

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RİJİT VE YARI RİJİT ÇERÇEVELERİN  
KARŞILAŞTIRILMASI VE DEPLASMANDAKİ  
ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Abdulkadir BUDAK**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. M. Zeki ÖZYURT**

**Haziran 2007**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RİJİT VE YARI RİJİT ÇERÇEVELERİN  
KARŞILAŞTIRILMASI VE DEPLASMANDAKİ  
ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Abdulkadir BUDAK**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

**Bu tez 13 / 06 / 2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Yrd. Doç. Dr. M. Zeki ÖZYURT**  
**Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KASAP**  
**Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK**  
**Üye**

## **TEŞEKKÜR**

Çalışmalarım boyunca değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımı her aşamada izleyip değerlendirerek bana yön veren ve her türlü desteği sağlayan Sn. Yrd. Doc. Dr. M. Zeki ÖZYURT' a minnet ve şükranlarımı sunarım. Çalışmalarım esnasında bana yardımcı olmaya çalışan bütün arkadaşlarıma, özellikle eleştiri ve önerileri nedeni ile İnş. Müh. Serdar MERMER' e teşekkür etmek isterim. Yüksek lisans eğitimimde bana inanarak destekleyen ailemin gösterdiği anlayışa müteşekkirim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	3
2.1. Çelik Yapılarda Kullanılan Birleşim Türleri.....	4
2.1.1. Tek köşebentli gövde birleşimi.....	4
2.1.2. Çift köşebentli gövde birleşimi.....	5
2.1.3. Üst ve alt başlık köşebentli , gövde çift köşebentli birleşim...	6
2.1.4. Üst ve alt başlık köşebentli birleşim.....	7
2.1.5. Alın levhalı birleşim.....	8
2.1.6. Gövde derinliğince alın levhalı birleşim.....	9
2.1.7. Kısa alın levhalı birleşim.....	10
2.2. Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Eurocode3'e Göre Sınıflandırılması...	11
2.1.1. Dönme rijitliklerine göre sınıflandırma.....	12
2.1.2. Taşıma güçlerine göre sınıflandırma.....	15
BÖLÜM 3.	
EUROCODE3' ÜN GENEL İLKELERİ.....	18
3.1. Kapsam.....	18

3.2. Genel Kurallar.....	19
3.2.1. Çelik.....	19
3.2.2. Taşıyıcı sistem.....	20
3.2.3. Taşıyıcı elemanlar.....	21
3.2.4. Yükler, yük ve dayanım faktörleri.....	21
3.2.5. Güvenlik düzeyinin seçilmesi.....	22
3.2.5.1. Kullanma sınır durumu.....	22
3.2.5.2. Taşıma yükü sınır durumu.....	24
3.3. Taşıma Yükü Sınır Durumuyla Kesit Boyutlandırılması.....	25
3.3.1. Çekme çubukları.....	25
3.3.2. Basınç çubukları.....	25
3.3.3. Kirişler .....	25
3.3.4. Kesit dayanımları .....	26
3.3.4.1. Çekme elemanları.....	26
3.3.4.2. Basınç elemanları.....	26
3.3.4.3. Burkulma dayanımı.....	27
3.3.4.4. Kirişler.....	28
3.3.5. Eksenel kuvvet ve moment etkisi.....	32
3.3.6. Eksenel kuvvet ve momente bağlı eleman dayanımı.....	33
3.3.6.1. Moment ve çekme etkisi.....	33
3.3.6.2. Moment ve basınç etkisi.....	33
3.3.7. Çerçeve ara bağlantılı çubuklarda narinlik hesabı.....	34

#### BÖLÜM 4.

YARI RİJİT KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN ANALİZİ.....	35
4.1. Yarı Rijit Düğüm Noktası Kavramı.....	35
4.2. Bulonlu Yarı Rijit Kolon Birleşimlerinin Eurocode 3'e Göre Analizi.....	37
4.2.1. Bulonlu kiriş kolon birleşimleri için önerileri.....	38
4.2.1.1. Çekme bölgesinin dayanımı.....	40
4.2.1.2. Basınç bölgesinin dayanımı.....	42
4.2.1.3. Kayma bölgesinin dayanımı.....	43
4.2.1.4. Sonuç.....	43

