 3,2 \cdot 245 \cdot 10^{-3} / 61,5 = 0,01275$$

D.1.1.4 Çekme Bölgesinde Kolon Gövdesi

Çekme bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{cwt, Rd} = \rho_1 b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0}$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(b_{eff} t_{wc} / A_{vc})^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = 385,7 \text{ mm} \quad t_{wc} = 10,5 \text{ mm} \quad A_{vc} = 41,09 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(385,7 \cdot 10,5 / 4109)^2)^{0,5} = 0,66$$

$$F_{cwt, Rd} = 0,66 \cdot 0,386 \cdot 0,0105 \cdot 27500 \cdot 10^3 / 1,1 = 66874,5 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 \cdot 386 \cdot 10,5 \cdot 10^{-3} / 196 = 0,0145$$

D.1.2 Basınç Bölgesi

D.1.2.1 Basınç Bölgesinde Kolon Gövdesi

Basınç bölgesinde kolon gövdesinin dayanımı:

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \leq 0,67)$$

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} ((1 - (0,22/\lambda_{wc}))/\lambda_{wc}) / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \geq 0,67)$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 \cdot (b_{effwc, c} d_c f_{ycw} / E t_{wc}^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{ep} + 5(t_{fc} + s) + s_p$$

$$b_{eff} = 8,5 + 2\sqrt{2} \cdot 7 + 5(18 + 24) + 40 = 280 \text{ mm}$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 \cdot (0,280 \cdot 0,196 \cdot 27.500.000 / 2,1 \cdot 10^{10} \cdot 0,0105^2)^{0,5} = 0,73 > 0,67$$

$$k_{wc} = 1,25 - 0,5 \cdot \sigma_v / f_{ycw} \quad (\sigma_v = 0 \text{ alınır})$$

$k_{wc} = 1,25$ olur. Bu durumda $k_{wc} = 1$ alınır.

$$F_{cwc, Rd} = (1 \cdot 0,66 \cdot 0,280 \cdot 0,0105 \cdot 27.500.000 \cdot (1 - (0,22/0,73)/0,73) / 1,1 = 45722 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 \cdot 280 \cdot 10,5 \cdot 10^{-3} / 196 = 0,0105$$

D.1.2.1 Basınç Bölgesinde Kiriş Başlığı

$$F_{bfc, Rd} = M_{b,Rd} / (h_b - t_{fb}) = W_{plb} * f_{yd} / \gamma_{m0}(h_b - t_{fb}) = 220,6 * 2750 / 1,1 * (20 - 0,85) = 28799 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = \infty$$

D.1.2 Kayma Bölgesi

D.1.2.1 Kayma Bölgesinde Kolon Gövdesi

Kayma bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{Rd,1} = V_{wc, Rd} / \beta = 0,9 A_{vc} f_{ywc} / \sqrt{3} \gamma_{m0} \beta = 0,9 * 37,59 * 2750 / \sqrt{3} * 1,1 * 1 = 48830,84 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,385 A_{vc} / \beta h = 0,385 * 37,59 / 1 * (26 - 1,75) = 0,0059 \text{ m}$$

Birleşimin Moment Dayanımı:

$$F_{Rd} = \min(F_{Rd, j}) = 20612 \text{ kg}$$

Birleşimin plastik moment dayanımı:

$$M_{Rd} = F_{Rd} h = 20612 * 0,20 = 4122,4$$

Analiz sonucu düğüm noktasına gelen moment değeri:

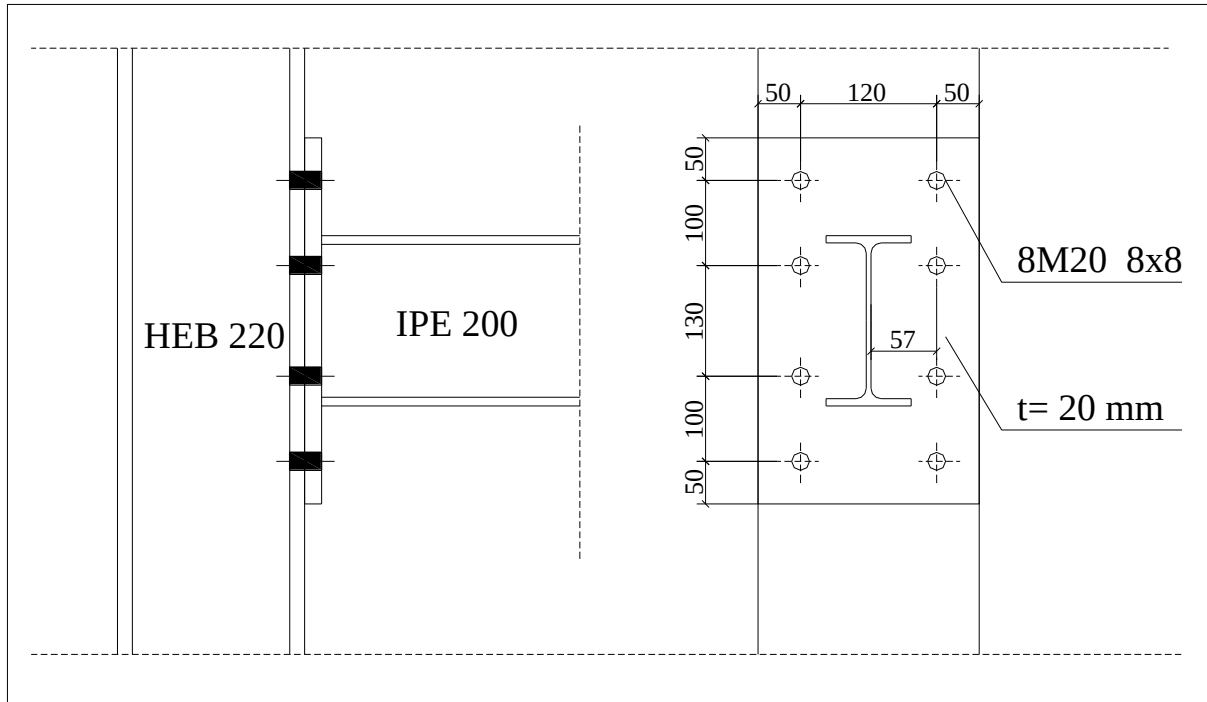
Birleşimin rijitliği:

$$S_{j,ini} = \frac{Eh^2}{\sum_{i=1}^{i=8} \frac{1}{K_i}}$$

$$S_{j, ini} = \frac{2,1 * 10^{10} * 0,02^2}{\frac{1}{0,01} + \frac{1}{0,07} + \frac{1}{0,006} + \frac{1}{0,01275} + \frac{1}{0,0145} + \frac{1}{0,0105} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{0,059}}$$

$$S_{j,ini} = 1554011,56 \text{ kgm/rad}$$

D.2 HEB220 – IPE200 Birleşimi



Şekil D.2 HEB 220 – IPE 200 Birleşimi

D.2.1 Çekme Bölgesi

D.2.1.1 Çekme Bölgesinde Kolon Başlığı:

Bölüm 4’te belirtildiği gibi kolon başlığının plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl,rd} = l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / 4 \cdot \gamma_{m0}$$

Çekmede kolon başlığının efektif genişliği:

$$l_{eff} = 4m + 1,25e$$

$$m = g/2 - t_w/2 - 0,8 \cdot r_c \quad (g: \text{Bulon eksenleri arası uzaklık})$$

$$m = 120/2 - 9,5/2 - 0,8 \cdot 18$$

$$m = 40,85 \quad e = 50$$

$$l_{eff} = 4 \cdot 40,85 + 1,25 \cdot 50 = 225,9 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 0,5p + 2m + 0,625e$$

$$l_{eff} = 0,5 \cdot 100 + 2 \cdot 40,85 + 0,625 \cdot 50 = 162,95 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 2\pi m = 256,66 \text{ mm}$$

l_{eff} efektif genişlik bu değerlerden minimum olan 162,95 mm değeridir. Fakat bu değer tek bir bulon sırası için bulunan değerdir. İki sıra bulon için:

$$l_{eff} = 2 * 162,95 = 325,9 \text{ mm}$$

Plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl, rd} = 0,326 * (0,016)^2 * 27,5 * 10^6 / 4 * 1,1 = 521,60 \text{ kg m} \quad (\text{Malzeme ST44})$$

Çekme bölgesinde kolon başlığında 4. bölümde belirtildiği gibi üç farklı göçme modu oluşabilir.

- Göçme modu 1: Başlığın tamamen akması (İnce et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 M_{pl, rd} / m$$

$$F_{t, Rd} = 4 * 521,60 / 0,04085 = 51074,66 \text{ kg}$$

- Göçme modu 2: Başlığın ve bulonların beraber akması

$$F_{t, Rd} = \frac{2M_{pl, rd} + n \sum B_{t, Rd}}{m + n}$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 * A_s * f_{ub} / \gamma_{mb}$$

$$A_s = \text{Bulon etkin gövde alanı} = \pi d_r^2 / 4 \quad (d_r = \sqrt{0,78 * d})$$

$$A_s = \pi * (0,78 * 2^2) / 4 = 245 \text{ mm}^2$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 * 245 * 10^{-6} * 800 * 10^5 / 1,25 = 14112 \text{ kg}$$

T eşdeğer uç bölgesinin sınırları içersinde 2 sıra bulon bulunmaktadır

$$F_{t, Rd} = \frac{2 * 521,6 + 2 * 14112 * 0,05}{0,04085 + 0,05}$$

$$F_{t, Rd} = 27015,96 \text{ kg}$$

- Göçme modu 3: Bulonların akması (Kalın et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 B_{Rd} = 4 * 14112 = 56448 \text{ kg}$$

Bu durumda çekme bölgesindeki kolon başlığının dayanımı:

$$F_{t, Rd} = 27015,96 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,85 b_{eff} t_{fc}^3 / m_c^3 = 0,85 * 0,326 * (0,016)^3 / (0,04085)^3 = 0,016 \text{ m}$$

D.2.1.2 Çekme Bölgesinde Alın Levhası

Çekme başlığının üstünde kalan bulon sırası için :

T uç bölgesi efektif uzunluğu

$$l_{eff1} = 4m_x + 1,25 e_x$$

$$l_{eff2} = e_{ep} + 2m_x + 0,625 e_x$$

$$l_{eff3} = 0,5 b_p$$

$$l_{eff4} = 0,5w + 2m_x + 0,625e_x$$

$$m_x = 50 \text{ mm} \quad e_x = 50 \text{ mm} \quad e_{ep} = 50 \text{ mm} \quad b_p = 220 \text{ mm} \quad w = 120 \text{ mm}$$

$$l_{eff1} = 4 * 50 + 1,25 * 50 = 262,5$$

$$l_{eff2} = 50 + 2 * 50 + 0,625 * 50 = 181,25$$

$$l_{eff3} = 0,5 * 220 = 110 \text{ mm}$$

$$l_{eff4} = 0,5 * 120 + 2 * 50 + 0,625 * 50 = 191,25$$

$$l_{eff} = 110 \text{ mm}$$

$$M_{ep, Rd} = 0,11 * (0,02)^2 * 27.500.000 / (4 * 1,1) = 275 \text{ kgm}$$

1.Göçme modü için:

$$F_{ep, Rd} = 4 * 275 / 0,05 = 22000 \text{ kg}$$

2.Göçme modü için:

$$F_{ep, Rd} = \frac{2 * 275 + 2 * 14112 * 0,05}{0,01} = 20512 \text{ kg}$$

3.Göçme modü için:

$$F_{ep, Rd} = 2 * B_{Rd} = 2 * 14112 = 28224 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{ep, Rd} = 20512 \text{ kg}$$

Çekme başlığının altında kalan bulon sırası için:

Eşdeğer uç bölgesi efektif genişliği:

$$l_{eff1} = \alpha m_{ep}$$

$$l_{eff2} = 2\pi m_{ep}$$

α katsayısının belirlenmesi:

$$\lambda_1 = m_y / (e_{ep} + m_y) \quad \lambda_2 = m_2 / (e_{ep} + m_2)$$

$$m_y = 57,2 \text{ mm} \quad m_2 = 50 \text{ mm} \quad e_{ep} = 50 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 57,2 / (50 + 57,2) = 0,533$$

$$\lambda_2 = 50 / (50 + 50) = 0,50$$

$$\alpha = 5,5$$

Bu durumda efektif uzunluk $l_{eff1} = 5,5 * 57,2 = 314,60$ mm

Alın levhası dayanımı:

$$M_{pl, Rd} = l_{eff} t_f^2 f_y / 4 \gamma_{m0} = 0,31 * (0,016)^2 * 27.500.000 / 4 * 1,1 = 496 \text{ kgm}$$

1.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd1} = 4 * 496 / 0,0572 = 34685,31 \text{ kg}$$

2.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd2} = (2 * 496 + 2 * 14112 * 0,05) / (0,0572 + 0,05) = 22417,91 \text{ kg}$$

3.Göçme modu için

$$F_{b, Rd3} = 2 * 14112 = 28224 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının altında kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 22417,91 \text{ kg}$$

Rijitlikler:

Çekme başlığının üstündeki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_x = 0,85 * 0,11 * (0,02)^3 / (0,05)^3 = 0,0059 \text{ m}$$

Çekme başlığının altındaki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_y = 0,85 * 0,29 * (0,02)^3 / (0,0572)^3 = 0,010 \text{ m}$$

D.2.1.3 Çekme Bölgesinde Bulonlar

Çekme bölgesindeki bulonların dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 4 B_{t, Rd}$$

$$F_{b, Rd} = 4 * 14112 = 56448 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 3,2 A_s / L_b$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2 \quad L_b = 20 + 16 + 2 * 4 + 0,5 * (16 + 16) = 60 \text{ mm}$$

$$K = 3,2 * 245 * 10^{-3} / 60 = 0,01307$$

D.2.1.4 Çekme Bölgesinde Kolon Gövdesi

Çekme bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{cwt, Rd} = \rho_1 b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0}$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3 (b_{eff} t_{wc} / A_{vc})^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = 326 \text{ mm} \quad t_{wc} = 9,5 \text{ mm} \quad A_{vc} = 27,92 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(326 * 9,5 / 2792)^2)^{0,5} = 0,667$$

$$F_{cwt, Rd} = 0,667 * 0,326 * 0,0095 * 27500 * 10^3 / 1,1 = 51642,16 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 * 326 * 9,5 * 10^{-3} / 152 = 0,014 \text{ m}$$

D.2.2 Basınç Bölgesi

D.2.2.1 Basınç Bölgesinde Kolon Gövdesi

Basınç bölgesinde kolon gövdesinin dayanımı:

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \leq 0,67)$$

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} ((1 - (0,22 / \lambda_{wc})) / \lambda_{wc}) / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \geq 0,67)$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 * (b_{effwc, c} d_c f_{ycw} / E t_{wc}^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{ep} + 5(t_{fc} + s) + s_p$$

$$b_{eff} = 8,5 + 2\sqrt{2} * 7 + 5(16 + 18) + 40 = 240 \text{ mm}$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 * (0,240 * 0,152 * 27.500.000 / 2,1 * 10^{10} 0,0095^2)^{0,5} = 0,67 = 0,67$$

$$k_{wc} = 1,25 - 0,5 * \sigma_v / f_{ycw} \quad (\sigma_v = 0 \text{ alınır})$$

$k_{wc} = 1,25$ olur. Bu durumda $k_{wc} = 1$ alınır.

$$F_{cwc, Rd} = (1 * 0,667 * 0,240 * 0,0095 * 27.500.000 / 1,1 = 38019 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 * 240 * 9,5 * 10^{-3} / 152 = 0,0105 \text{ m}$$

D.2.2.2 Basınç Bölgesinde Kiriş Başlığı

$$F_{bfc, Rd} = M_{b,Rd} / (h_b - t_{fb}) = W_{plb} * f_{yd} / \gamma_{m0} (h_b - t_{fb}) = 220,6 * 2750 / 1,1 * (20 - 0,85) = 28799 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = \infty$$

D.2.3 Kayma Bölgesi

D.2.3.1 Kayma Bölgesinde Kolon Gövdesi

Kayma bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{Rd,1} = V_{wc, Rd} / \beta = 0,9 A_{vc} f_{ycw} / \sqrt{3} \gamma_{m0} \beta = 0,9 * 27,92 * 2750 / \sqrt{3} * 1,1 * 1 = 36953 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,385 A_{vc} / \beta h = 0,385 * 27,92 / 1 * (22 - 1,6) = 0,0053 \text{ m}$$

Birleşimin Moment Dayanımı:

$$F_{Rd} = \min(F_{Rd, j}) = 20512 \text{ kg}$$

Birleşimin plastik moment dayanımı:

$$M_{Rd} = F_{Rd} h = 20512 * 0,20 = 4102,4 \text{ kgm}$$

Analiz sonucu düğüm noktasına gelen moment değeri:

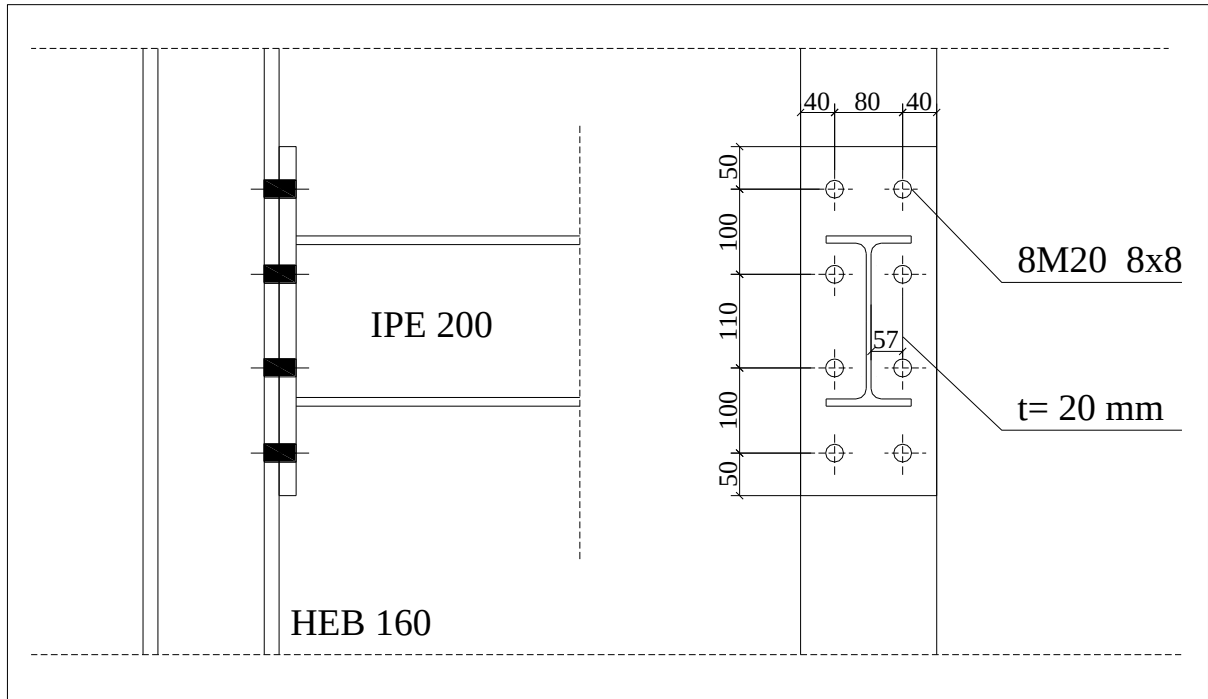
Birleşimin rijitliği:

$$S_{j,ini} = \frac{Eh^2}{\sum_{i=1}^{i=8} \frac{1}{K_i}}$$

$$S_{j,ini} = \frac{2,1 * 10^{10} * 0,02^2}{\frac{1}{0,016} + \frac{1}{0,0059} + \frac{1}{0,010} + \frac{1}{0,01307} + \frac{1}{0,014} + \frac{1}{0,0105} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{0,053}}$$

$$S_{j,ini} = 1414052,83 \text{ kgm/rad}$$

D.3 HEB160 – IPE270 Birleşimi



Şekil D.3 HEB 160 – IPE 200 Birleşimi

D.3.1 Çekme Bölgesi

D.3.1.1 Çekme Bölgesinde Kolon Başlığı:

Kolon başlığının plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl,rd} = l_{eff} * t_f^2 * f_y / 4 * \gamma_{m0}$$

Çekmede kolon başlığının efektif genişliği:

$$l_{eff} = 4m + 1,25e$$

$$m = g/2 - t_w/2 - 0,8 \cdot r_c \quad (g: \text{Bulon eksenleri arası uzaklık})$$

$$m = 80/2 - 8/2 - 0,8 \cdot 15$$

$$m = 24 \quad e = 40$$

$$l_{eff} = 4 \cdot 24 + 1,25 \cdot 40 = 146 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 0,5p + 2m + 0,625e$$

$$l_{eff} = 0,5 \cdot 100 + 2 \cdot 24 + 0,625 \cdot 40 = 123 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 2\pi m = 150,80 \text{ mm}$$

l_{eff} efektif genişlik bu değerlerden minimum olan 123 mm değeridir. Fakat bu değer tek bir bulon sırası için bulunan değerdir. İki sıra bulon için:

$$l_{eff} = 2 \cdot 123 = 246 \text{ mm}$$

Plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl, rd} = 0,246 \cdot (0,013)^2 \cdot 27,5 \cdot 10^6 / 4 \cdot 1,1 = 259,84 \text{ kg m} \quad (\text{Malzeme ST44})$$

Çekme bölgesinde kolon başlığında 4. bölümde belirtildiği gibi üç farklı göçme modu oluşabilir.