## BÖLÜM 5.

SAYISAL ÖRNEKLER .....	44
5.1. Tip 1 Yapı Analizi.....	44
5.1.1. Düğüm noktaları rijit tip 1 yapısının eurocode3'e göre hesabı .....	45
5.1.1.1. Kirişlerin boyutlandırılması.....	46
5.1.1.2. Kolonların boyutlandırılması.....	47
5.1.2. Düğüm noktaları yarı rijit tip 1 yapısının eurocode3'e göre hesabı.....	47
5.1.2.1. Kirişlerin boyutlandırılması.....	47
5.1.2.2. Kolonların boyutlandırılması.....	48
5.2. Tip 2 Yapı Analizi.....	48
5.2.1 Düğüm noktaları rijit tip 2 yapısının eurocode3'e göre hesabı.....	49
5.2.1.1. Kirişlerin boyutlandırılması.....	50
5.2.1.2. Kolonların boyutlandırılması.....	50
5.2.2. Düğüm noktaları yarı rijit tip 1 yapısının eurocode3'e göre hesabı.....	50
5.2.2.1. Kirişlerin boyutlandırılması.....	51
5.2.2.2. Kolonların boyutlandırılması.....	51
5.3. Tip 1 Yapısına Ait Yük Analizi.....	51
5.3.1. Normal katlarda.....	51
5.3.2. Çatı katında.....	52
5.3.3 Rüzgâr yükü.....	53
5.3.3.1. $W_x$ ( X doğrultusu rüzgâr), $W_y$ ( Y doğrultusu rüzgâr) yükleme.....	53
5.3.4. Deprem hesabı.....	53
5.4. Tip1 Tip2 Binasına Ait Yükleme Kombinasyonları.....	55
5.4.1. Taşıma sınır durumu kombinasyonları.....	56
5.4.2. Kullanma sınır durumu kombinasyonları.....	56
5.5. Eurocode 3 'e Göre Boyutlandırma Hesabı.....	57
5.5.1. Ana kirişlerin boyutlandırılması.....	57

5.5.1.1. Kullanma sınır durumuna göre.....	57
5.5.1.2. Taşıma sınır durumuna göre.....	57
5.5.2. HEB260 (C7) Kolonunun boyutlandırılması.....	59
5.5.2.1. Kullanma sınır durumuna göre.....	59
5.5.2.2. Taşıma sınır durumuna göre.....	59
5.6. Birleşimin Momentinin ve Rijitliğinin Hesabı .....	62
5.6.1. HEB260–IPE220 (C7-B19) Birleşiminin ve rijitliğinin hesabı	62
5.6.1.1. Çekme bölgesi.....	62
5.6.1.2. Basınç bölgesi.....	66
5.6.1.3. Kayma bölgesi.....	67
<b>BÖLÜM 6.</b>	
<b>SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>69</b>
6.1. Sayısal Hesapların Değerlendirilmesi.....	69
6.1.1. Tip 1 yapısına ait değerlendirmeler.....	70
6.1.1.1. Kolon ve kiriş kesitlerinin karşılaştırılması.....	73
6.1.1.2. Deplasmanların karşılaştırılması.....	76
6.1.2. Tip 2 yapısına ait değerlendirmeler.....	76
6.1.2.1. Kolon ve kiriş kesitlerinin karşılaştırılması.....	78
6.1.2.2. Deplasmanların karşılaştırılması.....	81
6.2. Öneriler.....	82
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>84</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>85</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR 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
$B_{trd}$	: 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
$k$	: 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
$M_{brd}$	: Yanal burkulma hesabı tasarım moment değeri
$M_{cr}$	: Yanal burkulmayı oluşturacak elastik kritik kuvvet
$M_e$	: Elastik moment dayanımı
$M_{nrd}$	: Azaltılmış plastik moment dayanımı
$M_p$	: Birleşimin plastikleşme moment değeri
$M_{plrd}$	: Plastik moment değeri
$M_{rd}$	: 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
$N_{crd}$	: Kesitin basınç dayanımı
$N_{trd}$	: Kesitin çekme kapasitesi
$N_{tsd}$	: Eksenel çekme kuvvet değeri
$N_{plrd}$	: Kesitin eksenel kuvvet taşıma gücü

$Q$	: Hareketli yük
$S_j$	: Birleşimin başlangıç rijitlik değeri
$S_{jini}$	: Birleşimin başlangıç rijitlik değeri
$T$	: Kesme kuvveti
$t_w$	: Profil gövde kalınlığı
$W_{ely}$	: Kesite ait y-y eksenini etrafındaki elastik mukavemet momenti
$W_{ply}$	: Kesite ait y-y eksenini etrafındaki plastik mukavemet momenti
$W_{com}$	: Kesite ait en üst basınç lifinde elastik mukavemet momenti
$\emptyset$	: Dönme değeri
$\gamma_{mo}$	: 1,2,3 . sınıf kesitler için kısmi güvenlik katsayıları
$\gamma_{m1}$	: Burkulmaya haiz elemanlar için kısmi güvenlik katsayıları
$\gamma_{m2}$	: Bulonlu kesitlerde net kesit alanı için güvenlik katsayıları
$x$	: İlgili burkulma moduna ait azaltma katsayısı
$x_z$	: Z-Z eksenine ait azaltma katsayısı
$x_{lt}$	: Yanal burkulma hesabı azaltma katsayısı
$\mu$	: Çubuk narinliğine bağlı bir katsayı
$\emptyset_{vec}$	: Azaltma katsayısı
$\lambda$	: İlgili burkulma moduna ait azaltma katsayısı
$\beta$	: Katsayı
$\beta_a$	: Burkulmaya maruz elemanlar için katsayı
$\beta_w$	: Yanal burkulma hesabında gözönüne alınacak katsayı
$\beta_{my}$	: Y-Y eksenine bağlı eşdeğer üniform moment katsayısı
$\beta_{mz}$	: Z-Z eksenine bağlı eşdeğer üniform moment katsayısı
$\tau$	: Kayma gerilmesi
$\tau_{cr}$	: Elastik kritik kesme kuvveti
$\delta_1$	: Ani sehim
$\delta_0$	: Yüklenmemiş kirişin ani sehimini
$\delta_2$	: Sürekli sehim
$\delta_{max}$	: Maksimum toplam sehim
$\epsilon$	: Akma gerilmesine bağlı bir katsayı
$\pi$	: Pi sayısı

$\sigma$  : Gerilme  
 $\sigma_a$  : Akma gerilmesi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Tek köşebentli gövde birleşimi.....	4
Şekil 2.2.	Çift köşebentli gövde birleşimi.....	5
Şekil 2.3.	Üst ve Alt Başlık Köşebentli, Gövde Çift Köşebentli Birleşim....	6
Şekil 2.4.	Üst ve Alt Başlık Köşebentli Birleşim.....	7
Şekil 2.5.	Alın Levhalı Birleşim.....	8
Şekil 2.6.	Kiriş Gövde Derinliğince Alın Levhalı Birleşim.....	9
Şekil 2.7.	Kısa Alın Levhalı Birleşim.....	10
Şekil 2.8.	Kiriş kolon birleşimlerine ait M- $\Phi$ diyagramı.....	11
Şekil 2.9.	Yatay ötelenmesi tutulmamış sistemlerde kiriş kolon birleşimlerinin tavsiye edilen sınıflandırma diyagramı.....	13
Şekil 2.10.	Yatay ötelenmesi tutulmuş sistemlerde kiriş kolon birleşimlerinin tavsiye edilen sınıflandırma diyagramı.....	14
Şekil 2.11.	Kiriş- kolon birleşimlerinin EC3'e göre sınıflandırılması.....	17
Şekil 5.1.	Tip 1 yapısının üç boyutlu görünümü.....	45
Şekil 5.2.	Tip 1 yapısının x yönü 3 aksı görünümü.....	46
Şekil 5.3.	Tip 2 yapısının üç boyutlu görünümü.....	49
Şekil 5.4.	Tip 1 yapısının iki boyutlu x yönü 3 aksı görünümü.....	49
Şekil 5.5.	HEB 260 – IPE 220 Birleşimi.....	62
Şekil 6.1.	Rijit bileşim sonucu oluşan moment diyagramı (IPE240-HEB260 birleşimi) .....	70
Şekil 6.2.	Yarı rijit bileşim sonucu oluşan moment diyagramı ( IPE240-HEB260 birleşimi).....	71
Şekil 6.3.	Yarı rijit bileşim sonucu oluşan moment diyagramı ( IPE220-HEB260 birleşimi).....	72
Şekil 6.4.	Tip 1 yapısına ait rijit ve yarı rijit bileşimlerinin açıklık ve mesnet momentlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması.....	76

Şekil 6.5.	Rijit bileşim sonucu oluşan moment diyagramı (IPE240-HEB240 birleşimi).....	77
Şekil 6.6.	Yarı rijit bileşim sonucu oluşan moment diyagramı (IPE240-HEB240 birleşimi).....	77
Şekil 6.7.	Yarı rijit bileşim sonucu oluşan moment diyagramı (IPE220-HEB240 birleşimi).....	78
Şekil 6.8.	Tip 2 yapısına ait rijit ve yarı rijit bileşimlerinin açıklık ve mesnet momentlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması.....	80
Şekil 7.1.	Tip 1 ve Tip 2 yapısına ait rijit ve yarı rijit bileşimlerinin açıklık ve mesnet momentlerinin oluşan deplasmanlarla grafik üzerinde karşılaştırılması.....	81