- Göçme modu 1: Başlığın tamamen akması (İnce et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 M_{pl, rd} / m$$

$$F_{t, Rd} = 4 \cdot 259,84 / 0,024 = 43306,66 \text{ kg}$$

- Göçme modu 2: Başlığın ve bulonların beraber akması

$$F_{t, Rd} = \frac{2M_{pl, rd} + n \sum B_{t, Rd}}{m + n}$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub} / \gamma_{mb}$$

$$A_s = \text{Bulon etkin gövde alanı} = \pi d_r^2 / 4 \quad (d_r = \sqrt{0,78} \cdot d)$$

$$A_s = \pi \cdot (0,78 \cdot 2^2) / 4 = 245 \text{ mm}^2$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^5 / 1,25 = 14112 \text{ kg}$$

T eşdeğer uç bölgesinin sınırları içersinde 2 sıra bulon bulunmaktadır

$$F_{ep, Rd} = \frac{2 \cdot 259,84 + 2 \cdot 14112 \cdot 0,05}{0,01} = 26092,97 \text{ kg}$$

- Göçme modu 3: Bulonların akması (Kalın et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 B_{Rd} = 4 * 14112 = 56448 \text{ kg}$$

Bu durumda çekme bölgesindeki kolon başlığının dayanımı:

$$F_{t, Rd} = 26092,97 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,85 b_{eff} t_{fc}^3 / m_c^3 = 0,85 * 0,246 * (0,013)^3 / (0,024)^3 = 0,034 \text{ m}$$

D.3.1.2 Çekme Bölgesinde Alın Levhası

Çekme başlığının üstünde kalan bulon sırası için :

T uç bölgesi efektif uzunluğu

$$l_{eff1} = 4m_x + 1,25 e_x$$

$$l_{eff2} = e_{ep} + 2m_x + 0,625 e_x$$

$$l_{eff3} = 0,5 b_p$$

$$l_{eff4} = 0,5w + 2m_x + 0,625e_x$$

$$m_x = 40 \text{ mm} \quad e_x = 40 \text{ mm} \quad e_{ep} = 40 \text{ mm} \quad b_p = 160 \text{ mm} \quad w = 80 \text{ mm}$$

$$l_{eff1} = 4 * 40 + 1,25 * 40 = 210$$

$$l_{eff2} = 40 + 2 * 40 + 0,625 * 40 = 145$$

$$l_{eff3} = 0,5 * 160 = 80 \text{ mm}$$

$$l_{eff4} = 0,5 * 80 + 2 * 40 + 0,625 * 40 = 145$$

$$l_{eff} = 80 \text{ mm}$$

$$M_{ep, Rd} = 0,080 * (0,02)^2 * 27.500.000 / (4 * 1,1) = 200 \text{ kgm}$$

1.Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 4 * 200 / 0,04 = 20000 \text{ kg}$$

2.Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = (2 * 200 + 2 * 14112 * 0,05) / 0,08 = 22640 \text{ kg}$$

3.Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 2 * B_{Rd} = 2 * 14112 = 28224 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{ep, Rd} = 20000 \text{ kg}$$

Çekme başlığının altında kalan bulon sırası için:

Eşdeğer uç bölgesi efektif genişliği:

$$l_{eff1} = \alpha m_{ep}$$

$$l_{eff2} = 2\pi m_{ep}$$

α katsayısının belirlenmesi:

$$\lambda_1 = m_y / (e_{ep} + m_y) \quad \lambda_2 = m_2 / (e_{ep} + m_2)$$

$$m_y = 37 \text{ mm} \quad m_2 = 50 \text{ mm} \quad e_{ep} = 40 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 37 / (40 + 37) = 0,480$$

$$\lambda_2 = 50 / (50 + 40) = 0,555$$

$$\alpha = 6$$

Bu durumda efektif uzunluk $l_{eff1} = 6 * 37 = 222 \text{ mm}$

Alın levhası dayanımı:

$$M_{pl, Rd} = l_{eff} t_f^2 f_y / 4\gamma_{m0} = 0,22 * (0,013)^2 * 27.500.000 / 4 * 1,1 = 232,37 \text{ kgm}$$

1.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd1} = 4 * 232,37 / 0,037 = 25121,62 \text{ kg}$$

2.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd2} = (2 * 232,37 + 2 * 14112 * 0,05) / (0,037 + 0,05) = 21562,53 \text{ kg}$$

3.Göçme modu için

$$F_{b, Rd3} = 2 * 14112 = 28224 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının altında kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 21562,53 \text{ kg}$$

Rijitlikler:

Çekme başlığının üstündeki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_x = 0,85 * 0,08 * (0,02)^3 / (0,04)^3 = 0,0085 \text{ m}$$

Çekme başlığının altındaki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_y = 0,85 * 0,22 * (0,02)^3 / (0,037)^3 = 0,029 \text{ m}$$

D.3.1.3 Çekme Bölgesinde Bulonlar

Çekme bölgesindeki bulonların dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 4B_{t, Rd}$$

$$F_{b, Rd} = 4 \cdot 14112 = 56448 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 3,2 A_s / L_b$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2 \quad L_b = 20 + 13 + 2 \cdot 4 + 0,5 \cdot (16+16) = 57 \text{ mm}$$

$$K = 3,2 \cdot 245 \cdot 10^{-3} / 57 = 0,01375$$

D.3.1.4 Çekme Bölgesinde Kolon Gövdesi

Çekme bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{cwt, Rd} = \rho_1 b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0}$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(b_{eff} t_{wc} / A_{vc})^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = 246 \text{ mm} \quad t_{wc} = 8 \text{ mm} \quad A_{vc} = 17,59 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(246 \cdot 8 / 1759)^2)^{0,5} = 0,62$$

$$F_{cwt, Rd} = 0,62 \cdot 0,246 \cdot 0,0080 \cdot 27500 \cdot 10^3 / 1,1 = 30504 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 \cdot 246 \cdot 8 \cdot 10^{-3} / 104 = 0,013 \text{ m}$$

D.3.2 Basınç Bölgesi

D.3.2.1 Basınç Bölgesinde Kolon Gövdesi

Basınç bölgesinde kolon gövdesinin dayanımı:

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \leq 0,67)$$

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} ((1 - (0,22 / \lambda_{wc})) / \lambda_{wc}) / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \geq 0,67)$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 \cdot (b_{effwc, c} d_c f_{ycw} / E t_{wc}^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{ep} + 5(t_{fc} + s) + s_p$$

$$b_{eff} = 8,5 + 2\sqrt{2} \cdot 7 + 5(13 + 15) + 40 = 210 \text{ mm}$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 \cdot (0,210 \cdot 0,104 \cdot 27.500.000 / 2,1 \cdot 10^{10} \cdot 0,008^2)^{0,5} = 0,62 < 0,67$$

$$k_{wc} = 1,25 - 0,5 \cdot \sigma_v / f_{ycw} \quad (\sigma_v = 0 \text{ alınır})$$

$k_{wc} = 1,25$ olur. Bu durumda $k_{wc} = 1$ alınır.

$$F_{cwc, Rd} = (1 \cdot 0,62 \cdot 0,210 \cdot 0,008 \cdot 27.500.000) / 1,1 = 25200 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 \cdot 210 \cdot 8 \cdot 10^{-3} / 104 = 0,011 \text{ m}$$

D.3.2.2 Basınç Bölgesinde Kiriş Başlığı

$$F_{bfc, Rd} = M_{b,Rd} / (h_b - t_{fb}) = W_{plb} * f_{yd} / \gamma_{m0}(h_b - t_{fb}) = 220,6 * 2750 / 1,1 * (20 - 0,85) = 28799 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = \infty$$

D.3.3 Kayma Bölgesi

D.3.3.1 Kayma Bölgesinde Kolon Gövdesi

Kayma bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{Rd,1} = V_{wc, Rd} / \beta = 0,9 A_{vc} f_{ywc} / \sqrt{3} \gamma_{m0} \beta = 0,9 * 17,59 * 2750 / \sqrt{3} * 1,1 * 1 = 23280,91 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,385 A_{vc} / \beta h = 0,385 * 17,59 * 10^{-4} / 1 * (16 - 1,3) * 10^{-2} = 0,0046 \text{ m}$$

Birleşimin Moment Dayanımı:

$$F_{Rd} = \min(F_{Rd, j}) = 20000 \text{ kg}$$

Birleşimin plastik moment dayanımı:

$$M_{Rd} = F_{Rd} h = 20000 * 0,20 = 4000 \text{ kgm}$$

Birleşimin rijitliği:

$$S_{j,ini} = \frac{Eh^2}{\sum_{i=1}^{i=8} \frac{1}{K_i}}$$

$$S_{j,ini} = \frac{2,1 * 10^{10} * 0,02^2}{\frac{1}{0,034} + \frac{1}{0,0085} + \frac{1}{0,029} + \frac{1}{0,01375} + \frac{1}{0,013} + \frac{1}{0,011} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{0,046}}$$

$$S_{j,ini} = 1574183,46 \text{ kgm/rad}$$

Üç ayrı birleşim için bulunan bu üç dönme rijitliği değeri SAP 2000 analiz programının 9.sürümünde bulunan kısmi rijitlik (partial fixity) özelliği sayesinde düğüm noktalarına yay katsayısı olarak etkililmiş ve sistem yeniden analiz edilmiştir. Sistemdeki elemanlarda bu yeni analiz sonuçlarına göre kesit tahkikleri yapılacaktır.

D.4 X Doğrultusundaki Ana Kirişlerin Boyutlandırılması

X doğrultusunda kolonlara **rijit olarak bağlanan** kirişlerin enkesit eğilme dayanımı Tablo D.1 ve Tablo D.2’de, kullanma sınır durumu kontrolü Tablo D.3’de verilmiştir.

Örnek teşkil etmesi amacı ile K11 kirişinin boyutlandırma hesap detayları verilecektir.

(Frame 128–132 IPE200)

Tablo D.1 X yönü Kirişleri Kesme Kuvveti Kontrolü

KİRİŞ ADI	YÜKLEME	FRAME	KESİT TÜRÜ	V_{sd} (kg)	$V_{pl,rd}$ (kg)	$V_{sd} / V_{pl,rd}$
K1	COMB1	158	IPE200	1609,17	20207,26	0,080
K2	COMB14	468	IPE300	7676,53	32958,68	0,233
K3	COMB1	162	IPE200	1609,21	20207,26	0,080
K4	COMB1	596	IPE200	1492,13	20207,26	0,074
K5	COMB14	470	IPE300	12794,42	32958,68	0,388
K6	COMB1	597	IPE200	1491,89	20207,26	0,074
K7	COMB1	688	IPE200	1505,03	20207,26	0,074
K8	COMB14	472	IPE300	13939,03	32958,68	0,423
K9	COMB1	689	IPE200	1504,44	20207,26	0,074
K10	COMB1	117	IPE200	3049,85	20207,26	0,151
K11	COMB1	128	IPE200	3031,78	20207,26	0,150
K12	COMB1	133	IPE200	3049,86	20207,26	0,151
K13	COMB1	590	IPE200	2858,31	20207,26	0,141
K14	COMB1	592	IPE200	2862,97	20207,26	0,142
K15	COMB1	593	IPE200	2858,23	20207,26	0,141
K16	COMB1	682	IPE200	2871,83	20207,26	0,142
K17	COMB1	684	IPE200	2863,03	20207,26	0,142
K18	COMB1	685	IPE200	2871,61	20207,26	0,142
K19	COMB1	143	IPE200	3049,87	20207,26	0,151
K20	COMB1	148	IPE200	3031,78	20207,26	0,150
K21	COMB1	152	IPE200	3049,96	20207,26	0,151
K22	COMB1	584	IPE200	2858,44	20207,26	0,141
K23	COMB1	586	IPE200	2871,65	20207,26	0,142
K24	COMB1	587	IPE200	2862,84	20207,26	0,142
K25	COMB1	676	IPE200	2871,97	20207,26	0,142
K26	COMB1	678	IPE200	2930,17	20207,26	0,145
K27	COMB1	679	IPE200	1605,88	20207,26	0,079
K28	COMB1	53	IPE200	1561,36	20207,26	0,077
K29	COMB14	450	IPE300	7757,31	32958,68	0,235
K30	COMB1	54	IPE200	1561,21	20207,26	0,077
K31	COMB1	580	IPE200	1477,34	20207,26	0,073
K32	COMB15	452	IPE300	12795,34	32958,68	0,388
K33	COMB1	581	IPE200	1477,46	20207,26	0,073
K34	COMB1	672	IPE200	1479,92	20207,26	0,073
K35	COMB15	454	IPE300	13883,16	32958,68	0,421
K36	COMB1	673	IPE200	1480,41	20207,26	0,073

Tablo D.2 X yönü Kirişleri Eğilme Dayanımı Kontrolü

KİRİŞ ADI	YÜKLEME	FRAME	KESİT TÜRÜ	M _{sd} (kgm)	M _{PL,Rd} (kgm)	M _{sd} / M _{PL,Rd}
K1	COMB1	158	IPE200	1694,25	5515	0,307
K2	COMB14	468	IPE300	2598,62	13710,5	0,190
K3	COMB1	162	IPE200	1694,38	5515	0,307
K4	COMB1	596	IPE200	1602,66	5515	0,291
K5	COMB14	470	IPE300	4158,21	13710,5	0,303
K6	COMB1	597	IPE200	1601,83	5515	0,290
K7	COMB1	688	IPE200	1606,96	5515	0,291
K8	COMB14	472	IPE300	4556,21	13710,5	0,332
K9	COMB1	689	IPE200	1604,86	5515	0,291
K10	COMB1	117	IPE200	3314,97	5515	0,601
K11	COMB1	128	IPE200	3297,78	5515	0,598
K12	COMB1	133	IPE200	3315,01	5515	0,601
K13	COMB1	590	IPE200	3087,75	5515	0,560
K14	COMB1	592	IPE200	3112,84	5515	0,564
K15	COMB1	593	IPE200	3087,46	5515	0,560
K16	COMB1	682	IPE200	3122,91	5515	0,566
K17	COMB1	684	IPE200	3113,95	5515	0,565
K18	COMB1	685	IPE200	3122,13	5515	0,566
K19	COMB1	143	IPE200	3315,07	5515	0,601
K20	COMB1	148	IPE200	3297,79	5515	0,598
K21	COMB1	152	IPE200	3315,38	5515	0,601
K22	COMB1	584	IPE200	3087,54	5515	0,560
K23	COMB1	586	IPE200	3112,58	5515	0,564
K24	COMB1	587	IPE200	3088,18	5515	0,560
K25	COMB1	676	IPE200	3122,27	5515	0,566
K26	COMB1	678	IPE200	3113,27	5515	0,565
K27	COMB1	679	IPE200	3123,38	5515	0,566
K28	COMB1	53	IPE200	1589,57	5515	0,288
K29	COMB14	450	IPE300	2599,1	13710,5	0,190
K30	COMB1	54	IPE200	1589,03	5515	0,288
K31	COMB1	580	IPE200	1563,29	5515	0,283
K32	COMB15	452	IPE300	4158,28	13710,5	0,303
K33	COMB1	581	IPE200	1563,7	5515	0,284
K34	COMB1	672	IPE200	1549,87	5515	0,281
K35	COMB15	454	IPE300	4539,16	13710,5	0,331
K36	COMB1	673	IPE200	1551,57	5515	0,281

D.4.1 Kullanma Sınır Durumuna Göre:

Kirişte oluşan maksimum düşey deplasman $\delta = 0,0144$ m (Joint 309 COMB30)

$0,0144$ m $< 0,028$ m Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

D.4.2. Taşıma Sınır Durumuna Göre:

D.4.2.1 Enkesit Eğilme Dayanımı

IPE200 Kesit özellikleri

$H = 200$ mm $b = 100$ mm $t_f = 8,5$ mm $t_w = 5,6$ mm $W_{pl} = 220,6$ cm³ $d = 159$ mm

$A_v = 14$ cm² $F = 28,48$ cm²

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$f_y = 2,75 \cdot 10^7$ kg/m² (Malzeme ST44)

$\epsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$

Başlık : $(b/2) / t_f = 50 / 8,5 = 5,88 < 10\epsilon = 9,2$ I.sınıf

Gövde: $d/t_w = 159 / 5,6 = 28,39 < 72 \epsilon = 66,24$ I.sınıf

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir. $\gamma_{m0} = 1,1$

IPE200 kirişi enkesit eğilme dayanımına göre tahkik edilecektir.

$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{m0}$

$M_{pl,rd} = 220,6 \cdot 10^{-6} * 2,75 \cdot 10^7 / 1,1$

$M_{pl,rd} = 5515$ kgm

$V_{pl,rd} = A_v * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{m0}$

$V_{pl,rd} = 14 * 10^{-4} * (2,75 \cdot 10^7 / \sqrt{3}) / 1,1 = 20207,26$ kg

Kesit Tesirleri:

$M_{sd} = 3297,78$ kgm $V_{sd} = 3031,78$ kg (COMB1)

$V_{sd} / V_{pl, rd} = 3031,78 / 20207,26 = 0,15 < 0,5$ olduğundan W_{pl} plastik mukavemet momentinde azaltma yapmaya gerek yoktur.

$M_{sd} / M_{pl, rd} = 3297,78 / 5515 = 0,60 < 1$

D.4.2.2 Yanal Burkulma Hesabı

Yanal Burkulma Tasarım Moment Değeri:

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl, y} * f_y / \gamma_{m1}$$

Tablo D.3 X yönü Kirişleri Kullanma Sınır Durumuna Göre Kontrolü

KİRİŞ ADI	YÜKLEME	JOINT NO	$\delta_{\max}$	δ	$\delta / \delta_{\max}$
K1	COMB29	316	0,028	0,009286	0,332
K2	COMB27	241	0,028	0,0015	0,054
K3	COMB30	317	0,028	0,009287	0,332
K4	COMB29	359	0,028	0,0077	0,275
K5	COMB30	242	0,028	0,0015	0,054
K6	COMB29	360	0,028	0,0077	0,275
K7	COMB28	405	0,028	0,0078	0,279
K8	COMB29	243	0,028	0,001	0,036
K9	COMB27	406	0,028	0,0078	0,279
K10	COMB28	306	0,028	0,0146	0,521
K11	COMB27	309	0,028	0,0144	0,514
K12	COMB27	310	0,028	0,0146	0,521
K13	COMB29	356	0,028	0,0133	0,475
K14	COMB30	357	0,028	0,0134	0,479
K15	COMB29	358	0,028	0,0133	0,475
K16	COMB29	402	0,028	0,013	0,464
K17	COMB30	403	0,028	0,0129	0,461
K18	COMB28	404	0,028	0,0129	0,461
K19	COMB30	313	0,028	0,0146	0,521
K20	COMB30	314	0,028	0,0144	0,514
K21	COMB30	315	0,028	0,0146	0,521
K22	COMB28	353	0,028	0,0133	0,475
K23	COMB30	354	0,028	0,0134	0,479
K24	COMB30	355	0,028	0,0134	0,479
K25	COMB30	399	0,028	0,013	0,464
K26	COMB30	400	0,028	0,01287	0,460
K27	COMB30	401	0,028	0,013	0,464
K28	COMB30	311	0,028	0,0086	0,307
K29	COMB29	235	0,028	0,0015	0,054
K30	COMB27	312	0,028	0,0086	0,307
K31	COMB30	351	0,028	0,0074	0,264
K32	COMB27	236	0,028	0,0015	0,054
K33	COMB27	352	0,028	0,0074	0,264
K34	COMB28	397	0,028	0,0074	0,264
K35	COMB27	237	0,028	0,001	0,036
K36	COMB27	398	0,028	0,0073	0,261

$$\beta_w = 1 \text{ I.sınıf enkesit} \quad \gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/k_w)^2 I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1 \quad k_w = 1 \quad \phi = 1 \quad C_1 = 1 \quad I_z = 142,4 \text{ cm}^4 \quad I_w = 12,99 * 10^3 \text{ cm}^6 \quad I_t = 6,98 \text{ cm}^4 \quad L = 7 \text{ m}$$

$$E = 2,1 * 10^{10} \text{ kg/m}^2$$

$$M_{cr} = 1923 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,18 \quad x_{LT} = 1 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{bd} = 1 M_{pl} > 0,6 M_{sd}$$

D.4.2.3 Kesme Burkulması Hesabı

Berkitmesiz gövde için:

$$d / t_w = 159 / 5,6 = 28,39 < 69 \epsilon = 63,48$$

Kesme burkulması hesabına gerek yoktur.

D.4.2.4 Azaltılmış Flanş Burkulması Hesabı

$$d / t_w < k * (E / f_{yf}) * [A_w / A_{fc}]^{0,5}$$

$$k = 0,3 \text{ I.sınıf enkesit } A_w = 8,90 \text{ cm}^2 \quad A_{fc} = 9,80 \text{ cm}^2$$

$$0,3 * (2,1 * 10^{10} / 2,75 * 10^7) * (8,9 * 10^{-4} / 9,8 * 10^{-4})^{0,5} = 218,32 > 63,48$$

Basınç başlığı flanş gövde düzlemi içersinde kalmaktadır

Tali kirişler ve Y doğrultusundaki kirişler mafsallı olarak tasarlandığından dolayı yarı rijit düğüm noktalı sistemde tekrar kesit tahkiki yapılmasına gerek yoktur. Nitekim kesit tesirleri ve deplasmanlarında değişiklik gözlemlenmemiştir.

D.5 Kolonların Boyutlandırılması

D.5.1 S4 (HEB160) Kolonunun Boyutlandırılması (Frame 85–87)

D.5.1.1 Kullanma Sınır Durumuna Göre

Kolon boyunca oluşan yatay deplasmanlar:

$$1. \text{ Katta} \quad \delta = 1,517 * 10^{-3} \text{ m} < 3 / 300 = 0,01 \text{ m} \quad (\text{Joint 71 COMB28})$$

$$2. \text{ Katta} \quad \delta = 3,19 * 10^{-3} \text{ m} < 6 / 300 = 0,02 \text{ m} \quad (\text{Joint 72 COMB28})$$

$$3. \text{ Katta} \quad \delta = 4,42 * 10^{-3} \text{ m} < 9 / 500 = 0,018 \text{ m} \quad (\text{Joint 60 COMB28})$$

Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

D.5.1.2 Taşıma Sınır Durumuna Göre

Kolonların potansiyel göçme modu yanal burkulma olduğu için sağlanması gerekli kriter:

$$N_{sd} / (x_y * A * f_y / \gamma_{m1}) + k_{lt} * M_{ysd} / (x_{lt} * W_{ply} * f_y / \gamma_{m1}) \leq 1$$

$$k_{lt} = 1 - (\mu_{LT} * N_{sd} / x_y * A * f_y) \quad k_{lt} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 * \lambda_y' * \beta_{MLT} - 0,15 \quad \mu_{LT} \leq 0,90$$

β_{MLT} ; eşdeğer üniform azaltma katsayısı

x_y ; y-y eksenine bağlı azaltma katsayısı

HEB 160 Kesit Özellikleri:

$$W_{el,y} = 311,5 \text{ cm}^3 \quad W_{pl,y} = 354 \text{ cm}^3 \quad h = 160 \text{ mm} \quad b = 160 \text{ mm}$$

$$t_f = 13 \text{ mm} \quad t_w = 8 \text{ mm} \quad F = 54,25 \text{ cm}^2 \quad i_y = 6,78 \text{ cm} \quad i_z = 4,05 \text{ cm}$$

$$I_w = 4,794 * 10^4 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 31,24 \text{ cm}^4 \quad I_y = 2492 \text{ cm}^4 \quad I_z = 889,2 \text{ cm}^4$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 * 10^7 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{Malzeme ST44})$$

$$\varepsilon = (2,35 * 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 80/13 = 6,15 < 10\varepsilon = 9,2 \quad \text{I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 104/8 = 13 < 72 \quad \varepsilon = 66,24 \quad \text{I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir.

Kesit Tesirleri:

$$M_{üst} = -1409,80 \text{ kgm} \quad N = -23768,84 \text{ kg} \quad M_{alt} = 313,61 \text{ kgm} \quad (\text{COMB1})$$

Öncellikle kolonun yanal burkulma tahkiki yapılacaktır.

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \quad \text{I.sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/k_w)^2 * I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1,0 \quad k_w = 1,0 \quad \varphi = M_{alt} / M_{üst} = 313,61 / -1409,80 = -0,222$$

$$C_1 = 1,75$$

$$M_{cr} = 46586,20 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,21 \quad x_{LT} = 0,98 \quad (\text{a eğrisi}) \quad (\text{Tablo 3.9})$$

$$M_{pl} = 354 \cdot 10^{-6} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl} = 8850 \text{ kgm}$$

$$M_{sd} / M_{pl} = 1409,80 / 8850 = 0,16$$

$$M_{brd} = 0,98 M_{pl} > M_{sd} = 0,16 M_{pl} \text{ Yanal burkulma tehlikesi yoktur.}$$

Kolonun y eksenini etrafındaki burkulma boyu S_{ky} için:

$$n_1 = 0 \text{ (Temele rijit bağlantı)}$$

$$n_2 = 2 \cdot 2492 / 3 / (2 \cdot 2492 / 3 + 1943 / 7) = 0,857$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(n_1 + n_2) + 0,055(n_1 + n_2)^2$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(0 + 0,857) + 0,055(0 + 0,857)^2 = 0,66$$

$$S_{ky} = 0,66 \cdot 3 = 1,98 \text{ m}$$

$$\lambda_y = S_{ky} / i_y = 1,98 / 0,0678 = 29,20$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 86,39$$

$$\lambda_y' = 29,20 / 86,39 = 0,338$$

$$k_z = 0,8 \text{ (Alt ankastre üst uç mafsallı) } S_{ky} = 0,8 \cdot 3 = 2,4 \text{ m}$$

$$\lambda_z = S_{kz} / i_z = 2,4 / 0,045 = 59,25$$

$$\lambda_z' = 59,25 / 86,39 = 0,685$$

HEB 160 için burkulma eğrisi tayini:

$h / b = 1 \text{ tf} = 13 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ olduğu için y-y eksenindeki burkulma eğrisi “c” eğrisi , z-z eksenindeki burkulma eğrisi “b” eğrisidir.

$$X_y = 0,96$$

$$X_z = 0,75$$

$$X_{min} = 0,75$$

b eğrisine ait hata katsayısı: $a = 0,34$ ’dür.

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,685 - 0,2) + 0,685^2) = 0,82$$

$$X_y = 1 / (0,82 + (0,82^2 - 0,685^2)^{0,5}) = 0,786$$

$$\beta_{MLT} = 1,8 - 0,7 \cdot \varphi = 1,955 \quad \mu_{LT} = 0,05 \quad k_{LT} = 0,99$$

$$A+B = 23768,84 / (0,786 \cdot 54,25 \cdot 10^{-4} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1) + 0,99 \cdot 1409,8 / (0,98 \cdot 354 \cdot 10^{-6} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1)$$

$$A+B = 0,223 + 0,160 = 0,383 < 1 \text{ ok.}$$

D.5.2 S5 (HEB260) Kolonunun Boyutlandırılması (Frame 55–57)

D.5.2.1 Kullanma Sınır Durumuna Göre

Kolon boyunca oluşan yatay deplasmanlar:

$$1. \text{ Katta} \quad \delta = 1,52 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 3 / 300 = 0,01 \text{ m} \quad (\text{Joint 46 COMB28})$$

$$2. \text{ Katta} \quad \delta = 3,20 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 6 / 300 = 0,02 \text{ m} \quad (\text{Joint 47 COMB28})$$

$$3. \text{ Katta} \quad \delta = 4,42 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 9 / 500 = 0,018 \text{ m} \quad (\text{Joint 41 COMB28})$$

Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

D.5.2.2 Taşıma Sınır Durumuna Göre

Kolonların potansiyel göçme modu yanal burkulma olduğu için sağlanması gerekli kriter:

$$N_{sd} / (x_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{m1}) + k_{lt} \cdot M_{ysd} / (x_{lt} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{m1}) \leq 1$$

$$k_{lt} = 1 - (\mu_{LT} \cdot N_{sd} / x_y \cdot A \cdot f_y) \quad k_{lt} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \lambda_y' \cdot \beta_{MLT} - 0,15 \quad \mu_{LT} \leq 0,90$$

β_{MLT} ; eşdeğer üniform azaltma katsayısı

x_y, y -y eksenine bağlı azaltma katsayısı

HEB 260 Kesit Özellikleri:

$$W_{el,y} = 1148 \text{ cm}^3 \quad W_{pl,y} = 1283 \text{ cm}^3 \quad h = 260 \text{ mm} \quad b = 260 \text{ mm}$$

$$t_f = 17,5 \text{ mm} \quad t_w = 10 \text{ mm} \quad F = 118,4 \text{ cm}^2 \quad i_y = 11,28 \text{ cm} \quad i_z = 6,58 \text{ cm}$$

$$I_w = 7,54 \cdot 10^5 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 123,8 \text{ cm}^4 \quad I_y = 14920 \text{ cm}^4 \quad I_z = 5135 \text{ cm}^4$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{Malzeme ST44})$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 130 / 17,5 = 7,43 < 10\varepsilon = 9,2 \quad \text{I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 177 / 10 = 17,7 < 72 \varepsilon = 66,24 \quad \text{I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir.

Kesit Tesirleri:

$$M_{üst} = 3180,36 \text{ kgm} \quad N = -43540,31 \text{ kg} \quad M_{alt} = -598,33 \text{ kgm} \quad (\text{COMB1})$$

Öncellikle kolonun yanal burkulma tahkiki yapılacaktır.

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl, y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \text{ I. sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/kw)^2 I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1,0 \quad kw = 1,0 \quad \varphi = M_{alt} / M_{üst} = -598,33 / 3180,36 = -0,19$$

$$C1 = 1,60$$

$$M_{cr} = 57267 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,79 \quad x_{LT} = 0,79 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{pl} = 1283 * 10^{-6} * 2,75 * 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl} = 32075 \text{ kgm}$$

$$M_{sd} / M_{pl} = 3180,36 / 32075 = 0,099$$

$$M_{brd} = 0,79 M_{pl} > M_{sd} = 0,099 M_{pl} \quad \text{Yanal burkulma tehlikesi yoktur.}$$

Kolonun y eksenini etrafındaki burkulma boyu S_{ky} için:

$$n_1 = 0 \text{ (Temele rijit bağlantı)}$$

$$n_2 = 2 * 19270 / 3 / (2 * 19270 / 3 + 1943 / 7) = 0,979$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(n_1 + n_2) + 0,055(n_1 + n_2)^2$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(0 + 0,979) + 0,055(0 + 0,979)^2 = 0,689$$

$$S_{ky} = 0,689 * 3 = 2,067 \text{ m}$$

$$\lambda_y = S_{ky} / i_y = 2,067 / 0,1128 = 18,32$$

$$\varepsilon = (2,35 * 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 86,39$$

$$\lambda_y' = 18,32 / 86,39 = 0,21$$

$$k_z = 0,8 \text{ (Alt ankastre üst uç mafsallı) } \quad S_{ky} = 0,8 * 3 = 2,4 \text{ m}$$

$$\lambda_z = S_{kz} / i_z = 2,4 / 0,0658 = 36,47$$

$$\lambda_z' = 36,47 / 86,39 = 0,42$$

HEB 260 için burkulma eğrisi tayini:

$h / b = 1 \quad t_f = 17,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ olduğu için y-y eksenindeki burkulma eğrisi “c” eğrisi , z-z eksenindeki burkulma eğrisi “b” eğrisidir.

$$X_y = 1 \quad X_z = 0,75$$

$$X_{\min} = 0,75$$

b eğrisine ait hata katsayısı: $a = 0,34$ 'dür.

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,42 - 0,2) + 0,42^2) = 0,625$$

$$X_y = 1 / (0,625 + (0,625^2 - 0,42^2)^{0,5}) = 0,573$$

$$\beta_{MLT} = 1,8 - 0,7 \cdot \phi = 1,933 \quad \mu_{LT} = 0,089 \quad k_{LT} = 1$$

$$A+B = 43540,31 / (0,573 \cdot 131,4 \cdot 10^{-4} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1) +$$

$$1 \cdot 3180,36 / (0,79 \cdot 1283 \cdot 10^{-6} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1)$$

$$A+B = 0,231 + 0,125 = 0,356 < 1 \text{ ok.}$$

D.5.3 S9 (HEB220) Kolonunun Boyutlandırılması (Frame 22–24)

D.5.3.1 Kullanma Sınır Durumuna Göre

Kolon boyunca oluşan yatay deplasmanlar:

$$1. \text{ Katta} \quad \delta = 1,524 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 3 / 300 = 0,01 \text{ m} \quad (\text{Joint 23 COMB28})$$

$$2. \text{ Katta} \quad \delta = 3,21 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 6 / 300 = 0,02 \text{ m} \quad (\text{Joint 24 COMB28})$$

$$3. \text{ Katta} \quad \delta = 4,439 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 9 / 500 = 0,018 \text{ m} \quad (\text{Joint 16 COMB28})$$

Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

D.5.3.2 Taşıma Sınır Durumuna Göre

Kolonların potansiyel göçme modu yanal burkulma olduğu için sağlanması gerekli kriter:

$$N_{sd} / (x_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{m1}) + k_{lt} \cdot M_{ysd} / (x_{lt} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{m1}) \leq 1$$

$$k_{lt} = 1 - (\mu_{LT} \cdot N_{sd} / x_y \cdot A \cdot f_y) \quad k_{lt} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \lambda_y \cdot \beta_{MLT} - 0,15 \quad \mu_{LT} \leq 0,90$$

β_{MLT} ; eşdeğer üniform azaltma katsayısı

x_y, y -y eksenine bağlı azaltma katsayısı

HEB 220 Kesit Özellikleri:

$$W_{el,y} = 735 \text{ cm}^3 \quad W_{pl,y} = 827 \text{ cm}^3 \quad h = 220 \text{ mm} \quad b = 220 \text{ mm}$$

$$t_f = 16 \text{ mm} \quad t_w = 9,5 \text{ mm} \quad F = 91,04 \text{ cm}^2 \quad i_y = 9,43 \text{ cm} \quad i_z = 5,59 \text{ cm}$$

$$I_w = 2,95 \cdot 10^5 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 76,57 \text{ cm}^4 \quad I_y = 8091 \text{ cm}^4 \quad I_z = 2843 \text{ cm}^4$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2 \text{ (Malzeme ST44)}$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 110/16 = 6,875 < 10\varepsilon = 9,2 \text{ I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 152 / 9,5 = 16 < 72 \varepsilon = 66,24 \text{ I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir.

Kesit Tesirleri:

$$M_{\text{üst}} = -1641 \text{ kgm} \quad N = -23483,26 \text{ kg} \quad M_{\text{alt}} = 319,75 \text{ kgm} \quad (\text{COMB1})$$

Öncellikle kolonun yanal burkulma tahkiki yapılacaktır.

$$M_{\text{brd}} = x_{lt} \cdot \beta_w \cdot W_{pl, y} \cdot f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \text{ I.sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} \cdot f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 \cdot (\pi^2 \cdot E \cdot I_z) / (kL)^2) \cdot [((k/k_w)^2 I_w + 0,039 \cdot (kL)^2 \cdot I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1,0 \quad k_w = 1,0 \quad \varphi = M_{\text{alt}} / M_{\text{üst}} = 319,75 / -1641 = -0,195$$

$$C_1 = 1,55$$

$$M_{cr} = 46615,82 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,488 \quad x_{LT} = 0,93 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{pl} = 827 \cdot 10^{-6} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl} = 20675 \text{ kgm}$$

$$M_{sd} / M_{pl} = 1641 / 20675 = 0,079$$

$$M_{brd} = 0,79 M_{pl} > M_{sd} = 0,079 M_{pl} \quad \text{Yanal burkulma tehlikesi yoktur.}$$

Kolonun y eksenini etrafındaki burkulma boyu S_{ky} için:

$$n_1 = 0 \text{ (Temele rijit bağlantı)}$$

$$n_2 = 2 \cdot 8091 / 3 / (2 \cdot 8091 / 3 + 1943 / 7) = 0,95$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(n_1 + n_2) + 0,055(n_1 + n_2)^2$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(0 + 0,95) + 0,055(0 + 0,95)^2 = 0,683$$

$$S_{ky} = 0,683 \cdot 3 = 2,05 \text{ m}$$

$$\lambda_y = S_{ky} / i_y = 2,05 / 0,0943 = 21,73$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 86,39$$

$$\lambda_y' = 21,73 / 86,39 = 0,25$$

$$k_z = 0,8 \text{ (Alt ankastre üst uç mafsallı) } \quad S_{ky} = 0,8 \cdot 3 = 2,4 \text{ m}$$

$$\lambda_z = S_{kz} / i_z = 2,4 / 0,0559 = 42,93$$

$$\lambda_z' = 42,93 / 86,39 = 0,496$$

HEB 220 için burkulma eğrisi tayini:

$h / b = 1$ $t_f = 16 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ olduğu için y-y eksenindeki burkulma eğrisi “c” eğrisi, z-z eksenindeki burkulma eğrisi “b” eğrisidir.

$$X_y = 0,98 \quad X_z = 0,884$$

$$X_{\min} = 0,884$$

b eğrisine ait hata katsayısı: $a = 0,34$ 'dür.

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,496 - 0,2) + 0,496^2) = 0,673$$

$$X_y = 1 / (0,673 + (0,673^2 - 0,496^2)^{0,5}) = 0,887$$

$$\beta_{MLT} = 1,8 - 0,7 \cdot \varphi = 1,94 \quad \mu_{LT} = 0 \quad k_{LT} = 1$$

$$A+B = 23483,26 / (0,887 \cdot 91,04 \cdot 10^{-4} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1) + \\ 1 \cdot 1641 / (0,93 \cdot 827 \cdot 10^{-6} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1)$$

$$A+B = 0,116 + 0,085 = 0,201 < 1 \text{ ok.}$$

Düşey çaprazlar da uçlarından mafsallı olarak teşkil edildiğinden kesit tesirlerinde ihmal edilebilecek bir değişim meydana gelmiştir bu yüzden tekrar kesit tahkikine gerek görülmemiştir.

E.ENDÜSTRİ YAPISINA AİT YÜK ANALİZİ

E.1 Zati Yükler

Çatı kaplaması (Alüminyum Sandviç Panel).....	25 kg/m ²
Aşık ağırlığı.....	10 kg/m ²
Aydınlatma, tesisat vs.....	15 kg/m ²
$\sum G = 50 \text{ kg/m}^2$	

Zati yükler çatı kirişlerine yayılı yük olarak etkitilecektir. Makas aralığı 5 m olduğu için:

Kenar çatı kirişlerine gelen zati yük:

$$G_1 = 50 * 2,5 = 125 \text{ kg/m}$$

Orta çatı kirişlerine gelen zati yük:

$$G_2 = 50 * 5 = 250 \text{ kg/m}$$

E.2 Kar Yüğü

$$P_{\text{KAR}} \dots\dots\dots 75 \text{ kg/m}^2$$

(TS 498 yük şartnamesine göre) [1]

Kenar çatı kirişlerine gelen kar yükü:

$$Q_1 = 75 * 2,5 = 187,5 \text{ kg/m}$$

Orta çatı kirişlerine gelen zati yük:

$$G_2 = 75 * 5 = 375 \text{ kg/m}$$

E.3 Rüzgâr Yüğü

Yapı yüksekliğı $H_N = 7,65 \text{ m} < 8 \text{ m}$ olduğı için $q = 50 \text{ kg/m}^2$ olarak alınmıştır (TS498). TS498 yük şartnamesine göre rüzgâr yükü:

$$W = c \cdot Q \cdot L$$

c: Katsayı

Q: Rüzgâr yükü (kg/m^2)

L: Yüğü alma aralığı (m)

Rüzgâr, endüstri yapısının yan cephelerinde estiğı yönde çarptığı yüzeýlerde basınç, diğeryüzeýlerde emme oluşturur. Çatıda ise her iki yüzde emme oluşturur. [1]

TS498 yük řartnamesine göre basınç oluşan yüzeýlerde $c=0,8$ emme oluşan yüzeýlerde $c=0,4$ alınır.

E.3.1 W_x (X doğrultusu Rüzgâr) Yükleme

Rüzgârın +X yönünde esmesi durumunda çarptığı yüzeýde kenar kolonlara gelecek olan rüzgâr kuvveti:

$$W = 0,8 \cdot 50 \cdot 2,5 = 100 \text{ kg/m}$$

Orta kolonlara gelen rüzgâr kuvveti:

$$W = 0,8 \cdot 50 \cdot 5 = 200 \text{ kg/m}$$

Diğeryüzeýde kenar kolonlara gelen rüzgâr kuvveti:

$$W = -0,4 \cdot 50 \cdot 2,5 = 50 \text{ kg/m}$$

Orta kolonlara gelen rüzgâr yükü:

$$W = -0,4 \cdot 50 \cdot 5 = -100 \text{ kg/m} \text{ (- işareti emme olduğunu göstermek içindir.)}$$

Estiğı yöndeki kenar çatı kirişine gelen rüzgâr kuvveti:

$$W = (1,2 \cdot \sin 8,53 - 0,4) \cdot 50 \cdot 2,5 = -0,22 \cdot 50 \cdot 2,5 = -27,5 \text{ kg/m}$$

Orta çatı kirişlerine gelen rüzgâr kuvveti:

$$W = -0,22 \cdot 50 \cdot 5 = -55 \text{ kg/m}$$

Diğeryüzeýdeki kenar çatı kirişine gelen rüzgâr kuvveti:

$$W = -0,4 \cdot 50 \cdot 2,5 = -50 \text{ kg/m}$$

Orta çatı kirişine gelen rüzgâr kuvveti:

$$W = -0,4 \cdot 50 \cdot 5 = -100 \text{ kg/m}$$

E.3.2 W_Y (Y doğrultusu Rüzgâr) Yükleme

Rüzgârın +Y yönünde esmesi durumunda çarptığı yüzeyde kenar kolonlara gelecek olan rüzgâr kuvveti:

$$W = 0,8 \cdot 50 \cdot 2,25 = 90 \text{ kg/m}$$

Orta kalkan cephe kolonlarına gelen rüzgâr kuvveti:

$$W = 0,8 \cdot 50 \cdot 5,5 = 180 \text{ kg/m}$$

Diğer yüzeyde kenar ana kolonlara gelen rüzgâr kuvveti:

$$W = -0,4 \cdot 50 \cdot 2,25 = -45 \text{ kg/m}$$

Orta kalkan cephe kolonlarına gelen rüzgâr kuvveti:

$$W = -0,4 \cdot 50 \cdot 5,5 = -90 \text{ kg/m}$$

E.4 Deprem Hesabı

$$V_t = \frac{W \cdot A}{R} \quad A = A_0 \cdot I \cdot S(T)$$

$$V_t = \frac{W \cdot A_0 \cdot I \cdot S(T)}{R}$$

W: Binanın toplam ağırlığı = G + nQ = 0,3

A₀: Etkin yer ivme katsayısı

I: Bina önem katsayısı

S(T) : Spektrum Katsayısı

R: Süneklik Katsayısı

A₀ = 0,4 (1. Derece Deprem Bölgesi)

I = 1 (Endüstri Yapısı)

Yerel zemin sınıfı Z₂ T_A = 0,15 sn T_B = 0,40 sn

S(T) spektrum katsayısının bulunması:

Yapının periyodu yaklaşık olarak T₁ = C_T · H_N^{3/4} formülü ile bulunaktır.

C_T: Birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan katsayı

H_N: Bina yüksekliği

X doğrultusunda C_T = 0,08 (Çelik çerçeve)

R = 8 (Çelik çerçeve) (Süneklik düzeyi yüksek sistem)

$$T_1 = 0,08 * 7,65^{3/4} = 0,368 \text{ sn}$$

$$T_A < T_1 < T_B \text{ olduğundan } S(T) = 2,5$$

Y doğrultusunda $C_T = 0,07$ (Dışmerkez çaprazlar)

$R = 7$ (Dışmerkez çaprazlar) (Süneklik düzeyi normal çerçeve)

$$T_1 = 0,07 * 7,65^{3/4} = 0,322 \text{ sn}$$

$$T_A < T_1 < T_B \text{ olduğundan } S(T) = 2,5$$

E.4.1 Bina Ağırlığının Bulunması

E.4.1.1. Panel Ağırlığı

Çatı paneli:

$$= 25 \text{ kg/m}^2 * 45 \text{ m} * 11,12 \text{ m} * 2 = 25020 \text{ kg}$$

Cephe panelleri:

$$= 25 \text{ kg/m}^2 * (45 + 22 + 45 + 22) * 7,65 = 25630 \text{ kg}$$

Toplam panel ağırlığı = 50650 kg

E.4.1.2 Aşık ve Kuşaklar

Çatı aşıkları ve cephe kuşakları NPU 120 profilinden teşkil edilecektir. Çatıda bina boyunca devam eden 14 sıra çatı aşığı vardır:

$$= 14 * 45 * 13,4 = 8442 \text{ kg}$$

Yan cephelerde bina boyunca devam eden toplam 5 sıra cephe kuşağı vardır:

$$= 5 * 45 * 13,4 * 2 = 6030 \text{ kg}$$

Kalkan cephelerde ise:

$$= 5 * 22 * 13,4 * 2 = 2948 \text{ kg}$$

E.4.1.3 Çatı çaprazları ve Düşey Çaprazlar

Çatı çaprazları 5" borudan ($D = 139,7 \text{ mm}$ ve $t = 4,85 \text{ mm}$) teşkil edilmiştir. Çapraz boyu 7,50 m alınırsa:

$$= 7,50 * 16 * 16,13 = 1935,6 \text{ kg}$$

Düşey çaprazlar çift NPU 160 profilinden teşkil edilmiştir. Düşey çapraz boyu da 6,40 m olarak alınırsa

$$= 6,40 * 2 * 8 * 18,8 = 1925 \text{ kg}$$

E.4.1.4 Kolonlar

Tüm ana kolonlarda HEB 320 profili kullanılmıştır.

$$= 6,0 * 20 * 127 = 15240 \text{ kg}$$

Cephe kolonlarında IPE 300 profili kullanılmıştır.

$$= 7,0 * 6 * 42,2 = 1772,40 \text{ m}$$

E.4.1.5 Çatı Kirişleri

Kenar çatı kirişleri IPE 300 profili, orta çatı kirişleri IPE 550 profilinden oluşturulmuştur.

$$= 4*11*42,2 + 16*11*106 = 20513 \text{ kg}$$

E.4.1.6 Çerçeve Kirişleri

Çerçeve kirişlerinde HE A 140 profili kullanılmıştır.

$$= 16*5*24,70 = 1976 \text{ kg}$$

$$\text{Bina toplam zati ağırlığı: } 1976 + 20513 + 1772,40 + 15240 + 1925 + 1935,6 + 2948 + 6030 + 8442 + 50650 = 111432 \text{ kg}$$

$$W = 111432 + 0,3*22*45*75 = 133707 \text{ kg}$$

E.4.5 X Doğrultusundaki Deprem Kuvveti

$$V_{tx} = 133707 * 0,4 * 1 * 2,5/8 = 16713 \text{ kg}$$

X doğrultusunda kenar çerçevelere gelen deprem yükü:

$$V_{tx,1} = (16713 / 9) * 0,5 = 929 \text{ kg}$$

X doğrultusunda ara çerçevelere gelen deprem yükü:

$$V_{tx,2} = (13660 / 9) = 1857 \text{ kg}$$

E.4.6 Y Doğrultusundaki Deprem Kuvveti

$$V_{ty} = 133707 * 0,4 * 1 * 2,5 / 7 = 19101 \text{ kg}$$

Y doğrultusunda kenar çerçevelere gelen deprem yükü:

$$V_{tx,1} = (19101 / 9) * 0,5 = 1061 \text{ kg}$$

X doğrultusunda ara çerçevelere gelen deprem yükü:

$$V_{tx,2} = (15610 / 8) = 2122 \text{ kg}$$

X ve Y doğrultularında her bir çerçeveye gelen deprem yükü, kolon uç noktalarına ve çatı kirişi mahya noktasına eşit olarak etkitilecektir.