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Kiriş- kolon birleşimlerinin EC3'e göre sınıflandırılması.....	16
Tablo 3.1.	EN 10025'e uygun yapı çelikleri için nominal akma ve kopma değerleri.....	20
Tablo 3.2.	Düşey yerdeğiştirmeler için tavsiye edilen sınır değerler.....	23
Tablo 3.3.	Kolon uçlarında yatay deplasmanlar için tavsiye edilen limit değerler.....	24
Tablo 3.4.	Kusurluluk katsayıları.....	27
Tablo 3.5.	Enkesitlere göre burkulma eğrileri seçimi.....	29
Tablo 3.6.	Azaltma katsayıları.....	30
Tablo 5.1.	Bina kat ağırlık ve kat kütleleri.....	54
Tablo 5.2.	X doğrultusunda periyot hesabı için birim yükleme.....	54
Tablo 5.3.	X doğrultusu için taban kesme kuvvetinin katlara göre dağılımı.....	55
Tablo 5.4.	Y doğrultusu için taban kesme kuvvetinin katlara göre dağılımı.....	55
Tablo 6.1.	Rijit bileşim için açıklık-mesnet moment sonuçları (IPE240-HEB260 birleşimi).....	70
Tablo 6.2.	Yarı rijit bileşim için açıklık-mesnet moment sonuçları (IPE240-HEB260 birleşimi).....	71
Tablo 6.3.	Yarı rijit ve rijit bileşim için giriş kesit sonuçları (IPE220-HEB260 birleşimi).....	72
Tablo 6.4.	Rijit bileşim için giriş deplasman sonuçları.....	73
Tablo 6.5.	Yarı rijit bileşim için giriş deplasman sonuçları.....	74
Tablo 6.6.	Rijit bileşim için kolon uç deplasman sonuçları.....	74
Tablo 6.7.	Yarı rijit bileşim için kolon uç deplasman sonuçları.....	75
Tablo 6.8.	Rijit bileşim için giriş deplasman sonuçları.....	75

Tablo 6.9.	Rijit bileşim için kiriş deplasman sonuçları (IPE240-HEB240 birleşimi).....	77
Tablo 6.10.	Yarı Rijit bileşim için kiriş deplasman sonuçları (IPE240-HEB240 birleşimi).....	77
Tablo 6.11.	Yarı Rijit bileşim için kiriş deplasman sonuçları (IPE220-HEB240 birleşimi).....	78
Tablo 6.12.	Yarı rijit ve rijit bileşim için kiriş kesit sonuçları (IPE240-HEB240 birleşimi).....	78
Tablo 6.13.	Rijit bileşim için kiriş deplasman sonuçları .....	79
Tablo 6.14.	Yarı rijit bileşim için kiriş deplasman sonuçları.....	79
Tablo 6.15.	Rijit bileşim için kolon uç deplasman sonuçları.....	80
Tablo 6.16.	Yarı rijit bileşim için kolon uç deplasman sonuçları.....	80

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Rijit; Yarı rijit, Deplasman

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 yapı analizinde büyük kolaylıklar sağlar fakat düğüm noktasının gerçek davranışı göz ardı edilmiş olur.

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 rijit çerçeve sistemleri ile karşılaştırmak sureti ile deplasmanlar üzerindeki etkisi ele alınmıştır.

Bu çalışmada yarı-rijit düğüm noktalarının birçok parametreye bağlı hesap metotlarından olan eşdeğer T uç yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları irdelenmiştir.



# **A STUDY ON COMPARE OF FRAMES RIGID AND SEMI-RIGID CONNECTIONS AND EFFECTS ON DISPLACEMENT**

## **SUMMARY**

Keywords : Rigid, semi-rigid , Displacement.

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. These assumptions simplify calculations very much but disregard joint behavior.

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 and the effects of on displacement.