F.ENDÜSTRİ YAPISINA AİT YÜKLEME KOMBİNASYONLARI

Endüstri yapısı Eurocode.3'e göre dizayn edileceğinden yükleme kombinasyonları da bu standarda uygun olarak alınmıştır. Eurocode 3'te kullanma ve taşıma sınır durumlarına göre ayrı kombinasyonlar tanımlanmaktadır.(Eurocode 3 -2.3.3.1)

F.1 Taşıma Sınır Durumu Kombinasyonları

1. COMB1: $1,35G + 1,5Q_{kar}$
2. COMB2: $1,35G + 1,5W_{X1}$
3. COMB3: $1,35G + 1,5W_{X2}$
4. COMB4: $1,35G + 1,35Q_{kar} + 1,35W_{X1}$
5. COMB5: $1,35G + 1,35Q_{kar} + 1,35W_{X2}$
6. COMB6: $1,35G + 1,35Q_{kar} + 1,35W_{Y1}$
7. COMB7: $1,35G + 1,35Q_{kar} + 1,35W_{Y2}$
8. COMB8: $1,35G + 1,5W_{Y2}$
9. COMB9: $1,35G + 1,5W_{Y1}$
10. COMB10: $1G + 1E_X$
11. COMB11: $1G - 1E_X$
12. COMB12: $1G + 1E_Y$
13. COMB13: $1G - 1E_Y$
14. COMB14: $1G + 0,45Q_{kar} + 1E_X$
15. COMB15: $1G + 0,45Q_{kar} - 1E_X$
16. COMB16: $1G + 0,45Q_{kar} + 1E_Y$
17. COMB17: $1G + 0,45Q_{kar} - 1E_Y$

F.2 Kullanma Sınır Durumu Kombinasyonları

18. COMB18: $1 G + 1 Q_{kar}$
19. COMB19: $1 G + 1 W_{X1}$
20. COMB20: $1 G + 1 W_{X2}$
21. COMB21: $1 G + 1 W_{Y1}$
22. COMB22: $1 G + 1 W_{Y2}$
23. COMB23: $1 G + 0,9 Q_{kar} + 0,9 W_{X1}$
24. COMB24: $1 G + 0,9 Q_{kar} + 0,9 W_{X2}$
25. COMB25: $1 G + 0,9 Q_{kar} + 0,9 W_{Y1}$
26. COMB26: $1 G + 0,9 Q_{kar} + 0,9 W_{Y2}$
27. COMB27: $1 G + 1 Q_{kar} + 1 E_X$
28. COMB28: $1 G + 1 Q_{kar} - 1 E_X$
29. COMB29: $1 G + 1 Q_{kar} + 1 E_Y$
30. COMB30: $1 G + 1 Q_{kar} - 1 E_Y$

G: Ölü Yükler Q_{kar} : Kar Yüğü (Hareketli Yüğü)

W_{X1} : +X Yönlündeki Rüzgar Yüğü W_{X2} : -X Yönlündeki Rüzgar Yüğü

W_{Y1} : +Y Yönlündeki Rüzgar Yüğü W_{Y2} : -Y Yönlündeki Rüzgar Yüğü

E_X : +X Yönlündeki Deprem Yüğü $-E_X$: -X Yönlündeki Deprem Yüğü

E_Y : +Y Yönlündeki Deprem Yüğü $-E_Y$: -Y Yönlündeki Deprem Yüğü

G.DÜĞÜM NOKTALARI RİJİT ENDÜSTRİ YAPISININ EUROCODE.3'E GÖRE HESABI

G.1 Çatı Kirişlerinin Boyutlandırılması

G.1.1 Kullanma Sınır Durumuna Göre:

Orta çatı kirişleri IPE550 profilinden teşkil edilmiştir. Orta çatı kirişlerinde oluşan maksimum düşey deplasman

$$\delta = 0,04782 \text{ m'dir.} \quad (\text{Frame 101 Joint 88 COMB30})$$

$$\delta = 0,04782 < \frac{22}{250} = 0,088 \text{ m } \delta < \delta_{\max} \text{ kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.}$$

Kenar çatı kirişlerinde IPE300 profili kullanılmıştır. Kenar çatı kirişlerinde oluşan maksimum düşey deplasman:

$$\delta = 0,000157 \text{ m'dir.} \quad (\text{Frame 90 Joint 3 COMB26})$$

$$\delta = 0,000157 < \frac{5,5}{250} = 0,022 \text{ m } \delta < \delta_{\max} \text{ kullanma sınır durumu şartı}$$

sağlanıyor.

G.1.2 Taşıma Sınır Durumuna Göre

G.1.2.1 Enkesit Eğilme Dayanımı

Orta çatı kirişleri; IPE550 Kesit özellikleri

$$H = 550 \text{ mm } b = 210 \text{ mm } t_f = 17,2 \text{ mm } t_w = 11,1 \text{ mm } W_{pl} = 2787 \text{ cm}^3 \text{ } d = 467,6 \text{ mm}$$

$$A_v = 72,34 \text{ cm}^2 \text{ } F = 134,4 \text{ cm}^2$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2 \text{ (Malzeme ST44)}$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 105 / 17,2 = 6,10 < 10\varepsilon = 9,2 \text{ I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 467,6 / 11,1 = 42,12 < 72 \varepsilon = 66,24 \text{ I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir. $\gamma_{m0} = 1,1$

IPE550 kirişi enkesit eğilme dayanımına göre tahkik edilecektir.

Maksimum Kesit Tesirleri

$$M_{sd} = 29969,05 \text{ kgm} \quad V_{sd} = 10378,1 \text{ kg (Frame 101 COMB1)}$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = 2787 * 10^{-6} * 2,75 * 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl,rd} = 69675 \text{ kgm}$$

$$V_{pl,rd} = A_v * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{m0}$$

$$V_{pl,rd} = 72,34 * 10^{-4} * (2,75 * 10^7 / \sqrt{3}) / 1,1 = 104413,80 \text{ kg}$$

$$V_{sd} / V_{pl,rd} = 10378,1 / 104413,80 = 0,1 < 0,50$$

Kirişin aldığı kesme kuvveti, kesme kuvveti taşıma dayanımının %50'sini aşmadığından kesit plastik mukavemet momentinde bir azaltma yapmaya gerek yoktur.

$$M_{sd} / M_{pl,rd} = 29969,05 / 69675 = 0,43$$

Kenar çatı kirişleri; IPE 300 kesit özellikleri:

$$H = 300 \text{ mm} \quad b = 150 \text{ mm} \quad t_f = 10,7 \text{ mm} \quad t_w = 7,1 \text{ mm} \quad W_{pl} = 628,4 \text{ cm}^3 \quad d = 248,6 \text{ mm}$$

$$A_v = 25,68 \text{ cm}^2 \quad F = 53,81 \text{ cm}^2$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 * 10^7 \text{ kg/m}^2 \text{ (Malzeme ST44)}$$

$$\varepsilon = (2,35 * 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 75 / 10,7 = 7,00 < 10\varepsilon = 9,2 \text{ I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 248,6 / 7,1 = 35,01 < 72 \varepsilon = 66,24 \text{ I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir. $\gamma_{m0} = 1,1$

IPE300 kirişi enkesit eğilme dayanımına göre tahkik edilecektir.

Maksimum Kesit Tesirleri

$$M_{sd} = 1357,85 \text{ kgm} \quad V_{sd} = 1413,74 \text{ kg (Frame 90 COMB1)}$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = 628,4 * 10^{-6} * 2,75 * 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl,rd} = 15709,95 \text{ kgm}$$

$$V_{pl,rd} = A_v * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{m0}$$

$$V_{pl,rd} = 25,68 * 10^{-4} * (2,75 * 10^7 / \sqrt{3}) / 1,1 = 37765,15 \text{ kg}$$

$$V_{sd} / V_{pl,rd} = 1413,74 / 37765,15 = 0,037 < 0,50$$

Kirişin aldığı kesme kuvveti, kesme kuvveti taşıma dayanımının %50'sini aşmadığından kesit plastik mukavemet momentinde bir azaltma yapmaya gerek yoktur.

$$M_{sd} / M_{pl,rd} = 1357,85 / 15709,95 = 0,086$$

G.1.2.2 Yanal Burkulma Hesabı

Orta çatı kirişler için yanal burkulma tasarım moment değeri:

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \text{ I. sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/k_w)^2 I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1 \quad k_w = 1 \quad \phi = 1 \quad C_1 = 1 \quad I_z = 2668 \text{ cm}^4 \quad I_w = 1,884 * 10^6 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 123,2 \text{ cm}^4 \quad L = 11 \text{ m} \quad E = 2,1 * 10^{10} \text{ kg/m}^2 \quad W_{pl} = 2787 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = 108705,45 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,84 \quad x_{LT} = 0,76 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{bd} = 0,76 M_{pl} > 0,43 M_{sd}$$

Kenar çatı kirişleri için yanal burkulma tasarım moment değeri:

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \text{ I. sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/k_w)^2 I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1 \quad k_w = 1 \quad \phi = 1 \quad C_1 = 1 \quad I_z = 603,8 \text{ cm}^4 \quad I_w = 1,259 * 10^5 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 20,12 \text{ cm}^4 \quad L = 11 \text{ m} \quad E = 2,1 * 10^{10} \text{ kg/m}^2 \quad W_{pl} = 628,2 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = 4364,80 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 1,99 \quad x_{LT} = 0,22 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{bd} = 0,22 M_{pl} > 0,086 M_{sd}$$

G.1.2.3 Kesme Burkulması Hesabı

IPE 550 çatı kirişinde berkitmesiz gövde için:

$$d / t_w = 467,6 / 11,1 = 42,13 < 69\varepsilon = 63,48$$

Kesme burkulması hesabına gerek yoktur.

IPE 300 çatı kirişinde berkitmesiz gövde için:

$$d / t_w = 248,6 / 7,1 = 35 < 69\varepsilon = 63,48$$

Kesme burkulması hesabına gerek yoktur.

G.1.2.4 Azaltılmış Flanş Burkulması Hesabı

$$d / t_w < k*(E / f_{yf}) * [A_w / A_{fc}]^{0,5}$$

$$k = 0,3 \text{ I.sınıf enkesit } A_w = 51,90 \text{ cm}^2 \text{ } A_{fc} = 41,25 \text{ cm}^2$$

$$0,3 * (2,1*10^{10} / 2,75*10^7) * (51,90*10^{-4} / 41,25*10^{-4})^{0,5} = 256,97 > 63,48$$

Basınç başlığı flanşı gövde düzlemi içersinde kalmaktadır.

Kenar çatı kirişleri IPE300'ler için

$$d / t_w < k*(E / f_{yf}) * [A_w / A_{fc}]^{0,5}$$

$$k = 0,3 \text{ I.sınıf enkesit } A_w = 17,65 \text{ cm}^2 \text{ } A_{fc} = 18,08 \text{ cm}^2$$

$$0,3 * (2,1*10^{10} / 2,75*10^7) * (17,65*10^{-4} / 18,08*10^{-4})^{0,5} = 226,35 > 63,48$$

Basınç başlığı flanşı gövde düzlemi içersinde kalmaktadır.

G.2 Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması

Y doğrultusunda kolonlara **mafsallı olarak bağlanan** HEA140 profilinden teşkil edilen kirişlerin boyutlandırılması da kullanma ve taşıma sınır durumlarına göre yapılacaktır.

G.2.1 Kullanma Sınır Durumuna Göre:

Kirişte oluşan maksimum düşey deplasman $\delta = 0,0016 \text{ m}$

(Frame 206 Joint 134 COMB29)

$$0,0016 \text{ m} < \frac{5}{250} = 0,020 \text{ m} \text{ Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.}$$

G.2.2 Taşıma Sınır Durumuna Göre:

G.2.2.1 Enkesit Eğilme Dayanımı

HEA140 Kesit özellikleri

$$H = 133 \text{ mm } b = 140 \text{ mm } t_f = 8,5 \text{ mm } t_w = 5,5 \text{ mm } W_{pl} = 173,5 \text{ cm}^3 \text{ } d = 92 \text{ mm}$$

$$A_v = 10,12 \text{ cm}^2 \text{ } F = 31,42 \text{ cm}^2$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2 \text{ (Malzeme ST44)}$$

$$\varepsilon = (235 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 70/8,5 = 8,23 < 10\varepsilon = 9,2 \text{ I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 92 / 5,5 = 16,73 < 72 \varepsilon = 66,24 \text{ I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir. $\gamma_{m0} = 1,1$

Kesit Tesirleri:

$$M_{sd} = 1562,61 \text{ kgm } V_{sd} = 6187,03 \text{ kg (Frame 206) (COMB17)}$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = 173,5 \cdot 10^{-6} * 2,75 \cdot 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl,rd} = 4337,50 \text{ kgm}$$

$$V_{pl,rd} = A_v * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{m0}$$

$$V_{pl,rd} = 10,12 \cdot 10^{-4} * (2,75 \cdot 10^7 / \sqrt{3}) / 1,1 = 14882,35 \text{ kg}$$

$V_{sd} / V_{pl,rd} = 6187,03 / 14882,35 = 0,416 < 0,5$ olduğundan W_{pl} plastik mukavemet momentinde azaltma yapmaya gerek yoktur.

$$M_{sd} / M_{pl,rd} = 1562,61 / 4337,50 = 0,36 < 1$$

G.2.2.2 Yanal Burkulma Hesabı

Yanal Burkulma Tasarım Moment Değeri:

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \quad \text{I.sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/k_w)^2 I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1 \quad k_w = 1 \quad \phi = 1 \quad C_1 = 1 \quad I_z = 389,3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \quad I_w = 1,506 \cdot 10^{-8} \text{ m}^6$$

$$I_t = 8,13 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \quad L = 5 \text{ m} \quad E = 2,1 \cdot 10^{10} \text{ kg/m}^2 \quad W_{pl} = 173,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{cr} = 7842,60 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,78 \quad x_{LT} = 0,79 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{bd} = 0,79 M_{pl, rd} > M_{sd} = 0,36 M_{pl, rd}$$

G.2.2.3 Kesme Burkulması Hesabı

Berkitmesiz gövde için:

$$d / t_w = 92 / 5,5 = 16,73 < 69 \varepsilon = 63,48$$

Kesme burkulması hesabına gerek yoktur.

G.2.2.4 Azaltılmış Flanş Burkulması Hesabı

$$d / t_w < k \cdot (E / f_{yf}) \cdot [A_w / A_{fc}]^{0,5}$$

$$k = 0,3 \text{ I.sınıf enkesit } A_w = 5,06 \text{ cm}^2 \quad A_{fc} = 13,18 \text{ cm}^2$$

$$0,3 \cdot (2,1 \cdot 10^{10} / 2,75 \cdot 10^7) \cdot (5,06 \cdot 10^{-4} / 13,18 \cdot 10^{-4})^{0,5} = 141,95 > 16,73$$

Basınç başlığı flanşı gövde düzlemi içersinde kalmaktadır.

G.3 Kolonların Boyutlandırılması

G.3.1. Kullanma Sınır Durumuna Göre

HEB320 profilinden teşkil edilen ana kolonların kullanma sınır durumuna göre kontrolü:

Kolon uç noktasında oluşan maksimum yatay deplasman:

$$\delta = 11,00 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 6 / 500 = 0,012 \text{ m} \quad (\text{Frame 61 Joint 77 COMB28})$$

Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

IPE300 profilinden teşkil edilen ana kolonların kullanma sınır durumuna göre kontrolü:

Kolon uç noktasında oluşan maksimum yatay deplasman:

$$\delta = 4,52 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 7,65 / 500 = 0,0153 \text{ m} \quad (\text{Frame 239 Joint 3 COMB28})$$

Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

G.3.2 Taşıma Sınır Durumuna Göre

Kolonların potansiyel göçme modu yanal burkulma olduğu için sağlanması gerekli kriter:

$$N_{sd} / (x_y * A * f_y / \gamma_{m1}) + k_{lt} * M_{ysd} / (x_{lt} * W_{ply} * f_y / \gamma_{m1}) \leq 1$$

$$k_{lt} = 1 - (\mu_{LT} * N_{sd} / x_y * A * f_y) \quad k_{lt} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 * \lambda_y' * \beta_{MLT} - 0,15 \quad \mu_{LT} \leq 0,90$$

β_{MLT} ; eşdeğer üniform azaltma katsayısı

x_y ; y-y eksenine bağlı azaltma katsayısı

HEB 320 Kesit Özellikleri:

$$W_{el,y} = 1926 \text{ cm}^3 \quad W_{pl,y} = 2149 \text{ cm}^3 \quad h = 320 \text{ mm} \quad b = 300 \text{ mm}$$

$$t_f = 20,5 \text{ mm} \quad t_w = 11,5 \text{ mm} \quad F = 161,30 \text{ cm}^2 \quad i_y = 13,82 \text{ cm} \quad i_z = 7,57 \text{ cm}$$

$$I_w = 2069 * 10^3 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 225,1 \text{ cm}^4 \quad I_y = 30820 \text{ cm}^4 \quad I_z = 9239 \text{ cm}^4$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 * 10^7 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{Malzeme ST44})$$

$$\varepsilon = (2,35 * 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 150/20,5 = 7,32 < 10\varepsilon = 9,2 \quad \text{I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 225 / 11,5 = 19,56 < 72 \varepsilon = 66,24 \quad \text{I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir.

Kesit Tesirleri:

$$M_{üst} = 29995,53 \text{ kgm} \quad N = -13003,67 \text{ kg} \quad M_{alt} = -19209,03 \text{ kgm}$$

(Frame 69 COMB1)

Öncellikle kolonun yanal burkulma tahkiki yapılacaktır.

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \quad \text{I.sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/k_w)^2 * I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1,0 \quad k_w = 1,0 \quad \varphi = M_{alt} / M_{üst} = -19209,03 / 29995,53 = -0,64$$

$$C_1 = 1,25$$

$$M_{cr} = 126548 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,68 \quad x_{LT} = 0,84 \quad (\text{a eğrisi}) \quad (\text{Tablo 3.9})$$

$$M_{pl} = 2149 * 10^{-6} * 2,75 * 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl} = 53725 \text{ kgm}$$

$$M_{sd} / M_{pl} = 299995,53 / 53725 = 0,56$$

$$M_{brd} = 0,84 M_{pl} > M_{sd} = 0,56 M_{pl} \text{ Yanal burkulma tehlikesi yoktur.}$$

Kolonun y eksenini etrafındaki burkulma boyu S_{ky} için:

$$n_1 = 0 \text{ (Temele rijit bağlantı)}$$

$$n_2 = 30820 / 6 / (30820/6 + 67120/11) = 0,46$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(n_1 + n_2) + 0,055(n_1 + n_2)^2$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(0 + 0,46) + 0,055(0 + 0,46)^2 = 0,576$$

$$S_{ky} = 0,566 \cdot 6 = 3,46 \text{ m}$$

$$\lambda_y = S_{ky} / i_y = 3,46 / 0,1382 = 25,03$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 86,39$$

$$\lambda_y' = 25,03 / 86,39 = 0,29$$

$$k_z = 1 \text{ (Alt ve üst uç mafsallı) } \quad S_{ky} = 1 \cdot 6 = 6 \text{ m}$$

$$\lambda_z = S_{kz} / i_z = 6 / 0,0758 = 79,26$$

$$\lambda_z' = 79,26 / 86,39 = 0,92$$

HEB 320 için burkulma eğrisi tayini:

$h / b = 1,06 < 1,2$ $t_f = 20,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ olduğu için y-y eksenindeki burkulma eğrisi “b” eğrisi , z-z eksenindeki burkulma eğrisi “c” eğrisidir.

$$X_y = 0,96 \quad X_z = 0,65$$

$$X_{min} = 0,65$$

c eğrisine ait hata katsayısı: $a = 0,49$ ’dür.

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,92 - 0,2) + 0,92^2) = 1,1$$

$$X_y = 1 / (1, 1 + (1, 1^2 - 0,92^2)^{0,5}) = 0,59$$

$$\beta_{MLT} = 1,8 - 0,7 \cdot \phi = 2,248 \quad \mu_{LT} = 0,16 \quad k_{LT} = 0,99$$

$$A+B = 13003,67 / (0,59 \cdot 161,3 \cdot 10^{-4} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1) + 0,99 \cdot 29995,53 / (0,84 \cdot 2149 \cdot 10^{-6} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1)$$

$$A+B = 0,054 + 0,658 = 0,708 < 1 \text{ ok.}$$

IPE 300 Kesit Özellikleri:

$$W_{el.y} = 1678 \text{ cm}^3 \quad W_{pl} = 628,4 \text{ cm}^3 \quad H = 300 \text{ mm} \quad b = 150 \text{ mm} \quad t_f = 10,7 \text{ mm} \\ t_w = 7,1 \text{ mm} \quad d = F = 53,81 \text{ cm}^2 \quad i_y = 12,46 \text{ cm} \quad i_z = 3,35 \text{ cm}$$

$$I_z = 603,8 \text{ cm}^4 \quad I_w = 1,259 \cdot 10^5 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 20,12 \text{ cm}^4 \quad L = 7,65 \text{ m}$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{Malzeme ST44})$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 75/10,7 = 7,00 < 10\varepsilon = 9,2 \quad \text{I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 248,6 / 7,1 = 35 < 72 \varepsilon = 66,24 \quad \text{I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir.

IPE 300 cephe kolonları basınç elemanı olarak boyutlandırılacaktır.

$$N_{sd} = -3406,6 \text{ kg}$$

$$\text{Burkulma boyları } S_{ky} = S_{kz} = 1 \cdot 7,65 = 7,65$$

$$\lambda_y = 765 / 12,46 = 61,40 \quad \lambda_z = 765 / 3,35 = 228,35$$

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 86,39$$

$$\text{Kıyaslama narinliği : } \lambda' = 228,35 / 86,39 = 2,64$$

$h / b = 2 > 1,2$ $t_f = 10,7 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$ olduğu için z-z eksenindeki burkulma eğrisi “b” eğrisidir.

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (2,64 - 0,2) + 2,64^2) = 4,4$$

$$X_y = 1 / (4,4 + (4,4^2 - 2,64^2)^{0,5}) = 0,13$$

Kesitin burkulma dayanımı:

$$N_{brd} = x \cdot \beta_a \cdot A \cdot f_y \cdot \gamma_{m1} = 0,13 \cdot 1 \cdot 53,81 \cdot 10^{-4} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1 = 17488 \text{ kg}$$

$$N_{sd} = -3406,6 \text{ kg} < N_{brd} = 17488 \text{ kg}$$

G.4 Düşey Çaprazların (Çift NPU 160) Boyutlandırılması (Frame 209)

Çaprazlar uçlarından mafsallı olarak teşkil edilmiştir. Bu yüzden normal kuvvete göre boyutlandırılacaklardır. Boyutlandırma Bölüm 3.3.5' te belirtilen hususlara göre yapılacaktır.