In this thesis we try to study about calculations of semi rigid joints which depend on a lot of parametres. The T stub method was used.and the results of these numerical examples are examined.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çelik yapılarda yapılan hesaplarda birleşimlerin davranışları dikkate alınmaz. Bu nedenle çelik çerçevelerin analizinde birleşim ya tam rijit veya mafsallı olarak tasarlanmaktadır. Yani mafsallı birleşimde birleşimi oluşturan elemanlar arasında moment aktarılmadığı sadece birbirlerine göre dönme yaptıkları kabul edilir. Rijit birleşimde ise birleşimi oluşturan elemanların birbirlerine moment aktardığı ve dönmenin olmadığı kabul edilir. Buna göre çerçeveler boyutlandırılır. Tabii bu kabuller yapısal analizde büyük kolaylık sağlar. Fakat bu kabullerle yapılan analizler tam olarak gerçeği yansıtmaz.

Yapılan deneylerden elde edilen veriler göstermiştir ki mafsallı olarak kabul edilen birleşimler belli bir dönme rijitliğine sahiptir ve rijit olarak kabul edilen birleşimler de de birleşimi oluşturan elemanlar arasında belli bir rölatif dönme olduğu görülebilmektedir [1].

Bu durumda yarı rijit düğüm noktası kavramı ortaya çıkmaktadır. Bu kavram ise şöyle tanımlanabilir; birleşimi oluşturan elemanlar arasında moment aktarımının olduğu (yani rijit bileşim gibi davrandığı) ve aynı zamanda birleşimi oluşturan elemanlar arasında da rölatif dönmenin olduğu (yani mafsallı bileşim gibi davrandığı) düğüm noktalarıdır.

Birleşimlerin davranışını anlamamanın yolu düğüm noktalarına ait moment – dönme diyagramının çizilmesidir. Ancak bu birleşimin moment- dönme diyagramı nonlineer bir yapıya sahiptir. Bu diyagram birçok parametreye bağlıdır.

Kolonlar genellikle sürekli olarak yapılarak kirişler kolonlara bulonlar veya kaynaklar yardımı ile bağlanır. Ancak, yapılan çalışmalar yapı davranışının birleşim tipine bağlı olarak da değiştiğini göstermiştir [2].

Yarı – ampirik veya analitik formüller M-Ø (Moment-dönme) diyagramı için geliştirilmiştir. Bunun sonucunda birleşimin tipi ve geometrisi ortaya çıkmaktadır. Çeşitli çalışmalar sonucunda bulunan lineer ve nonlineer fonksiyonlar, polinomial fonksiyonlar, ramberg- osgood fonksiyonu ve Richard-abbott fonksiyonu (güç modeli olarak bilinen) önem arz etmektedir [3].

Bu çalışmanın amacı; çelik yapılarda rijit ve yarı rijit çerçeve sistemlerinin karşılaştırılması ve kat yüksekliğine bağlı olarak artan kolon uç deplasmanlarının bu birleşimlerdeki etkisini araştırmaktır.

Altı bölümden oluşan bu çalışmanın;

İkinci bölümünde birleşim sınıflandırılması üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümünde eurocode3 genel ilkeleri ve hesap metotları üzerinde durulmuştur.

Dördüncü bölümde yarı rijit birleşim kavramının tanımı ve bulonlu yarı rijit düğüm noktalı birleşimin hesap metodu üzerinde durulmuştur.

Beşinci bölümde sayısal örnekler verilmiş ve örnek olarak bir bileşim hesabı yapılmıştır.

Altıncı bölümde sayısal örneklerin sonuçları değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