Kesit Tesiri:

$$N_{sd} = 7621,82 \text{ kg (COMB 17)}$$

NPU 160 Kesit Özellikleri

$$I_x = 925 \text{ cm}^4 \quad I_y = 85,3 \text{ cm}^4 \quad h = 160 \text{ mm} \quad t_f = 10,5 \text{ mm} \quad t_w = 7,5 \text{ mm}$$

$$F = 24 \text{ cm}^2 \quad i_x = 6,21 \text{ cm} \quad i_y = 1,89 \text{ cm}$$

$$I_{eff} = 0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_f + 2 \cdot \mu \cdot I_f$$

$$I_{eff} = 0,5 \cdot 9,32^2 \cdot 24 + 2 \cdot 1 \cdot 925 = 2892,35 \text{ cm}^4$$

$$i_0 = (0,5 \cdot I_{eff} / A_f)^{0,5} = (0,5 \cdot 2892,35 / 24) = 7,76 \text{ cm}$$

$$\lambda = l / i_0 = 640 / 7,76 = 82,45$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,92 = 86,39$$

$$\lambda' = \lambda / \lambda_1 = 82,45 / 86,39 = 0,95$$

NPU 160 kaynaklı kutu kesit için burkulma eğrisi “b” eğrisidir. (Tablo 3.8)

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,95 - 0,2) + 0,95^2) = 1,08$$

$$X = 1 / (1,08 + (1,08^2 - 0,95^2)^{0,5}) = 0,627$$

$$N_{b, Rd} = X \beta A_y / \gamma_{m1}$$

$$N_{b, Rd} = 0,627 \cdot 1 \cdot 48 \cdot 10^{-4} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1 = 75240 \text{ kg}$$

$$N_{b, Rd} > N_{sd} = 7621,82 \text{ kg}$$

G.5 Çatı Çaprazlarının (5” Boru) Boyutlandırılması (Frame 177)

Çatı çaprazlarında oluşan maksimum deplasman :

$$\delta = 0,026 \text{ m'dir.} \quad (\text{Frame 181 Joint 127 COMB30})$$

$$0,026 \text{ m} < \frac{7,45}{250} = 0,0298 \text{ m} \text{ Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.}$$

Çatı çaprazlarında uçlarından mafsallı olarak teşkil edilmiştir ve çatı çaprazları çekme çubuğu olarak tanımlanmıştır. Bu yüzden Bölüm 3.3.4.1’e göre boyutlandırılacaklardır.

Kesit Tesiri:

$$N_{sd} = 653,74 \text{ kg (COMB 9)}$$

5” Boru Kesit Özellikleri

$$F = 20,5 \text{ cm}^2 \quad D = 139,7 \text{ mm} \quad t=4,85 \text{ mm} \quad f_y = 2,4 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{Malzeme ST 37})$$

$$f_u = 3,7 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2$$

Enkesit sınıfı:

$$\varepsilon = (235 / f_y)^{0,5} = 0,99$$

$$d/t = 139,7 / 4,85 = 28,80 < 70 \quad \varepsilon^2 = 68,61 \quad \text{enkesit sınıfı 2} \quad \gamma_{m0} = 1,1$$

Burkulma eğrisi “a” eğrisi (Sıcakta çekilmiş tüp kesit)

Kesitin çekme kapasitesi:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{m0}$$

$$N_{pl,Rd} = 20,5 \cdot 10^{-4} \cdot 2,4 \cdot 10^7 / 1,1 = 44727 \text{ kg}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{m0}$$

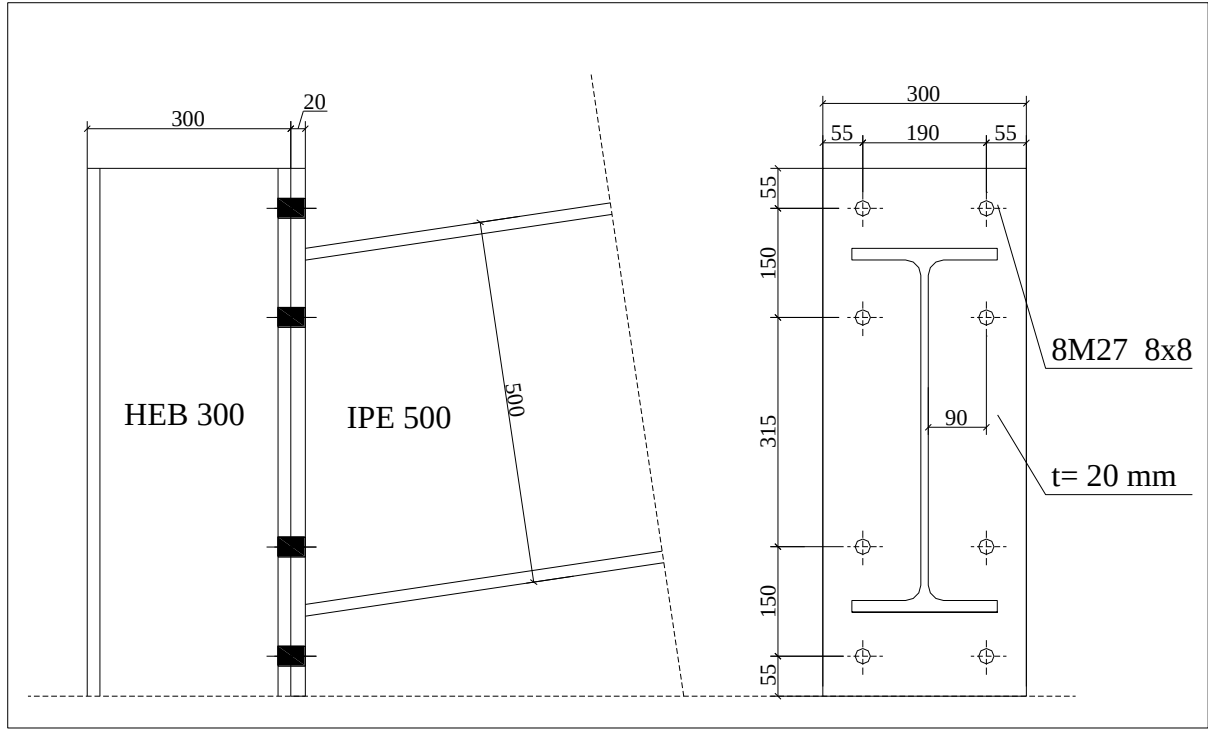
$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot 20,5 \cdot 10^{-4} \cdot 3,7 \cdot 10^7 / 1,1$$

$$N_{u,Rd} = 62059 \text{ kg}$$

Kesitin çekme kapasitesi bu değerlerden küçük olanına eşittir.

$$N_{sd} = 653,74 \text{ kg} < N_{pl,Rd} = 44727 \text{ kg}$$

H.DÜĞÜM NOKTALARI YARI-RİJİT ALIN LEVHALI ENDÜSTRİ YAPISININ EUROCODE.3'E GÖRE HESABI



Şekil H.1 HEB 300 – IPE 500 Birleşimi

H.1 HEB300 – IPE500 Birleşimi

Birleşim çekme, kayma ve basınç bölgesi olmak üzere üç bölgeye ayrılacak ve herbir bölgedeki bileşenlerin rijitlikleri hesap edilecektir

H.1.1 Çekme Bölgesi

H.1.1.1 Çekme Bölgesinde Kolon Başlığı:

Bölüm 4'te belirtildiği gibi kolon başlığının plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl,rd} = l_{eff} * t_f^2 * f_y / 4 * \gamma_{m0}$$

Çekmede kolon başlığının efektif genişliği:

$$l_{eff} = 4m + 1,25e$$

$$m = g/2 - t_w/2 - 0,8 * r_c \quad (g: \text{Bulon eksenleri arası uzaklık})$$

$$m = \frac{190}{2} - \frac{11}{2} - 0,8 * 27$$

$$m = 68 \quad e = 55$$

$$l_{eff} = 4 * 68 + 1,25 * 55 = 340,75 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 0,5p + 2m + 0,625e$$

$$l_{eff} = 0,5 * 150 + 2 * 68 + 0,625 * 55 = 245,38 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 2\pi m = 427,26 \text{ mm}$$

l_{eff} efektif genişlik bu değerlerden minimum olan 245,38 mm değeridir. Fakat bu değer tek bir bulon sırası için bulunan değerdir. İki sıra bulon için:

$$l_{eff} = 2 * 245,38 = 490,76 \text{ mm}$$

Plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl, rd} = 0,49 * (0,019)^2 * 27,5 * 10^6 / 4 * 1,1 = 1105,6 \text{ kg m} \quad (\text{Malzeme ST44})$$

Çekme bölgesinde kolon başlığında 4. bölümde belirtildiği gibi üç farklı göçme modu oluşabilir.

- Göçme modu 1: Başlığın tamamen akması (İnce et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 M_{pl, rd} / m$$

$$F_{t, Rd} = 4 * 1105,6 / 0,068 = 65033 \text{ kg}$$

- Göçme modu 2: Başlığın ve bulonların beraber akması

$$F_{t, Rd} = \frac{2M_{pl, rd} + n \sum B_{t, Rd}}{m + n}$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 * A_s * f_{ub} / \gamma_{mb}$$

$$A_s = \text{Bulon etkin gövde alanı} = \pi d_r^2 / 4 \quad (d_r = \sqrt{0,78 * d})$$

$$A_s = \pi * (0,78 * 27^2) / 4 = 446,60 \text{ mm}^2$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 * 446,60 * 10^{-6} * 800 * 10^5 / 1,25 = 25724,16 \text{ kg}$$

T eşdeğer uç bölgesinin sınırları içersinde 2 sıra bulon bulunmaktadır

$$F_{t, Rd} = \frac{2 * 1105,6 + 2 * 25724,16 * 0,055}{0,068 + 0,055}$$

$$F_{t, Rd} = 40983 \text{ kg}$$

- Göçme modu 3: Bulonların akması (Kalın et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 B_{Rd} = 4 * 25724,16 = 102896,64 \text{ kg}$$

Bu durumda çekme bölgesindeki kolon başlığının dayanımı:

$$F_{t, Rd} = 40983 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,85 \cdot b_{eff} \cdot t_{fc}^3 / m_c^3 = 0,85 * 0,49 * (0,019)^3 / (0,068)^3 = 0,009 \text{ m}$$

H.1.1.2 Çekme Bölgesinde Alın Levhası

Çekme bölgesinde alın levhasının dayanımı hesaplanırken kiriş çekme başlığının altında ve üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgeleri ayrı ayrı ele alınır. [1]

Çekme başlığının üstünde kalan bulon sırası için :

T uç bölgesi efektif uzunluğu

$$l_{eff1} = 4m_x + 1,25 e_x$$

$$l_{eff2} = e_{ep} + 2m_x + 0,625 e_x$$

$$l_{eff3} = 0,5 b_p$$

$$l_{eff4} = 0,5w + 2m_x + 0,625e_x$$

$$m_x = 55 \text{ mm} \quad e_x = 55 \text{ mm} \quad e_{ep} = 55 \text{ mm} \quad b_p = 300 \text{ mm} \quad w = 170 \text{ mm}$$

$$l_{eff1} = 4 * 55 + 1,25 * 55 = 288,75$$

$$l_{eff2} = 55 + 2 * 55 + 0,625 * 55 = 199,37$$

$$l_{eff3} = 0,5 * 300 = 150 \text{ mm}$$

$$l_{eff4} = 0,5 * 190 + 2 * 55 + 0,625 * 55 = 239,38$$

$$l_{eff} = 150 \text{ mm}$$

$$M_{ep, Rd} = 0,15 * (0,02)^2 * 27.500.000 / (4 * 1,1) = 375 \text{ kgm}$$

1. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 4 * 375 / 0,055 = 27273 \text{ kg}$$

2. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = \frac{2 * 375 + 2 * 25724,16 * 0,055}{0,11} = 32542 \text{ kg}$$

3. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 2 * B_{Rd} = 2 * 25724,16 = 51448,32 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{ep, Rd} = 27273 \text{ kg}$$

Çekme başlığının altında kalan bulon sırası için:

Eşdeğer uç bölgesi efektif genişliği:

$$l_{eff1} = \alpha m_{ep}$$

$$l_{eff2} = 2\pi m_{ep}$$

α katsayısının belirlenmesi:

$$\lambda_1 = m_y / (e_{ep} + m_y) \quad \lambda_2 = m_2 / (e_{ep} + m_2)$$

$$m_y = 90 \text{ mm} \quad m_2 = 55 \text{ mm} \quad e_{ep} = 55 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 90 / (55 + 90) = 0,62$$

$$\lambda_2 = 55 / (55 + 55) = 0,50$$

$$\alpha = 5$$

Bu durumda efektif uzunluk $l_{eff1} = 5 * 90 = 450 \text{ mm}$

Alın levhası dayanımı:

$$M_{pl, Rd} = l_{eff} t_f^2 f_y / 4\gamma_{m0} = 0,45 * (0,02)^2 * 27.500.000 / 4 * 1,1 = 1125 \text{ kgm}$$

1.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd1} = 4 * 1125 / 0,09 = 50000 \text{ kg}$$

2.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd2} = \frac{2 * 1125 + 2 * 25724,16 * 0,055}{0,09 + 0,055} = 35032 \text{ kg}$$

3.Göçme modu için

$$F_{b, Rd3} = 2 * 25724,16 = 51448,32 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının altında kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 35032 \text{ kg}$$

Rijitlikler:

Çekme başlığının üstündeki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_x = 0,85 * 0,15 * (0,02)^3 / (0,055)^3 = 0,0061 \text{ m}$$

Çekme başlığının altındaki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_y = 0,85 * 0,45 * (0,02)^3 / (0,09)^3 = 0,0042 \text{ m}$$

H.1.1.3 Çekme Bölgesinde Bulonlar

Çekme bölgesindeki bulonların dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 4B_{t,Rd}$$

$$F_{b, Rd} = 4 \cdot 25724,16 = 102896,64 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 3,2 A_s / L_b$$

$$A_s = 446,60 \text{ mm}^2 \quad L_b = 20 + 19 + 2 \cdot 5 + 0,5 \cdot (22+22) = 71 \text{ mm}$$

$$K = 3,2 \cdot 446,6 \cdot 10^{-3} / 71 = 0,020$$

H.1.1.4 Çekme Bölgesinde Kolon Gövdesi

Çekme bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{cwt, Rd} = \rho_1 b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0}$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(b_{eff} t_{wc} / A_{vc})^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = 490,76 \text{ mm} \quad t_{wc} = 11 \text{ mm} \quad A_{vc} = 47,43 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(490,76 \cdot 11 / 4743)^2)^{0,5} = 0,61$$

$$F_{cwt, Rd} = 0,61 \cdot 0,491 \cdot 0,011 \cdot 27500 \cdot 10^3 / 1,1 = 82365,25 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 \cdot 491 \cdot 11 \cdot 10^{-3} / 208 = 0,018$$

H.1.2 Basınç Bölgesi

H.1.2.1 Basınç Bölgesinde Kolon Gövdesi

Basınç bölgesinde kolon gövdesinin dayanımı:

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \leq 0,67)$$

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} ((1 - (0,22 / \lambda_{wc})) / \lambda_{wc}) / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \geq 0,67)$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 \cdot (b_{effwc, c} d_c f_{ycw} / E t_{wc}^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{ep} + 5(t_{fc} + s) + s_p$$

$$b_{eff} = 16 + 2\sqrt{2} \cdot 7 + 5(19 + 27) + 40 = 229,60 \text{ mm}$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 \cdot (0,23 \cdot 0,028 \cdot 27.500.000 / 2,1 \cdot 10^{10} \cdot 0,011^2)^{0,5} = 0,52 < 0,67$$

$$k_{wc} = 1,25 - 0,5 \cdot \sigma_v / f_{ycw} \quad (\sigma_v = 0 \text{ alınır})$$

$k_{wc} = 1,25$ olur. Bu durumda $k_{wc} = 1$ alınır.

$$F_{cwc, Rd} = 1 \cdot 0,52 \cdot 0,23 \cdot 0,011 \cdot 27.500.000 / 1,1 = 32890 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 \cdot 286 \cdot 11 \cdot 10^{-3} / 208 = 0,01$$

H.1.2.1 Basınç Bölgesinde Kiriş Başlığı

$$F_{bfc, Rd} = M_{b,Rd} / (h_b - t_{fb}) = W_{plb} * f_{yd} / \gamma_{m0}(h_b - t_{fb}) = 2194 * 2750 / 1,1 * (50 - 1,6) = 113326,44 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = \infty$$

H.1.2 Kayma Bölgesi

H.1.2.1 Kayma Bölgesinde Kolon Gövdesi

Kayma bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{Rd,1} = V_{wc, Rd} / \beta = 0,9 A_{vc} f_{ywc} / \sqrt{3} \gamma_{m0} \beta = 0,9 * 47,43 * 2750 / \sqrt{3} * 1,1 * 1 = 62775 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,385 A_{vc} / \beta h = 0,385 * 47,43 * 10^{-2} / 1 * (50 - 1,6) = 0,0038 \text{ m}$$

Birleşimin Moment Dayanımı:

$$F_{Rd} = \min(F_{Rd, j}) = 27273 \text{ kg}$$

Birleşimin plastik moment dayanımı:

$$M_{Rd} = F_{Rd} h = 27273 * 0,50 = 13636,5 \text{ kgm}$$

Birleşimin rijitliği:

$$S_{j,ini} = \frac{Eh^2}{\sum_{i=1}^{i=8} \frac{1}{K_i}}$$

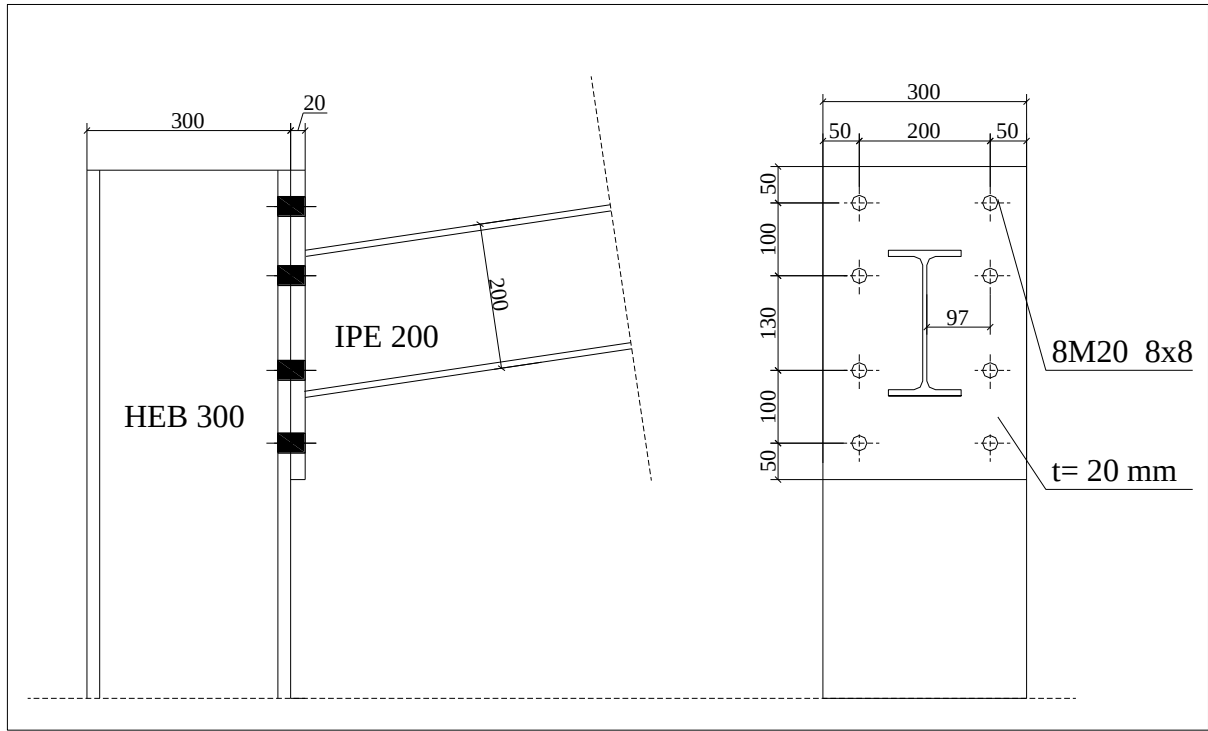
$$S_{j,ini} = \frac{2,1 * 10^{10} * 0,5^2}{\frac{1}{0,009} + \frac{1}{0,0061} + \frac{1}{0,0042} + \frac{1}{0,02} + \frac{1}{0,018} + \frac{1}{0,01} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{0,0038}}$$

$$S_{j,ini} = 5347026 \text{ kgm/rad}$$

$$EI_b / L_b = 2,1 * 10^{10} * 48200 * 10^{-8} / 11 = 920181,81$$

$$0,5 * EI_b / L_b = 460090,90 \text{ kgm/rad} \quad 8 * EI_b / L_b = 7361454,50 \text{ kgm/rad}$$

$$460090,90 < 5347026 < 7361454,50 \quad \text{Birleşim yarı rijittir.}$$



Şekil H.2 HEB 280 – IPE 200 Birleşimi

H.2 HEB300 – IPE200 Birleşimi

Birleşim çekme, kayma ve basınç bölgesi olmak üzere üç bölgeye ayrılacak ve her bir bölgedeki bileşenlerin rijitlikleri hesap edilecektir

H.2.1 Çekme Bölgesi

H.2.1.1 Çekme Bölgesinde Kolon Başlığı:

Bölüm 4’te belirtildiği gibi kolon başlığının plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl, rd} = l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / 4 \cdot \gamma_{m0}$$

Çekmede kolon başlığının efektif genişliği:

$$l_{eff} = 4m + 1,25e$$

$$m = g/2 - t_w/2 - 0,8 \cdot r_c \quad (g: \text{Bulon eksenleri arası uzaklık})$$

$$m = \frac{200}{2} - \frac{11}{2} - 0,8 \cdot 27$$

$$m = 73 \quad e = 50$$

$$l_{eff} = 4 \cdot 73 + 1,25 \cdot 50 = 354,50 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 0,5p + 2m + 0,625e$$

$$l_{eff} = 0,5 * 100 + 2 * 73 + 0,625 * 50 = 227,25 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 2\pi m = 458,67 \text{ mm}$$

l_{eff} efektif genişlik bu değerlerden minimum olan 227,25 mm değeridir. Fakat bu değer tek bir bulon sırası için bulunan değerdir. İki sıra bulon için:

$$l_{eff} = 2 * 227,25 = 454,5 \text{ mm}$$

Plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl, rd} = 0,45 * (0,019)^2 * 27,5 * 10^6 / 4 * 1,1 = 1015,35 \text{ kg m} \quad (\text{Malzeme ST44})$$

Çekme bölgesinde kolon başlığında 4. bölümde belirtildiği gibi üç farklı göçme modu oluşabilir.

- Göçme modu 1: Başlığın tamamen akması (İnce et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 M_{pl, rd} / m$$

$$F_{t, Rd} = 4 * 1015,35 / 0,073 = 55635,45 \text{ kg}$$

- Göçme modu 2: Başlığın ve bulonların beraber akması

$$F_{t, Rd} = \frac{2M_{pl, rd} + n \sum B_{t, Rd}}{m + n}$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 * A_s * f_{ub} / \gamma_{mb}$$

$$A_s = \text{Bulon etkin gövde alanı} = \pi d_r^2 / 4 \quad (d_r = \sqrt{0,78 * d})$$

$$A_s = \pi * (0,78 * 2^2) / 4 = 245 \text{ mm}^2$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 * 245 * 10^{-6} * 800 * 10^5 / 1,25 = 14112 \text{ kg}$$

T eşdeğer uç bölgesinin sınırları içersinde 2 sıra bulon bulunmaktadır

$$F_{t, Rd} = \frac{2 * 1015,35 + 2 * 14112 * 0,050}{0,073 + 0,050}$$

$$F_{t, Rd} = 27983 \text{ kg}$$

- Göçme modu 3: Bulonların akması (Kalın et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 B_{Rd} = 4 * 14112 = 56448 \text{ kg}$$

Bu durumda çekme bölgesindeki kolon başlığının dayanımı:

$$F_{t, Rd} = 27983 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,85 b_{eff} t_{fc}^3 / m_c^3 = 0,85 * 0,45 * (0,019)^3 / (0,073)^3 = 0,0067 \text{ m}$$

H.2.1.2 Çekme Bölgesinde Alın Levhası

Çekme bölgesinde alın levhasının dayanımı hesaplanırken kiriş çekme başlığının altında ve üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgeleri ayrı ayrı ele alınır. [1]

Çekme başlığının üstünde kalan bulon sırası için:

T uç bölgesi efektif uzunluğu

$$l_{eff1} = 4m_x + 1,25 e_x$$

$$l_{eff2} = e_{ep} + 2m_x + 0,625 e_x$$

$$l_{eff3} = 0,5 b_p$$

$$l_{eff4} = 0,5w + 2m_x + 0,625e_x$$

$$m_x = 50 \text{ mm} \quad e_x = 50 \text{ mm} \quad e_{ep} = 50 \text{ mm} \quad b_p = 300 \text{ mm} \quad w = 200 \text{ mm}$$

$$l_{eff1} = 4 * 50 + 1,25 * 50 = 262,5$$

$$l_{eff2} = 50 + 2 * 50 + 0,625 * 50 = 181,25$$

$$l_{eff3} = 0,5 * 300 = 150 \text{ mm}$$

$$l_{eff4} = 0,5 * 200 + 2 * 55 + 0,625 * 55 = 244,38$$

$$l_{eff} = 150 \text{ mm}$$

$$M_{ep, Rd} = 0,15 * (0,02)^2 * 27.500.000 / (4 * 1,1) = 375 \text{ kgm}$$

4. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 4 * 375 / 0,050 = 30000 \text{ kg}$$

5. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = \frac{2 * 375 + 2 * 14112 * 0,050}{0,1} = 21612 \text{ kg}$$

6. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 2 * B_{Rd} = 2 * 14112 = 28224 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{ep, Rd} = 21612 \text{ kg}$$

Çekme başlığının altında kalan bulon sırası için:

Eşdeğer uç bölgesi efektif genişliği:

$$l_{eff1} = \alpha m_{ep}$$

$$l_{eff2} = 2\pi m_{ep}$$

α katsayısının belirlenmesi:

$$\lambda_1 = m_y / (e_{ep} + m_y) \quad \lambda_2 = m_2 / (e_{ep} + m_2)$$

$$m_y = 97 \text{ mm} \quad m_2 = 50 \text{ mm} \quad e_{ep} = 50 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 97 / (50 + 97) = 0,66$$

$$\lambda_2 = 50 / (50 + 50) = 0,50$$

$$\alpha = 5$$

Bu durumda efektif uzunluk $l_{eff1} = 5 * 97 = 485 \text{ mm}$

Alın levhası dayanımı:

$$M_{pl, Rd} = l_{eff} t_f^2 f_y / 4 \gamma_{m0} = 0,485 * (0,02)^2 * 27.500.000 / 4 * 1,1 = 1212,5 \text{ kgm}$$

1.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd1} = 4 * 1212,5 / 0,097 = 50000 \text{ kg}$$

2.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd2} = \frac{2 * 1212,5 + 2 * 14112 * 0,050}{0,097 + 0,050} = 26097 \text{ kg}$$

3.Göçme modu için

$$F_{ep, Rd} = 2 * B_{Rd} = 2 * 14112 = 28224 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının altında kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 26097 \text{ kg}$$

Rijitlikler:

Çekme başlığının üstündeki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_x = 0,85 * 0,15 * (0,02)^3 / (0,050)^3 = 0,0082 \text{ m}$$

Çekme başlığının altındaki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_y = 0,85 * 0,485 * (0,02)^3 / (0,097)^3 = 0,0036 \text{ m}$$

H.2.1.3 Çekme Bölgesinde Bulonlar

Çekme bölgesindeki bulonların dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 4 B_{t, Rd}$$

$$F_{b, Rd} = 4 * 14112 = 56448 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 3,2 A_s / L_b$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2 \quad L_b = 20 + 19 + 2*4 + 0,5 * (16+16) = 63 \text{ mm}$$

$$K = 3,2 * 245 * 10^{-3} / 63 = 0,01244$$

H.2.1.4 Çekme Bölgesinde Kolon Gövdesi

Çekme bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{cwt, Rd} = \rho_1 b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0}$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(b_{eff} t_{wc} / A_{vc})^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = 454,50 \text{ mm} \quad t_{wc} = 11 \text{ mm} \quad A_{vc} = 47,43 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(454,5 * 11 / 4743)^2)^{0,5} = 0,64$$

$$F_{cwt, Rd} = 0,64 * 0,4545 * 0,011 * 27500 * 10^3 / 1,1 = 79992 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 * 455 * 11 * 10^{-3} / 208 = 0,017$$

H.2.2 Basınç Bölgesi

H.2.2.1 Basınç Bölgesinde Kolon Gövdesi

Basınç bölgesinde kolon gövdesinin dayanımı:

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \leq 0,67)$$

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} ((1 - (0,22 / \lambda_{wc})) / \lambda_{wc}) / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \geq 0,67)$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 * (b_{effwc, c} d_c f_{ycw} / E t_{wc}^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{ep} + 5(t_{fc} + s) + s_p$$

$$b_{eff} = 8,5 + 2\sqrt{2} * 7 + 5(19 + 27) + 40 = 222 \text{ mm}$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 * (0,22 * 0,208 * 27.500.000 / 2,1 * 10^{10} 0,011^2)^{0,5} = 0,65 < 0,67$$

$$k_{wc} = 1,25 - 0,5 * \sigma_v / f_{ycw} \quad (\sigma_v = 0 \text{ alınır})$$

$k_{wc} = 1,25$ olur. Bu durumda $k_{wc} = 1$ alınır.

$$F_{cwc, Rd} = 1 * 0,65 * 0,23 * 0,011 * 27.500.000 / 1,1 = 4112,5 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 * 222 * 11 * 10^{-3} / 208 = 0,0082$$

H.2.2.1 Basınç Bölgesinde Kiriş Başlığı

$$F_{bfc, Rd} = M_{b, Rd} / (h_b - t_{fb}) = W_{plb} * f_{yd} / \gamma_{m0} (h_b - t_{fb}) = 220,6 * 2750 / 1,1 * (20 - 0,85) = 28799 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = \infty$$

H.2.2 Kayma Bölgesi

H.2.2.1 Kayma Bölgesinde Kolon Gövdesi

Kayma bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{Rd,1} = V_{wc, Rd} / \beta = 0,9 A_{vc} f_{ywc} / \sqrt{3} \gamma_{m0} \beta = 0,9 * 47,43 * 2750 / \sqrt{3} * 1,1 * 1 = 62775 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,385 A_{vc} / \beta h = 0,385 * 47,43 * 10^{-2} / 1 * (20 - 8,5) = 0,0158 \text{ m}$$

Birleşimin Moment Dayanımı:

$$F_{Rd} = \min(F_{Rd, j}) = 21612 \text{ kg}$$

Birleşimin plastik moment dayanımı:

$$M_{Rd} = F_{Rd} h = 21612 * 0,20 = 4322,40 \text{ kgm}$$

Birleşimin rijitliği:

$$S_{j,ini} = \frac{Eh^2}{\sum_{i=1}^{i=8} \frac{1}{K_i}}$$

$$S_{j,ini} = \frac{2,1 * 10^{10} * 0,2^2}{\frac{1}{0,0067} + \frac{1}{0,0082} + \frac{1}{0,0036} + \frac{1}{0,01244} + \frac{1}{0,017} + \frac{1}{0,0082} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{0,0158}}$$

$$S_{j,ini} = 961721 \text{ kgm/rad}$$

$$EI_b / L_b = 2,1 * 10^{10} * 1943 * 10^{-8} / 11 = 37094$$

$$0,5 * EI_b / L_b = 18547 \text{ kgm/rad} \quad 8 * EI_b / L_b = 296752 \text{ kgm/rad}$$

961721 > 296752 Birleşim rijittir.

Bulunan bu dönme rijitliği değeri SAP 2000 analiz programının 9.sürümünde bulunan kısmi rijitlik (partial fixity) özelliği sayesinde düğüm noktalarına yay katsayısı olarak etkililmiş ve sistem yeniden analiz edilmiştir. Sistemdeki elemanlarda bu yeni analiz sonuçlarına göre kesit tahkikleri yapılacaktır.

H.3 Kolonların Boyutlandırılması

H.3.1. Kullanma Sınır Durumuna Göre

HEB300 profilinden teşkil edilen ana kolonların kullanma sınır durumuna göre kontrolü:

Kolon uç noktasında oluşan maksimum yatay deplasman:

$$\delta = 17,00 * 10^{-3} \text{ m} > 6 / 500 = 0,012 \text{ m} \quad (\text{Frame 61 Joint 77 COMB28})$$

Kullanma sınır durumu şartı sağlanmamaktadır. Kolon kesitlerinin arttırılması gereklidir.

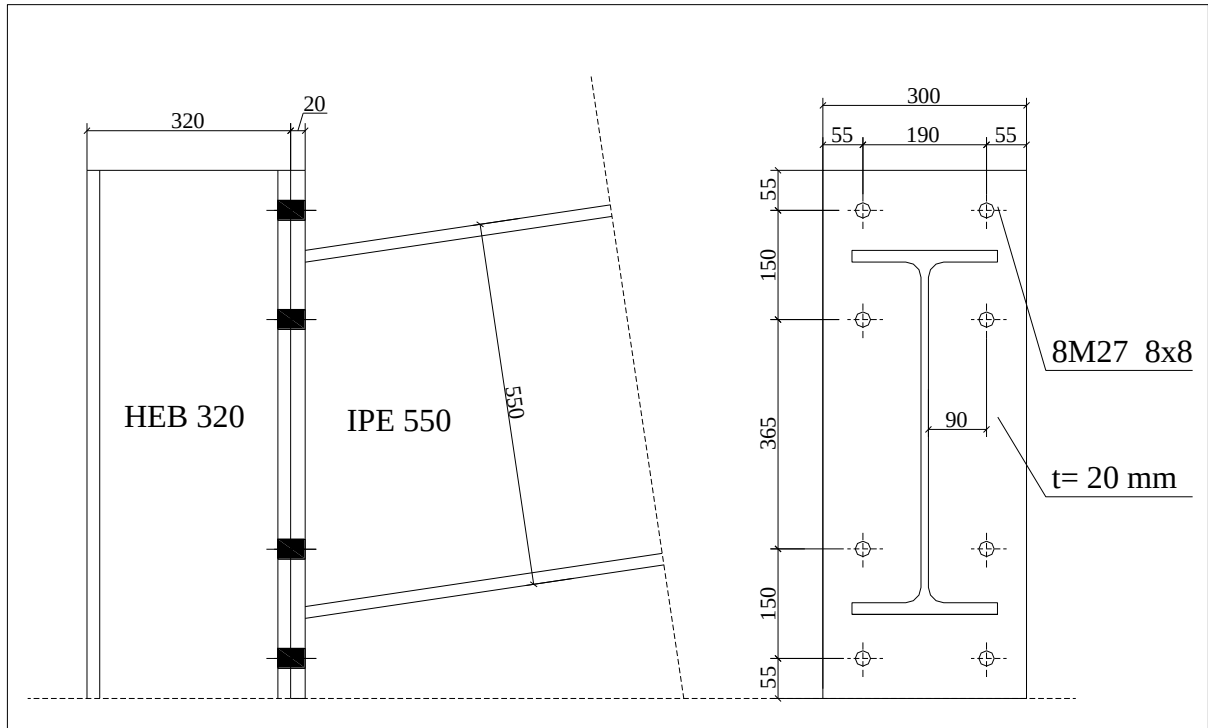
Ayrıca orta çatı kirişi kesitinin küçültülmesinden dolayı çatı çaprazlarında oluşan maksimum deplasman :

$$\delta = 0,03733 \text{ m'dir.}$$

(Frame 187 Joint 128 COMB30)

$$0,03733 \text{ m} > \frac{7,45}{250} = 0,0298 \text{ m Kullanma sınır durumu şartı sınırları aşılmaktadır.}$$

Bu durumda kolon ve kiriş kesitleri rijit sisteminki ile aynı seçilip yeni birleşim oluşturulacaktır.



Şekil H.3 HEB 320 – IPE 550 Birleşimi

H.4 HEB320 – IPE550 Birleşimi

Birleşim çekme, kayma ve basınç bölgesi olmak üzere üç bölgeye ayrılacak ve herbir bölgedeki bileşenlerin rijitlikleri hesap edilecektir

H.4.1 Çekme Bölgesi

H.4.1.1 Çekme Bölgesinde Kolon Başlığı:

Bölüm 4'te belirtildiği gibi kolon başlığının plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl,rd} = I_{eff} * t_f^2 * f_y / 4 * \gamma_{m0}$$

Çekmede kolon başlığının efektif genişliği:

$$l_{eff} = 4m + 1,25e$$

$$m = g/2 - t_w/2 - 0,8*r_c \quad (g: \text{Bulon eksenleri arası uzaklık})$$

$$m = \frac{190}{2} - \frac{11,5}{2} - 0,8*27$$

$$m = 68 \quad e = 55$$

$$l_{eff} = 4*68 + 1,25*55 = 340,75\text{mm}$$

$$l_{eff} = 0,5p + 2m + 0,625e$$

$$l_{eff} = 0,5*150 + 2*68 + 0,625*55 = 245,38 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 2\pi m = 427,26 \text{ mm}$$

l_{eff} efektif genişlik bu değerlerden minimum olan 245,38 mm değeridir. Fakat bu değer tek bir bulon sırası için bulunan değerdir. İki sıra bulon için:

$$l_{eff} = 2*245,38 = 490,76 \text{ mm}$$

Plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl,rd} = 0,49*(0,0205)^2*27,5*10^6/4*1,1 = 1287 \text{ kg m} \quad (\text{Malzeme ST44})$$

Çekme bölgesinde kolon başlığında 4. bölümde belirtildiği gibi üç farklı göçme modu oluşabilir.

- Göçme modu 1: Başlığın tamamen akması (İnce et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t,Rd} = 4 M_{pl,rd} / m$$

$$F_{t,Rd} = 4*1287/0,068 = 75703,21 \text{ kg}$$

- Göçme modu 2: Başlığın ve bulonların beraber akması

$$F_{t,Rd} = \frac{2M_{pl,rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m + n}$$

$$\sum B_{t,Rd} = 0,9*A_s*f_{ub} / \gamma_{mb}$$

$$A_s = \text{Bulon etkin gövde alanı} = \pi d_r^2/4 \quad (d_r = \sqrt{0,78*d})$$

$$A_s = \pi * (0,78*27^2) / 4 = 446,60 \text{ mm}^2$$

$$\sum B_{t,Rd} = 0,9*446,60*10^{-6}*800*10^5 / 1,25 = 25724,16 \text{ kg}$$

T eşdeğer uç bölgesinin sınırları içerisinde 2 sıra bulon bulunmaktadır

$$F_{t,Rd} = \frac{2*1287 + 2*25724,16*0,055}{0,068 + 0,055}$$

$$F_{t,Rd} = 43933 \text{ kg}$$

- Göçme modu 3: Bulonların akması (Kalın et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 B_{Rd} = 4 * 25724,16 = 102896,64 \text{ kg}$$

Bu durumda çekme bölgesindeki kolon başlığının dayanımı:

$$F_{t, Rd} = 43933 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,85 b_{eff} t_{fc}^3 / m_c^3 = 0,85 * 0,49 * (0,0205)^3 / (0,068)^3 = 0,011 \text{ m}$$

H.4.1.2 Çekme Bölgesinde Alın Levhası

Çekme bölgesinde alın levhasının dayanımı hesaplanırken kiriş çekme başlığının altında ve üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgeleri ayrı ayrı ele alınır. [1]

Çekme başlığının üstünde kalan bulon sırası için :

T uç bölgesi efektif uzunluğu

$$l_{eff1} = 4m_x + 1,25 e_x$$

$$l_{eff2} = e_{ep} + 2m_x + 0,625 e_x$$

$$l_{eff3} = 0,5 b_p$$

$$l_{eff4} = 0,5w + 2m_x + 0,625e_x$$

$$m_x = 55 \text{ mm} \quad e_x = 55 \text{ mm} \quad e_{ep} = 55 \text{ mm} \quad b_p = 300 \text{ mm} \quad w = 190 \text{ mm}$$

$$l_{eff1} = 4 * 55 + 1,25 * 55 = 288,75$$

$$l_{eff2} = 55 + 2 * 55 + 0,625 * 55 = 199,37$$

$$l_{eff3} = 0,5 * 300 = 150 \text{ mm}$$

$$l_{eff4} = 0,5 * 190 + 2 * 55 + 0,625 * 55 = 239,38$$

$$l_{eff} = 150 \text{ mm}$$

$$M_{ep, Rd} = 0,15 * (0,02)^2 * 27.500.000 / (4 * 1,1) = 375 \text{ kgm}$$

7. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 4 * 375 / 0,055 = 27273 \text{ kg}$$

8. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = \frac{2 * 375 + 2 * 25724,16 * 0,055}{0,11} = 32542 \text{ kg}$$

9. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 2 * B_{Rd} = 2 * 25724,16 = 51448,32 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{ep, Rd} = 27273 \text{ kg}$$

Çekme başlığının altında kalan bulon sırası için:

Eşdeğer uç bölgesi efektif genişliği:

$$l_{eff1} = \alpha m_{ep}$$

$$l_{eff2} = 2\pi m_{ep}$$

α katsayısının belirlenmesi:

$$\lambda_1 = m_y / (e_{ep} + m_y) \quad \lambda_2 = m_2 / (e_{ep} + m_2)$$

$$m_y = 90 \text{ mm} \quad m_2 = 55 \text{ mm} \quad e_{ep} = 55 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 90 / (55 + 90) = 0,62$$

$$\lambda_2 = 55 / (55 + 55) = 0,50$$

$$\alpha = 5$$

Bu durumda efektif uzunluk $l_{eff1} = 5 * 90 = 450 \text{ mm}$

Alın levhası dayanımı:

$$M_{pl, Rd} = l_{eff} t_{ep}^2 f_y / 4\gamma_{m0} = 0,45 * (0,02)^2 * 27.500.000 / 4 * 1,1 = 1125 \text{ kgm}$$

1.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd1} = 4 * 1125 / 0,09 = 50000 \text{ kg}$$

2.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd2} = \frac{2 * 1125 + 2 * 25724,16 * 0,055}{0,09 + 0,055} = 35032 \text{ kg}$$

3.Göçme modu için

$$F_{b, Rd3} = 2 * 25724,16 = 51448,32 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının altında kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 35032 \text{ kg}$$

Rijitlikler:

Çekme başlığının üstündeki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_x = 0,85 * 0,15 * (0,02)^3 / (0,055)^3 = 0,0061 \text{ m}$$

Çekme başlığının altındaki bölge için:

$$K = 0,85 b_{\text{eff}} t_{\text{ep}}^3 / m_y = 0,85 * 0,45 * (0,02)^3 / (0,09)^3 = 0,0042 \text{ m}$$

H.4.1.3 Çekme Bölgesinde Bulonlar

Çekme bölgesindeki bulonların dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 4 B_{t, Rd}$$

$$F_{b, Rd} = 4 * 25724,16 = 102896,64 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 3,2 A_s / L_b$$

$$A_s = 446,60 \text{ mm}^2 \quad L_b = 20 + 20,5 + 2*5 + 0,5 * (22+22) = 72,5 \text{ mm}$$

$$K = 3,2 * 446,6 * 10^{-3} / 72,5 = 0,0197$$

H.4.1.4 Çekme Bölgesinde Kolon Gövdesi

Çekme bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{cwt, Rd} = \rho_1 b_{\text{eff}} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0}$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(b_{\text{eff}} t_{wc} / A_{vc})^2)^{0,5}$$

$$b_{\text{eff}} = 490,76 \text{ mm} \quad t_{wc} = 11,5 \text{ mm} \quad A_{vc} = 51,77 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(490,76 * 11,5 / 5177)^2)^{0,5} = 0,63$$

$$F_{cwt, Rd} = 0,63 * 0,491 * 0,0115 * 27500 * 10^3 / 1,1 = 88932,37 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{\text{eff}} t_{wc} / d_c = 0,7 * 491 * 11,5 * 10^{-3} / 225 = 0,017$$

H.4.2 Basınç Bölgesi

H.4.2.1 Basınç Bölgesinde Kolon Gövdesi

Basınç bölgesinde kolon gövdesinin dayanımı:

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{\text{eff}} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \leq 0,67)$$

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{\text{eff}} t_{wc} f_{ycw} ((1 - (0,22 / \lambda_{wc})) / \lambda_{wc}) / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \geq 0,67)$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 * (b_{\text{eff}wc, c} d_c f_{ycw} / E t_{wc}^2)^{0,5}$$

$$b_{\text{eff}} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{ep} + 5(t_{fc} + s) + s_p$$

$$b_{\text{eff}} = 17,2 + 2\sqrt{2} * 7 + 5(20,5 + 27) + 40 = 232,30 \text{ mm}$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 * (0,23 * 0,225 * 27.500.000 / 2,1 * 10^{10} * 0,0115^2)^{0,5} = 0,66 < 0,67$$

$$k_{wc} = 1,25 - 0,5 * \sigma_v / f_{ycw} \quad (\sigma_v = 0 \text{ alınır})$$

$k_{wc} = 1,25$ olur. Bu durumda $k_{wc} = 1$ alınır.

$$F_{cwc, Rd} = 1 * 0,66 * 0,23 * 0,0115 * 27.500.000 / 1,1 = 43642,5 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 \, b_{\text{eff}} \, t_{\text{wc}} / d_c = 0,7 * 232,3 * 11,5 * 10^{-3} / 225 = 0,0083$$

H.4.2.2 Basınç Bölgesinde Kiriş Başlığı

$$F_{\text{bfc}, \text{Rd}} = M_{\text{b}, \text{Rd}} / (h_b - t_{\text{fb}}) = W_{\text{plb}} * f_{\text{yd}} / \gamma_{\text{m0}} (h_b - t_{\text{fb}}) = 2787 * 2750 / 1,1 * (55 - 1,72)$$

$$F_{\text{bfc}, \text{Rd}} = 130771,40 \, \text{kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = \infty$$

H.4.3 Kayma Bölgesi

H.4.3.1 Kayma Bölgesinde Kolon Gövdesi

Kayma bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{\text{Rd},1} = V_{\text{wc}, \text{Rd}} / \beta = 0,9 \, A_{\text{vc}} \, f_{\text{ywc}} / \sqrt{3} \, \gamma_{\text{m0}} \beta = 0,9 * 51,77 * 2750 / \sqrt{3} * 1,1 * 1 = 68519,1 \, \text{kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,385 \, A_{\text{vc}} / \beta \, h = 0,385 * 51,77 * 10^{-2} / 1 * (55 - 1,72) = 0,0037 \, \text{m}$$