## **BÖLÜM 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.

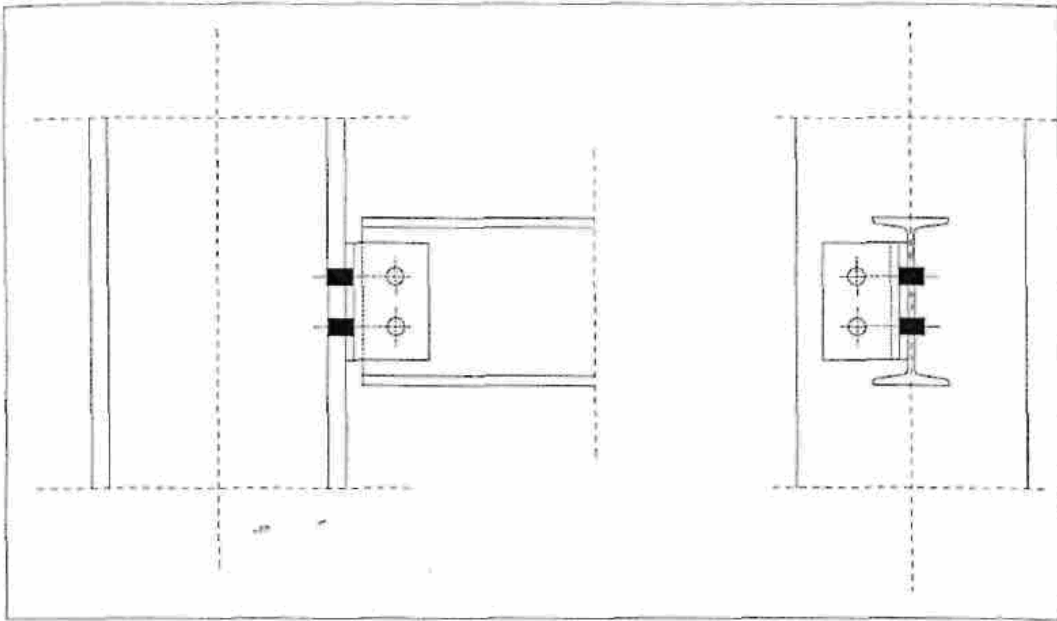
Pratiğe dönük uygulamaların bu kadar gecikmiş olmasının nedenlerinden en önemlisi, giriş-kolon birleşimlerinin yapının tüm davranış parametrelerini dikkate alan bir yaklaşımla sınıflandırılabilmesinin çok güç olmasıdır. Bu durum, pek çok birleşim tipinin ve buna bağlı olarak da fazla sayıda değişkenin mevcut olmasının doğal bir sonucudur.

Bu bölümde, ilk olarak Kishi ve Chen (1990)' in yaptıkları deneyler sonucunda elde ettikleri birleşim sınıflandırılması tanıtılacak ikinci olarak da Eurocode3'e göre birleşim sınıflandırılması incelenecektir [4].

## 2.1. Çelik Yapılarda Kullanılan Birleşim Tipleri

### 2.1.1. Tek köşebentli gövde birleşimi

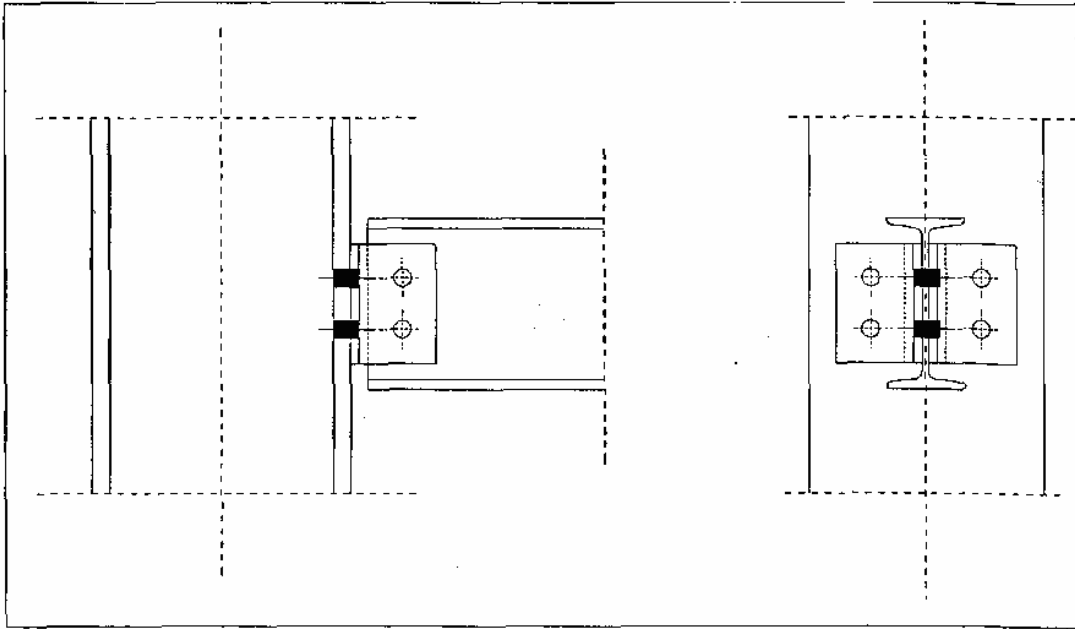
Şekil 2.1.'de tek köşebentle yapılmış kiriş-kolon birleşiminin kesit ve görünüşü gösterilmiştir. Bu tip bir birleşim tek köşebentin bulonla veya kaynakla kolon başlığına ve kiriş gövdesine sabitlenmesi sureti ile yapılır. Pratikte bu tip birleşimlerde genel olarak köşebentin yerini tek levha alır. Köşebentle yapılan birleşime nazaran daha az malzeme kullanılmasına rağmen birleşim rijitliği aynı veya daha fazladır. Kishi ve Chen (1990) yapmış oldukları deneylerle bu tip birleşimlerin moment aktarmadığı dolayısıyla mafsallı bir birleşim olarak göz önüne alınması gerektiğini söylemişlerdir [4].