Birleşimin Moment Dayanımı:

$$F_{\text{Rd}} = \min(F_{\text{Rd}, j}) = 27273 \, \text{kg}$$

Birleşimin plastik moment dayanımı:

$$M_{\text{Rd}} = F_{\text{Rd}} \, h = 27273 * 0,55 = 15000,15 \, \text{kgm}$$

Birleşimin rijitliği:

$$S_{j, \text{ini}} = \frac{Eh^2}{\sum_{i=1}^{i=8} \frac{1}{K_i}}$$

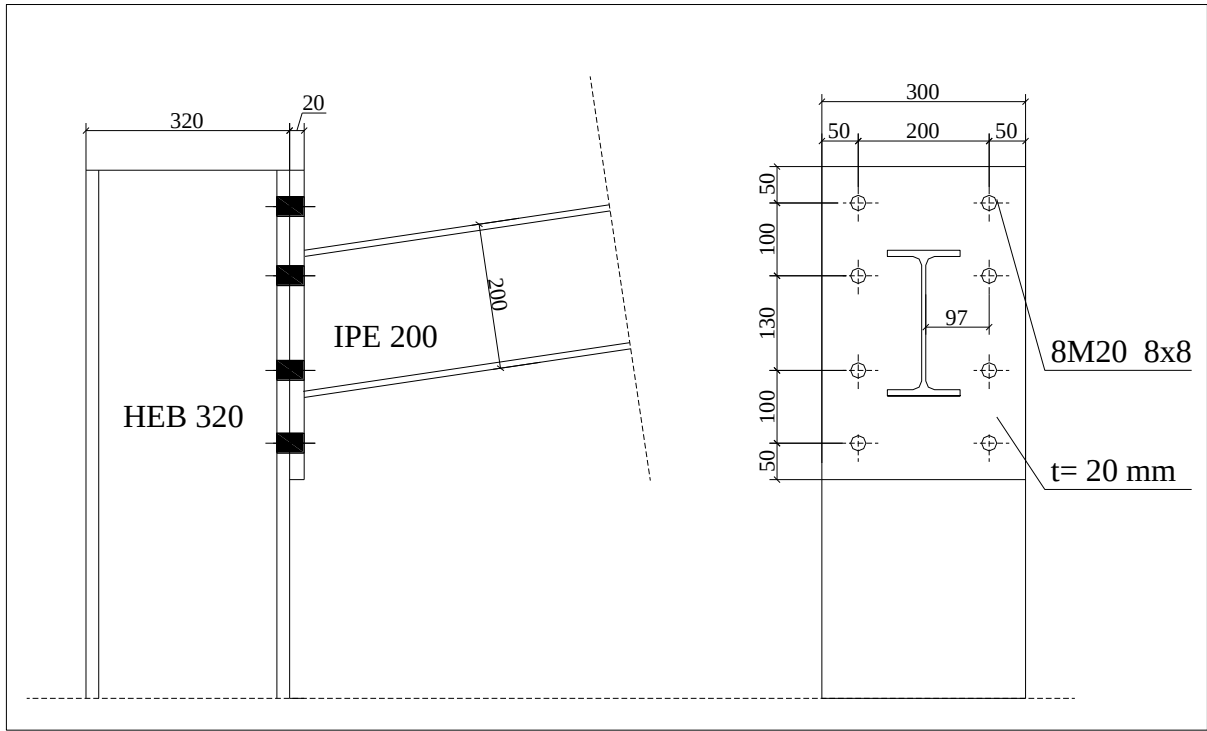
$$S_{j, \text{ini}} = \frac{2,1 * 10^{10} * 0,555^2}{\frac{1}{0,011} + \frac{1}{0,0061} + \frac{1}{0,0042} + \frac{1}{0,0197} + \frac{1}{0,017} + \frac{1}{0,0083} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{0,0037}}$$

$$S_{j, \text{ini}} = 6395504 \, \text{kgm/rad}$$

$$EI_b / L_b = 2,1 * 10^{10} * 67120 * 10^{-8} / 11 = 1281381,81$$

$$0,5 * EI_b / L_b = 640690,91 \, \text{kgm/rad} \quad 8 * EI_b / L_b = 10251054,54 \, \text{kgm/rad}$$

$$640690,91 < 6395504 < 10251054,54 \quad \text{Birleşim yarı rijittir.}$$



Şekil H.4 HEB 320 – IPE 200 Birleşimi

H.5 HEB300 – IPE200 Birleşimi

Birleşim çekme, kayma ve basınç bölgesi olmak üzere üç bölgeye ayrılacak ve herbir bölgedeki bileşenlerin rijitlikleri hesap edilecektir

H.5.1 Çekme Bölgesi

H.5.1.1 Çekme Bölgesinde Kolon Başlığı:

Bölüm 4’te belirtildiği gibi kolon başlığının plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl, rd} = l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / 4 \cdot \gamma_{m0}$$

Çekmede kolon başlığının efektif genişliği:

$$l_{eff} = 4m + 1,25e$$

$$m = g/2 - t_w/2 - 0,8 \cdot r_c \quad (g: \text{Bulon eksenleri arası uzaklık})$$

$$m = \frac{200}{2} - \frac{11,5}{2} - 0,8 \cdot 27$$

$$m = 73 \quad e = 50$$

$$l_{eff} = 4 \cdot 73 + 1,25 \cdot 50 = 354,50 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 0,5p + 2m + 0,625e$$

$$l_{eff} = 0,5 * 100 + 2 * 73 + 0,625 * 50 = 227,25 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 2\pi m = 458,67 \text{ mm}$$

l_{eff} efektif genişlik bu değerlerden minimum olan 227,25 mm değeridir. Fakat bu değer tek bir bulon sırası için bulunan değerdir. İki sıra bulon için:

$$l_{eff} = 2 * 227,25 = 454,5 \text{ mm}$$

Plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl, rd} = 0,45 * (0,0205)^2 * 27,5 * 10^6 / 4 * 1,1 = 1182 \text{ kg m} \quad (\text{Malzeme ST44})$$

Çekme bölgesinde kolon başlığında 4. bölümde belirtildiği gibi üç farklı göçme modu oluşabilir.

- Göçme modu 1: Başlığın tamamen akması (İnce et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 M_{pl, rd} / m$$

$$F_{t, Rd} = 4 * 1182 / 0,073 = 64767,12 \text{ kg}$$

- Göçme modu 2: Başlığın ve bulonların beraber akması

$$F_{t, Rd} = \frac{2M_{pl, rd} + n \sum B_{t, Rd}}{m + n}$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 * A_s * f_{ub} / \gamma_{mb}$$

$$A_s = \text{Bulon etkin gövde alanı} = \pi d_r^2 / 4 \quad (d_r = \sqrt{0,78 * d})$$

$$A_s = \pi * (0,78 * 2^2) / 4 = 245 \text{ mm}^2$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 * 245 * 10^{-6} * 800 * 10^5 / 1,25 = 14112 \text{ kg}$$

T eşdeğer uç bölgesinin sınırları içersinde 2 sıra bulon bulunmaktadır

$$F_{t, Rd} = \frac{2 * 1182 + 2 * 14112 * 0,050}{0,073 + 0,050}$$

$$F_{t, Rd} = 30693 \text{ kg}$$

- Göçme modu 3: Bulonların akması (Kalın et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 B_{Rd} = 4 * 14112 = 56448 \text{ kg}$$

Bu durumda çekme bölgesindeki kolon başlığının dayanımı:

$$F_{t, Rd} = 30693 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,85 b_{eff} t_{fc}^3 / m_c^3 = 0,85 * 0,45 * (0,0205)^3 / (0,073)^3 = 0,0085 \text{ m}$$

H.5.1.2 Çekme Bölgesinde Alın Levhası

Çekme bölgesinde alın levhasının dayanımı hesaplanırken kiriş çekme başlığının altında ve üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgeleri ayrı ayrı ele alınır. [1]

Çekme başlığının üstünde kalan bulon sırası için:

T uç bölgesi efektif uzunluğu

$$l_{eff1} = 4m_x + 1,25 e_x$$

$$l_{eff2} = e_{ep} + 2m_x + 0,625 e_x$$

$$l_{eff3} = 0,5 b_p$$

$$l_{eff4} = 0,5w + 2m_x + 0,625e_x$$

$$m_x = 50 \text{ mm} \quad e_x = 50 \text{ mm} \quad e_{ep} = 50 \text{ mm} \quad b_p = 300 \text{ mm} \quad w = 200 \text{ mm}$$

$$l_{eff1} = 4 * 50 + 1,25 * 50 = 262,5$$

$$l_{eff2} = 50 + 2 * 50 + 0,625 * 50 = 181,25$$

$$l_{eff3} = 0,5 * 300 = 150 \text{ mm}$$

$$l_{eff4} = 0,5 * 200 + 2 * 55 + 0,625 * 55 = 244,38$$

$$l_{eff} = 150 \text{ mm}$$

$$M_{ep, Rd} = 0,15 * (0,02)^2 * 27.500.000 / (4 * 1,1) = 375 \text{ kgm}$$

10. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 4 * 375 / 0,050 = 30000 \text{ kg}$$

11. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = \frac{2 * 375 + 2 * 14112 * 0,050}{0,1} = 21612 \text{ kg}$$

12. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 2 * B_{Rd} = 2 * 14112 = 28224 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{ep, Rd} = 21612 \text{ kg}$$

Çekme başlığının altında kalan bulon sırası için:

Eşdeğer uç bölgesi efektif genişliği:

$$l_{eff1} = \alpha m_{ep}$$

$$l_{eff2} = 2\pi m_{ep}$$

α katsayısının belirlenmesi:

$$\lambda_1 = m_y / (e_{ep} + m_y) \quad \lambda_2 = m_2 / (e_{ep} + m_2)$$

$$m_y = 97 \text{ mm} \quad m_2 = 50 \text{ mm} \quad e_{ep} = 50 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 97 / (50 + 97) = 0,66$$

$$\lambda_2 = 50 / (50 + 50) = 0,50$$

$$\alpha = 5$$

Bu durumda efektif uzunluk $l_{eff1} = 5 * 97 = 485 \text{ mm}$

Alın levhası dayanımı:

$$M_{pl, Rd} = l_{eff} t_f^2 f_y / 4 \gamma_{m0} = 0,485 * (0,02)^2 * 27.500.000 / 4 * 1,1 = 1212,5 \text{ kgm}$$

1.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd1} = 4 * 1212,5 / 0,097 = 50000 \text{ kg}$$

2.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd2} = \frac{2 * 1212,5 + 2 * 14112 * 0,050}{0,097 + 0,050} = 26097 \text{ kg}$$

3.Göçme modu için

$$F_{ep, Rd} = 2 * B_{Rd} = 2 * 14112 = 28224 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının altında kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 26097 \text{ kg}$$

Rijitlikler:

Çekme başlığının üstündeki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_x = 0,85 * 0,15 * (0,02)^3 / (0,050)^3 = 0,0082 \text{ m}$$

Çekme başlığının altındaki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff} t_{ep}^3 / m_y = 0,85 * 0,485 * (0,02)^3 / (0,097)^3 = 0,0036 \text{ m}$$

H.5.1.3 Çekme Bölgesinde Bulonlar

Çekme bölgesindeki bulonların dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 4 B_{t, Rd}$$

$$F_{b, Rd} = 4 * 14112 = 56448 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 3,2 A_s / L_b$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2 \quad L_b = 20 + 20,5 + 2*4 + 0,5 * (16+16) = 64,5 \text{ mm}$$

$$K = 3,2 * 245 * 10^{-3} / 64,5 = 0,012$$

H.5.1.4 Çekme Bölgesinde Kolon Gövdesi

Çekme bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{cwt, Rd} = \rho_1 b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0}$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(b_{eff} t_{wc} / A_{vc})^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = 454,50 \text{ mm} \quad t_{wc} = 11 \text{ mm} \quad A_{vc} = 51,77 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(454,5 * 11,5 / 5177)^2)^{0,5} = 0,65$$

$$F_{cwt, Rd} = 0,65 * 0,4545 * 0,0115 * 27500 * 10^3 / 1,1 = 85694 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 * 455 * 11 * 10^{-3} / 225 = 0,016$$

H.5.2 Basınç Bölgesi

H.5.2.1 Basınç Bölgesinde Kolon Gövdesi

Basınç bölgesinde kolon gövdesinin dayanımı:

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \leq 0,67)$$

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} ((1 - (0,22 / \lambda_{wc})) / \lambda_{wc}) / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \geq 0,67)$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 * (b_{effwc, c} d_c f_{ycw} / E t_{wc}^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{ep} + 5(t_{fc} + s) + s_p$$

$$b_{eff} = 8,5 + 2\sqrt{2} * 7 + 5(20,5 + 27) + 40 = 230 \text{ mm}$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 * (0,23 * 0,225 * 27.500.000 / 2,1 * 10^{10} 0,0115^2)^{0,5} = 0,66 < 0,67$$

$$k_{wc} = 1,25 - 0,5 * \sigma_v / f_{ycw} \quad (\sigma_v = 0 \text{ alınır})$$

$k_{wc} = 1,25$ olur. Bu durumda $k_{wc} = 1$ alınır.

$$F_{cwc, Rd} = 1 * 0,66 * 0,23 * 0,0115 * 27.500.000 / 1,1 = 43642,5 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 * 230 * 11,5 * 10^{-3} / 225 = 0,0083$$

H.5.2.1 Basınç Bölgesinde Kiriş Başlığı

$$F_{bfc, Rd} = M_{b,Rd} / (h_b - t_{fb}) = W_{plb} * f_{yd} / \gamma_{m0} (h_b - t_{fb}) = 220,6 * 2750 / 1,1 * (20 - 0,85) = 28799 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = \infty$$

H.5.3 Kayma Bölgesi

H.5.3.1 Kayma Bölgesinde Kolon Gövdesi

Kayma bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{Rd,1} = V_{wc, Rd} / \beta = 0,9 A_{vc} f_{ywc} / \sqrt{3} \gamma_{m0} \beta = 0,9 * 51,77 * 2750 / \sqrt{3} * 1,1 * 1 = 68519 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,385 A_{vc} / \beta h = 0,385 * 51,77 * 10^{-2} / 1 * (20 - 8,5) = 0,017 \text{ m}$$

Birleşimin Moment Dayanımı:

$$F_{Rd} = \min(F_{Rd, j}) = 21612 \text{ kg}$$

Birleşimin plastik moment dayanımı:

$$M_{Rd} = F_{Rd} h = 21612 * 0,20 = 4322,40 \text{ kgm}$$

Birleşimin rijitliği:

$$S_{j,ini} = \frac{Eh^2}{\sum_{i=1}^{i=8} \frac{1}{K_i}}$$

$$S_{j,ini} = \frac{2,1 * 10^{10} * 0,2^2}{\frac{1}{0,0085} + \frac{1}{0,0082} + \frac{1}{0,0036} + \frac{1}{0,012} + \frac{1}{0,016} + \frac{1}{0,0083} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{0,017}}$$

$$S_{j,ini} = 997015 \text{ kgm/rad}$$

$$EI_b / L_b = 2,1 * 10^{10} * 1943 * 10^{-8} / 11 = 37094$$

$$0,5 * EI_b / L_b = 18547 \text{ kgm/rad} \quad 8 * EI_b / L_b = 296752 \text{ kgm/rad}$$

997015 > 296752 Birleşim rijittir.

Bulunan bu dönme rijitliği değeri SAP 2000 analiz programının 9.sürümünde bulunan kısmi rijitlik (partial fixity) özelliği sayesinde düğüm noktalarına yay katsayısı olarak etkililmiş ve sistem yeniden analiz edilmiştir. Sistemdeki elemanlarda bu yeni analiz sonuçlarına göre kesit tahkikleri yapılacaktır.

H.6 Kolonların Boyutlandırılması

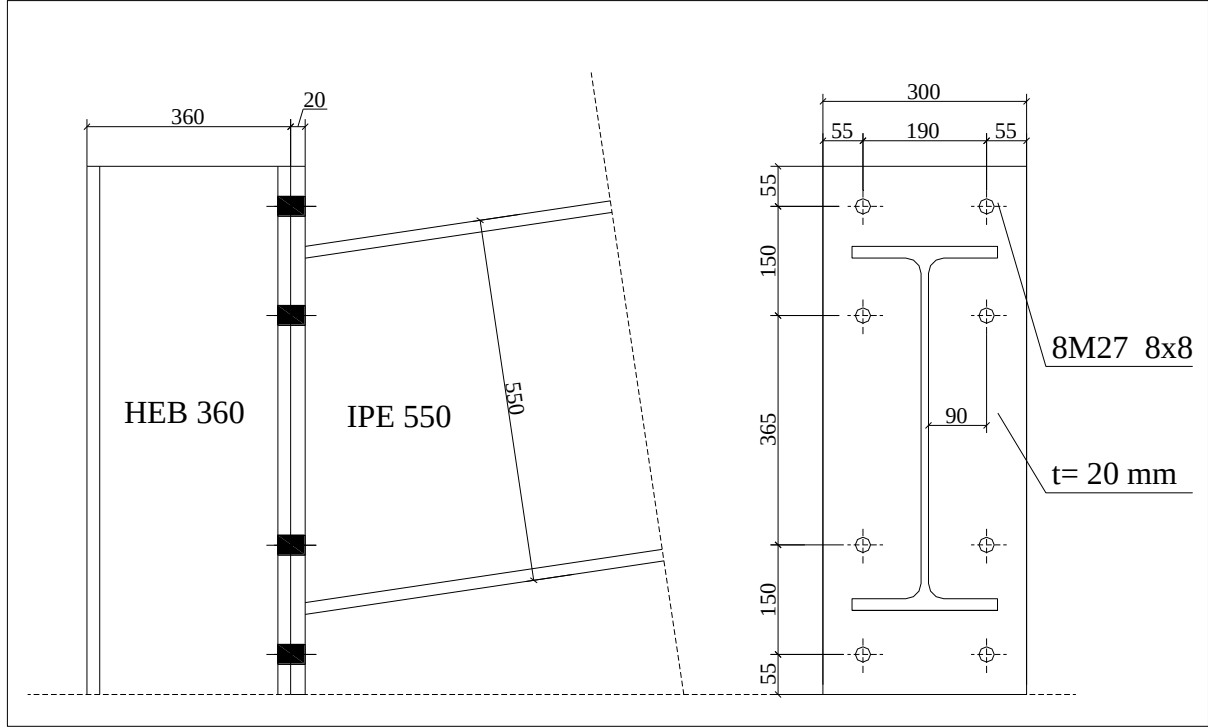
H.6.1. Kullanma Sınır Durumuna Göre

HEB320 profilinden teşkil edilen ana kolonların kullanma sınır durumuna göre kontrolü:

Kolon uç noktasında oluşan maksimum yatay deplasman:

$$\delta = 13,43 * 10^{-3} \text{ m} > 6 / 500 = 0,012 \text{ m} \quad (\text{Frame 61 Joint 77 COMB28})$$

Kullanma sınır durumu şartı sağlanmamaktadır. Rijit sistemle aynı kesitler kullanılmasına karşın kolon uç deplasmanının sınırı aşmasındaki sebep verilen kısmi rijitlik yay katsayısı sonucu düğüm noktasının yarı rijit davranışının tanımlanmış olması ve bu yüzden ideal rijit düğüm noktasına nazaran daha fazla hareket imkânı kazanmasıdır. Kolon kesiti HEB360 olarak arttırılacaktır.



Şekil H.5 HEB 360 – IPE 550 Birleşimi

H.7 HEB360 – IPE550 Birleşimi

Birleşim çekme, kayma ve basınç bölgesi olmak üzere üç bölgeye ayrılacak ve herbir bölgedeki bileşenlerin rijitlikleri hesap edilecektir

H.7.1 Çekme Bölgesi

H.7.1.1 Çekme Bölgesinde Kolon Başlığı:

Bölüm 4’te belirtildiği gibi kolon başlığının plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl,rd} = l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / 4 \cdot \gamma_{m0}$$

Çekmede kolon başlığının efektif genişliği:

$$l_{eff} = 4m + 1,25e$$

$$m = g/2 - t_w/2 - 0,8 \cdot r_c \quad (g: \text{Bulon eksenleri arası uzaklık})$$

$$m = \frac{190}{2} - \frac{12,5}{2} - 0,8 * 27$$

$$m = 67 \quad e = 55$$

$$l_{eff} = 4 * 67 + 1,25 * 55 = 337,35 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 0,5p + 2m + 0,625e$$

$$l_{eff} = 0,5 * 150 + 2 * 67 + 0,625 * 55 = 243,38 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 2\pi m = 427,25 \text{ mm}$$

l_{eff} efektif genişlik bu değerlerden minimum olan 243,38 mm değeridir. Fakat bu değer tek bir bulon sırası için bulunan değerdir. İki sıra bulon için:

$$l_{eff} = 2 * 243,38 = 486,76 \text{ mm}$$

Plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl, rd} = 0,49 * (0,0225)^2 * 27,5 * 10^6 / 4 * 1,1 = 1550,37 \text{ kg m} \quad (\text{Malzeme ST44})$$

Çekme bölgesinde kolon başlığında 4. bölümde belirtildiği gibi üç farklı göçme modu oluşabilir.