Şekil 2.1. Tek köşebentli gövde birleşimi [4]

### 2.1.2. Çift köşebentli gövde birleşimi

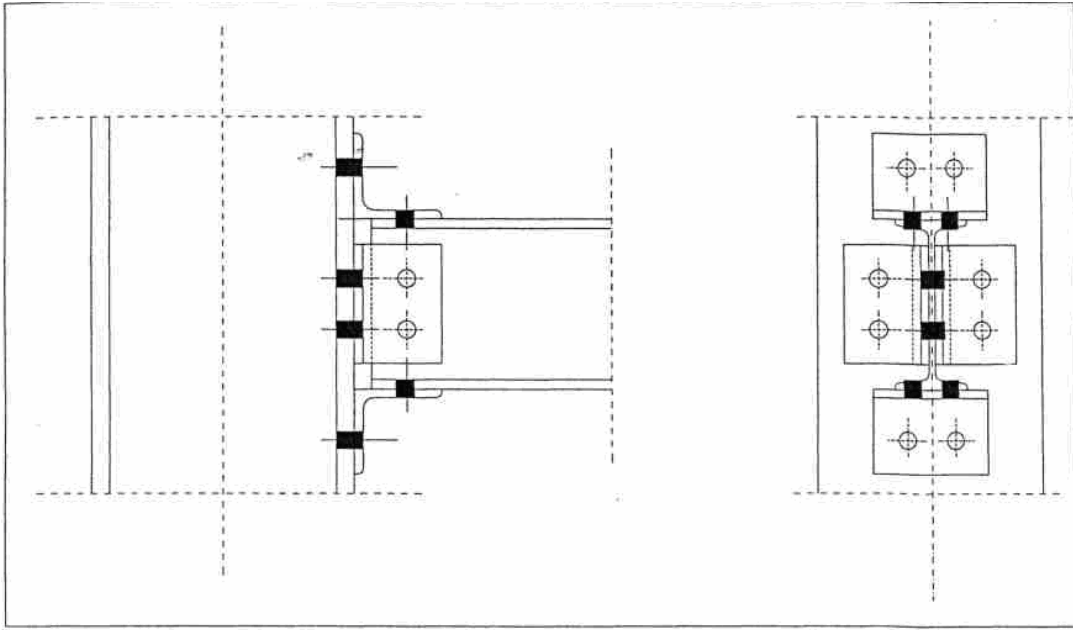
Şekil 2.2.'de çift köşebentle yapılmış kiriş-kolon birleşiminin kesit ve görünüşü gösterilmiştir. Bu tip bir birleşim çift köşebentin bulonla veya kaynakla kolon başlığına ve kiriş gövdesine sabitlenmesi sureti ile yapılır. Bu tip birleşimlerde daha çok yüksek mukavemetli bulonlar kullanılır. Bu şekilde tasarlanan düğüm noktasının rijitliği tek köşebentle teşkil edilene göre daha fazla olmasına karşın yine de birleşim mafsallı olarak göz önüne alınmalıdır [4].



Şekil 2.2. Çift köşebentli gövde birleşimi [4]