- Göçme modu 1: Başlığın tamamen akması (İnce et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 M_{pl, rd} / m$$

$$F_{t, Rd} = 4 * 1550,37 / 0,067 = 92559,40 \text{ kg}$$

- Göçme modu 2: Başlığın ve bulonların beraber akması

$$F_{t, Rd} = \frac{2M_{pl, rd} + n \sum B_{t, Rd}}{m + n}$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 * A_s * f_{ub} / \gamma_{mb}$$

$$A_s = \text{Bulon etkin gövde alanı} = \pi d_r^2 / 4 \quad (d_r = \sqrt{0,78 * d})$$

$$A_s = \pi * (0,78 * 27^2) / 4 = 446,60 \text{ mm}^2$$

$$\sum B_{t, Rd} = 0,9 * 446,60 * 10^{-6} * 800 * 10^5 / 1,25 = 25724,16 \text{ kg}$$

T eşdeğer uç bölgesinin sınırları içersinde 2 sıra bulon bulunmaktadır

$$F_{t, Rd} = \frac{2 * 1550,37 + 2 * 25724,16 * 0,055}{0,067 + 0,055}$$

$$F_{t, Rd} = 48609,82 \text{ kg}$$

- Göçme modu 3: Bulonların akması (Kalın et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t, Rd} = 4 B_{Rd} = 4 * 25724,16 = 102896,64 \text{ kg}$$

Bu durumda çekme bölgesindeki kolon başlığının dayanımı:

$$F_{t, Rd} = 48609,82 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,85 \cdot b_{eff} \cdot t_{fc}^3 / m_c^3 = 0,85 * 0,49 * (0,0205)^3 / (0,068)^3 = 0,011 \text{ m}$$

H.7.1.2 Çekme Bölgesinde Alın Levhası

Çekme bölgesinde alın levhasının dayanımı hesaplanırken kiriş çekme başlığının altında ve üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgeleri ayrı ayrı ele alınır. [1]

Çekme başlığının üstünde kalan bulon sırası için :

T uç bölgesi efektif uzunluğu

$$l_{eff1} = 4m_x + 1,25 e_x$$

$$l_{eff2} = e_{ep} + 2m_x + 0,625 e_x$$

$$l_{eff3} = 0,5 b_p$$

$$l_{eff4} = 0,5w + 2m_x + 0,625e_x$$

$$m_x = 55 \text{ mm} \quad e_x = 55 \text{ mm} \quad e_{ep} = 55 \text{ mm} \quad b_p = 300 \text{ mm} \quad w = 190 \text{ mm}$$

$$l_{eff1} = 4 * 55 + 1,25 * 55 = 288,75$$

$$l_{eff2} = 55 + 2 * 55 + 0,625 * 55 = 199,37$$

$$l_{eff3} = 0,5 * 300 = 150 \text{ mm}$$

$$l_{eff4} = 0,5 * 190 + 2 * 55 + 0,625 * 55 = 239,38$$

$$l_{eff} = 150 \text{ mm}$$

$$M_{ep, Rd} = 0,15 * (0,02)^2 * 27.500.000 / (4 * 1,1) = 375 \text{ kgm}$$

13. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 4 * 375 / 0,055 = 27273 \text{ kg}$$

14. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = \frac{2 * 375 + 2 * 25724,16 * 0,055}{0,11} = 32542 \text{ kg}$$

15. Göçme modu için:

$$F_{ep, Rd} = 2 * B_{Rd} = 2 * 25724,16 = 51448,32 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{ep, Rd} = 27273 \text{ kg}$$

Çekme başlığının altında kalan bulon sırası için:

Eşdeğer uç bölgesi efektif genişliği:

$$l_{eff1} = \alpha m_{ep}$$

$$l_{eff2} = 2\pi m_{ep}$$

α katsayısının belirlenmesi:

$$\lambda_1 = m_y / (e_{ep} + m_y) \quad \lambda_2 = m_2 / (e_{ep} + m_2)$$

$$m_y = 90 \text{ mm} \quad m_2 = 55 \text{ mm} \quad e_{ep} = 55 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 90 / (55 + 90) = 0,62$$

$$\lambda_2 = 55 / (55 + 55) = 0,50$$

$$\alpha = 5$$

Bu durumda efektif uzunluk $l_{eff1} = 5 * 90 = 450 \text{ mm}$

Alın levhası dayanımı:

$$M_{pl, Rd} = l_{eff} t_{ep}^2 f_y / 4\gamma_{m0} = 0,45 * (0,02)^2 * 27.500.000 / 4 * 1,1 = 1125 \text{ kgm}$$

1.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd1} = 4 * 1125 / 0,09 = 50000 \text{ kg}$$

2.Göçme modu için:

$$F_{b, Rd2} = \frac{2 * 1125 + 2 * 25724,16 * 0,055}{0,09 + 0,055} = 35032 \text{ kg}$$

3.Göçme modu için

$$F_{b, Rd3} = 2 * 25724,16 = 51448,32 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının altında kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 35032 \text{ kg}$$

Rijitlikler:

Çekme başlığının üstündeki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff}^3 / m_x = 0,85 * 0,15 * (0,02)^3 / (0,055)^3 = 0,0061 \text{ m}$$

Çekme başlığının altındaki bölge için:

$$K = 0,85 b_{eff}^3 / m_y = 0,85 * 0,45 * (0,02)^3 / (0,09)^3 = 0,0042 \text{ m}$$

H.7.1.3 Çekme Bölgesinde Bulonlar

Çekme bölgesindeki bulonların dayanımı:

$$F_{b, Rd} = 4B_{t,Rd}$$

$$F_{b, Rd} = 4 \cdot 25724,16 = 102896,64 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 3,2 A_s / L_b$$

$$A_s = 446,60 \text{ mm}^2 \quad L_b = 20 + 22,5 + 2 \cdot 5 + 0,5 \cdot (22+22) = 75 \text{ mm}$$

$$K = 3,2 \cdot 446,6 \cdot 10^{-3} / 75 = 0,019$$

H.7.1.4 Çekme Bölgesinde Kolon Gövdesi

Çekme bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{cwt, Rd} = \rho_1 b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0}$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(b_{eff} t_{wc} / A_{vc})^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = 486,76 \text{ mm} \quad t_{wc} = 12,5 \text{ mm} \quad A_{vc} = 60,60 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3(486,76 \cdot 12,5 / 6060)^2)^{0,5} = 0,66$$

$$F_{cwt, Rd} = 0,66 \cdot 0,49 \cdot 0,0125 \cdot 27500 \cdot 10^3 / 1,1 = 101062,5 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 \cdot 487 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} / 261 = 0,016$$

H.7.2 Basınç Bölgesi

H.7.2.1 Basınç Bölgesinde Kolon Gövdesi

Basınç bölgesinde kolon gövdesinin dayanımı:

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \leq 0,67)$$

$$F_{cwc, Rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} t_{wc} f_{ycw} ((1 - (0,22 / \lambda_{wc})) / \lambda_{wc}) / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \geq 0,67)$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 \cdot (b_{effwc, c} d_c f_{ycw} / E t_{wc}^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_{ep} + 5(t_{fc} + s) + s_p$$

$$b_{eff} = 17,2 + 2\sqrt{2} \cdot 7 + 5(22,5 + 27) + 40 = 244,80 \text{ mm}$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 \cdot (0,24 \cdot 0,261 \cdot 27.500.000 / 2,1 \cdot 10^{10} \cdot 0,0125^2)^{0,5} = 0,67 = 0,67$$

$$k_{wc} = 1,25 - 0,5 \cdot \sigma_v / f_{ycw} \quad (\sigma_v = 0 \text{ alınır})$$

$$k_{wc} = 1,25 \text{ olur. Bu durumda } k_{wc} = 1 \text{ alınır.}$$

$$F_{cwc, Rd} = 1 \cdot 0,67 \cdot 0,24 \cdot 0,0125 \cdot 27.500.000 / 1,1 = 50250 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,7 b_{eff} t_{wc} / d_c = 0,7 \cdot 244,8 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} / 261 = 0,0082$$

H.7.2.1 Basınç Bölgesinde Kiriş Başlığı

$$F_{bfc, Rd} = M_{b,Rd} / (h_b - t_{fb}) = W_{plb} * f_{yd} / \gamma_{m0}(h_b - t_{fb}) = 2787*2750 / 1,1*(55- 1,72)$$

$$F_{bfc, Rd}=130771,40 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = \infty$$

H.7.3 Kayma Bölgesi

H.7.3.1 Kayma Bölgesinde Kolon Gövdesi

Kayma bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{Rd,1} = V_{wc, Rd} / \beta = 0,9 A_{vc} f_{ywc} / \sqrt{3} \gamma_{m0} \beta = 0,9*60,60 * 2750 / \sqrt{3} * 1,1*1 = 80206 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,385 A_{vc} / \beta h = 0,385 * 60,60*10^{-2} / 1*(55- 1,72) = 0,0044 \text{ m}$$

Birleşimin Moment Dayanımı:

$$F_{Rd} = \min(F_{Rd, j}) = 27273 \text{ kg}$$

Birleşimin plastik moment dayanımı:

$$M_{Rd} = F_{Rd} h = 27273*0,55 = 15000,15 \text{ kgm}$$

Birleşimin rijitliği:

$$S_{j,ini} = \frac{Eh^2}{\sum_{i=1}^{i=8} \frac{1}{K_i}}$$

$$S_{j, ini} = \frac{2,1*10^{10} * 0,55^2}{\frac{1}{0,011} + \frac{1}{0,0061} + \frac{1}{0,0042} + \frac{1}{0,016} + \frac{1}{0,019} + \frac{1}{0,0082} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{0,0044}}$$

$$S_{j,ini} = 6635890,47 \text{ kgm/rad}$$

$$EI_b / L_b = 2,1*10^{10}*67120*10^{-8} / 11 = 1281381,81$$

$$0,5* EI_b / L_b = 640690,91 \text{ kgm/rad} \quad 8* EI_b / L_b = 10251054,54 \text{ kgm/rad}$$

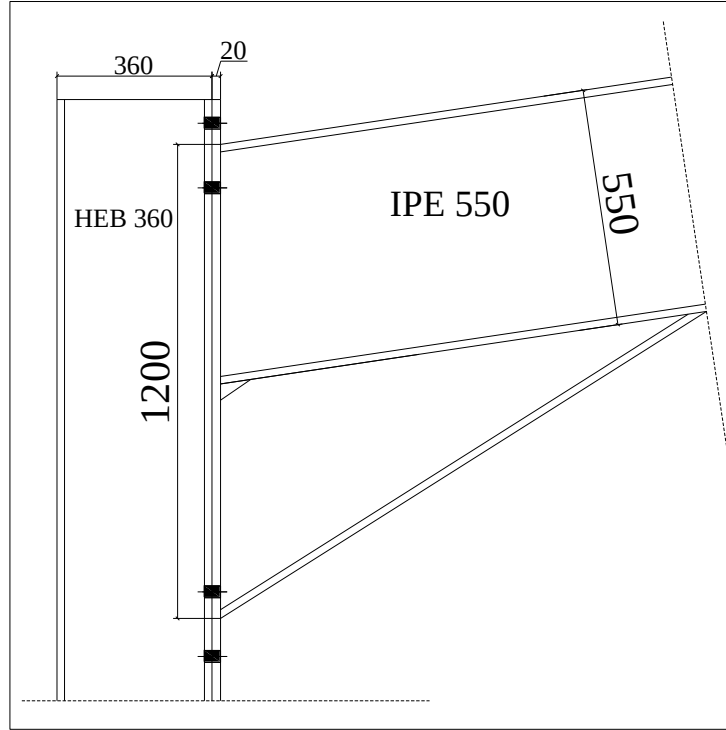
$$640690,91 < 6635890,47 < 10251054,54 \quad \text{Birleşim yarı rijittir.}$$

Bulunan bu dönme rijitliği değeri düğüm noktasına girilerek sistem yeniden analiz edilmiştir.

Analiz sonucu düğüm noktasına gelen maksimum moment :

$$M_{sd} = 28034,75 \text{ kgm (Frame 69 COMB1)}$$

Analiz sonucu düğüm noktasına gelen moment değeri birleşimin moment dayanımından büyük olduğundan birleşime guse yapılması uygun görülmüştür. Bu şekilde birleşimin moment taşıma gücü arttırılacaktır.



Şekil H.6 Guseli Birleşim

$$h^* = 1,2 \text{ m}$$

$$M_{Rd}^* = 15000,15 * \frac{1,2}{0,55} = 32728 \text{ kgm}$$

Guseli birleşimin yeni rijitliği:

$$S_{j,ini} = \frac{E(h^*)^2}{\frac{Eh^2}{S_{j,ini}} + \frac{\beta}{0,385A_{vc}}(h^* - h)}$$

$$S_{j,ini} = \frac{2,1 * 10^{10} * 1,2^2}{\frac{2,1 * 10^{10} * 0,55^2}{6635890,47} + \frac{1}{0,385 * 60,60 * 10^{-4}}(1,2 - 0,55)} = 24468112,24$$

Bu rijitlik düğüm noktalarına girilerek yeniden analiz edilecektir.

H.8 Kolonların Boyutlandırılması

H.8.1. Kullanma Sınır Durumuna Göre

HEB360 profilinden teşkil edilen ana kolonların kullanma sınır durumuna göre kontrolü:

Kolon uç noktasında oluşan maksimum yatay deplasman:

$$\delta = 9,64 \cdot 10^{-3} \text{ m} > 6 / 500 = 0,012 \text{ m} \quad (\text{Frame 72 Joint 89 COMB27})$$

Kullanma sınır durum şartı sağlanıyor.

H.8.2 Taşıma Sınır Durumuna Göre

Kolonların potansiyel göçme modu yanal burkulma olduğu için sağlanması gerekli kriter:

$$N_{sd} / (x_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{m1}) + k_{lt} \cdot M_{ysd} / (x_{lt} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{m1}) \leq 1$$

$$k_{lt} = 1 - (\mu_{LT} \cdot N_{sd} / x_y \cdot A \cdot f_y) \quad k_{lt} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \lambda_y' \cdot \beta_{MLT} - 0,15 \quad \mu_{LT} \leq 0,90$$

β_{MLT} ; eşdeğer üniform azaltma katsayısı

x_y ; y-y eksenine bağlı azaltma katsayısı

HEB 360 Kesit Özellikleri:

$$W_{el,y} = 2400 \text{ cm}^3 \quad W_{pl,y} = 2683 \text{ cm}^3 \quad h = 360 \text{ mm} \quad b = 300 \text{ mm}$$

$$t_f = 22,5 \text{ mm} \quad t_w = 12,5 \text{ mm} \quad F = 180.60 \text{ cm}^2 \quad i_y = 15.46 \text{ cm} \quad i_z = 7.49 \text{ cm}$$

$$I_w = 2883 \cdot 10^3 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 292,5 \text{ cm}^4 \quad I_y = 43190 \text{ cm}^4 \quad I_z = 10140 \text{ cm}^4$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{Malzeme ST44})$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 150/22,5 = 6,67 < 10\varepsilon = 9,2 \quad \text{I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 261 / 12,5 = 20,88 < 72 \varepsilon = 66,24 \quad \text{I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir.

Kesit Tesirleri:

$$M_{üst} = 31515,72 \text{ kgm} \quad N = -13180,18 \text{ kg} \quad M_{alt} = -20873,51 \text{ kgm}$$

(Frame 69 COMB1)

Öncelikle kolonun yanal burkulma tahkiki yapılacaktır.

$$M_{brd} = x_{lt} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \text{ I.sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/k_w)^2 I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1,0 \quad k_w = 1,0 \quad \varphi = M_{alt} / M_{üst} = -20873,51 / 31515,72 = -0,66$$

$$C1 = 2,8$$

$$M_{cr} = 428266 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,17 \quad x_{LT} = 1 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{pl} = 2683 * 10^{-6} * 2,75 * 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl} = 67075 \text{ kgm}$$

$$M_{sd} / M_{pl} = 31515,72 / 67075 = 0,47$$

$$M_{brd} = 1 \quad M_{pl} > M_{sd} = 0,47 \quad M_{pl} \text{ Yanal burkulma tehlikesi yoktur.}$$

Kolonun y eksenini etrafındaki burkulma boyu S_{ky} için:

$$n_1 = 0 \text{ (Temele rijit bağlantı)}$$

$$n_2 = 43190 / 6 / (43190/6 + 399200/1) = 0,018$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(n_1 + n_2) + 0,055(n_1 + n_2)^2$$

$$k_y = 0,5 + 0,14(0 + 0,018) + 0,055(0 + 0,018)^2 = 0,5$$

$$S_{ky} = 0,5 * 6 = 3 \text{ m}$$

$$\lambda_y = S_{ky} / i_y = 3 / 0,1546 = 19,40$$

$$\varepsilon = (2,35 * 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 86,39$$

$$\lambda_y' = 19,40 / 86,39 = 0,225$$

$$k_z = 1 \text{ (Alt ve üst uç mafsallı)} \quad S_{ky} = 1 * 6 = 6 \text{ m}$$

$$\lambda_z = S_{kz} / i_z = 6 / 0,0749 = 80,1$$

$$\lambda_z' = 80,1 / 86,39 = 0,93$$

HEB 360 için burkulma eğrisi tayini:

$h / b = 1,2 = 1,2$ $t_f = 22,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ olduğu için y-y eksenindeki burkulma eğrisi “b” eğrisi , z-z eksenindeki burkulma eğrisi “c” eğrisidir.

$$X_y = 0,99 \quad X_z = 0,60$$

$$X_{min} = 0,60$$

c eğrisine ait hata katsayısı: $a = 0,49$ 'dür.

$$\phi_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,93 - 0,2) + 0,93^2) = 1,1$$

$$X_y = 1 / (1 + (1 - 0,93^2)^{0,5}) = 0,59$$

$$\beta_{MLT} = 1,8 - 0,7 \cdot \phi = 2,262 \quad \mu_{LT} = 0,07 \quad k_{LT} = 1$$

$$A+B = 13180,18 / (0,59 \cdot 180,60 \cdot 10^{-4} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1) + 1 \cdot 31515,72 / (1 \cdot 2683 \cdot 10^{-6} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1)$$

$$A+B = 0,05 + 0,47 = 0,52 < 1 \text{ ok.}$$

H.9 Çatı Kirişlerinin Boyutlandırılması

H.9.1 Kullanma Sınır Durumuna Göre:

Orta çatı kirişleri guseli IPE550 profilinden teşkil edilmiştir. Orta çatı kirişlerinde oluşan maksimum düşey deplasman

$$\delta = 0,04211 \text{ m'dir.}$$

(Frame 101 Joint 88 COMB30)

$$\delta = 0,04211 < \frac{22}{250} = 0,088 \text{ m } \delta < \delta_{\max} \text{ kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.}$$

H.9.2 Taşıma Sınır Durumuna Göre

H.9.2.1 Enkesit Eğilme Dayanımı

Orta çatı kirişleri; IPE550 Kesit özellikleri

$$H = 550 \text{ mm } b = 210 \text{ mm } t_f = 17,2 \text{ mm } t_w = 11,1 \text{ mm } W_{pl} = 8042 \text{ cm}^3 \text{ (Guseli kesite ait)}$$

$$d = 467,6 \text{ mm}$$

$$A_v = 72,34 \text{ cm}^2 \quad F = 134,4 \text{ cm}^2$$

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

$$f_y = 2,75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2 \text{ (Malzeme ST44)}$$

$$\varepsilon = (2,35 \cdot 10^7 / f_y)^{0,5} = 0,92$$

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 105 / 17,2 = 6,10 < 10\varepsilon = 9,2 \text{ I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 467,6 / 11,1 = 42,12 < 72 \varepsilon = 66,24 \text{ I.sınıf}$$

Tüm elemanlar I.sınıf olduğundan kesit I.sınıf kesittir. $\gamma_{m0} = 1,1$

IPE550 kirişi enkesit eğilme dayanımına göre tahkik edilecektir.

Maksimum Kesit Tesirleri

$$M_{sd} = 31485,77 \text{ kgm} \quad V_{sd} = 10356,63 \text{ kg (Frame 101 COMB1)}$$

$$M_{pl,rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,rd} = 8042 * 10^{-6} * 2,75 * 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl,rd} = 201050 \text{ kgm}$$

$$V_{pl,rd} = A_v * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{m0}$$

$$V_{pl,rd} = 72,34 * 10^{-4} * (2,75 * 10^7 / \sqrt{3}) / 1,1 = 104413,80 \text{ kg}$$

$$V_{sd} / V_{pl,rd} = 10356,63 / 104413,80 = 0,1 < 0,50$$

Kirişin aldığı kesme kuvveti, kesme kuvveti taşıma dayanımının %50'sini aşmadığından kesit plastik mukavemet momentinde bir azaltma yapmaya gerek yoktur.

$$M_{sd} / M_{pl,rd} = 31485,77 / 201050 = 0,16$$

Kirişin aldığı kesme kuvveti, kesme kuvveti taşıma dayanımının %50'sini aşmadığından kesit plastik mukavemet momentinde bir azaltma yapmaya gerek yoktur.

$$M_{sd} / M_{pl,rd} = 1357,85 / 15709,95 = 0,086$$

H.9.2.2 Yanal Burkulma Hesabı

IPE 550 kesiti için yanal burkulma tasarım moment değeri:

$$M_{brd} = x_{lt} * \beta_w * W_{pl,y} * f_y / \gamma_{m1}$$

$$\beta_w = 1 \text{ I.sınıf enkesit}$$

$$\gamma_{m1} = 1,1$$

$$\lambda_{LT} = (W_{pl} * f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$M_{cr} = (C_1 * (\pi^2 * E * I_z) / (kL)^2) * [((k/k_w)^2 I_w + 0,039 * (kL)^2 * I_t) / I_z]^{0,5}$$

$$k = 1 \quad k_w = 1 \quad \phi = 1 \quad C_1 = 1 \quad I_z = 2668 \text{ cm}^4 \quad I_w = 1,884 * 10^6 \text{ cm}^6$$

$$I_t = 123,2 \text{ cm}^4 \quad L = 11 \text{ m} \quad E = 2,1 * 10^{10} \text{ kg/m}^2 \quad W_{pl} = 2787 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = 108705,45 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,84 \quad x_{LT} = 0,76 \text{ (a eğrisi) (Tablo 3.9)}$$

$$M_{bd} = 0,76 M_{pl} > 0,16 M_{sd}$$

H.9.2.3 Kesme Burkulması Hesabı

IPE 550 çatı kirişinde berkitmesiz gövde için:

$$d / t_w = 467,6 / 11,1 = 42,13 < 69\epsilon = 63,48$$

Kesme burkulması hesabına gerek yoktur.

IPE 300 çatı kirişinde berkitmesiz gövde için:

$$d / t_w = 248,6 / 7,1 = 35 < 69\varepsilon = 63,48$$

Kesme burkulması hesabına gerek yoktur.

H.9.2.4 Azaltılmış Flanş Burkulması Hesabı

$$d / t_w < k*(E / f_{yf}) * [A_w / A_{fc}]^{0,5}$$

$$k = 0,3 \text{ I.sınıf enkesit } A_w = 51,90 \text{ cm}^2 \text{ } A_{fc} = 41,25 \text{ cm}^2$$

$$0,3 * (2,1*10^{10} / 2,75*10^7) * (51,90*10^{-4} / 41,25*10^{-4})^{0,5} = 256,97 > 63,48$$

Basınç başlığı flanş gövde düzlemi içersinde kalmaktadır.

Kenar çatı kirişleri IPE300'ler için

$$d / t_w < k*(E / f_{yf}) * [A_w / A_{fc}]^{0,5}$$

$$k = 0,3 \text{ I.sınıf enkesit } A_w = 17,65 \text{ cm}^2 \text{ } A_{fc} = 18,08 \text{ cm}^2$$

$$0,3 * (2,1*10^{10} / 2,75*10^7) * (17,65*10^{-4} / 18,08*10^{-4})^{0,5} = 226,35 > 63,48$$

Basınç başlığı flanş gövde düzlemi içersinde kalmaktadır.

EK1 İÇERİĞİ

Tezle birlikte 1 adet EK1 adında cd verilmiştir. Bu cd içersinde rijit ve yarı rijit düğüm noktalı üç katlı büro binası düğüm nokta deplasmanları, kesit tesirleri ve analiz dosyaları, rijit ve yarı rijit düğüm noktalı endüstri yapısı düğüm nokta deplasmanları, kesit tesirleri ve analiz dosyaları bulunmaktadır.

ÖZGEÇMİŞ

Bu tezin yazarı, 1979 yılında Muş'ta doğmuştur. Ortaöğretimini Muş Anadolu Lisesinde tamamladıktan sonra lise eğitimini Malatya Fen Lisesinde bitirmiştir. 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesinde okumaya hak kazanmış ve bu fakülteden 2001 yılında iyi derece ile mezun olmuştur. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programına kaydolmuştur. Halen bu programa kayıtlı olup çelik yapılar alanında faaliyet gösteren Çağla Müh. ve Mim. Tic. Ltd. Şti.'de proje sorumlusu olarak çalışmaktadır.