### 2.1.3. Üst ve alt başlık köşebentli, gövde çift köşebentli birleşim

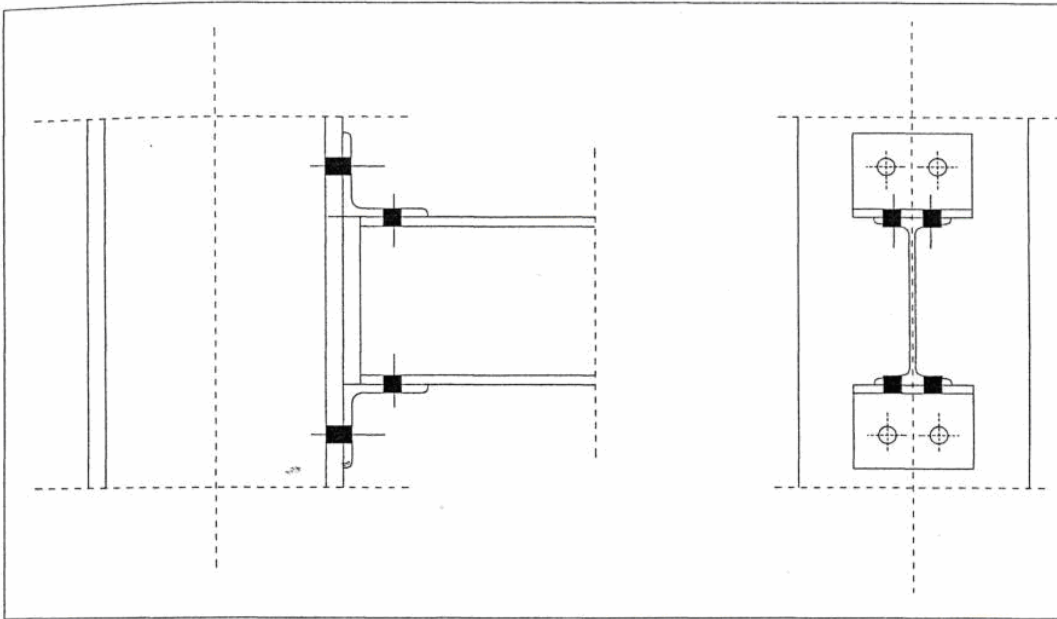
Şekil 2.3.'de gösterilen bu tip bir birleşim kiriş gövdesindeki çift köşebentlerin yanı sıra kiriş üst ve alt flanşlarında da köşebentlerin kullanılmasından ibarettir. Kiriş alt ve üst başlıklarında kullanılan köşebentlerin moment aktarımında, gövdede kullanılan köşebentlerin ise kesme kuvvetinin aktarılmasında çalıştığı kabul edilir. Bu tip bir birleşim yarı rijit bölgeye tekabül etmektedir [4].



Şekil 2.3. Üst ve alt köşebentli, gövde çift köşebentli birleşimi [4]

#### 2.1.4. Üst ve alt başlık köşebentli birleşim

Şekil 2.4.'de gösterilen 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 yan rijit bir birleşimdir [4].

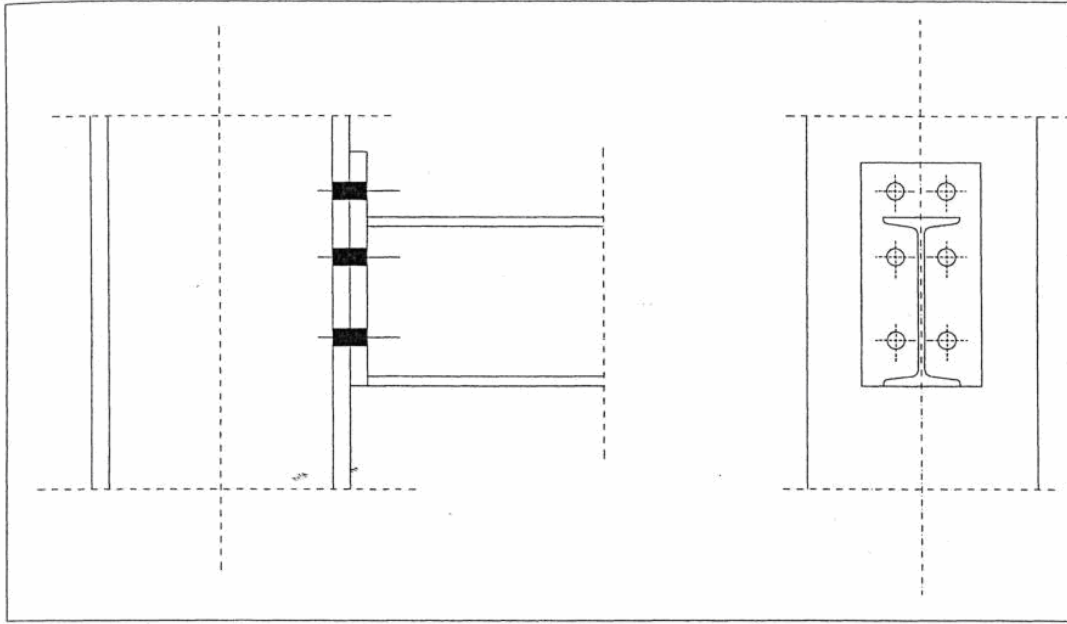


Şekil 2.4. Üst ve alt başlık köşebentli birleşim [4]



### 2.1.5. Alın levhalı birleşim

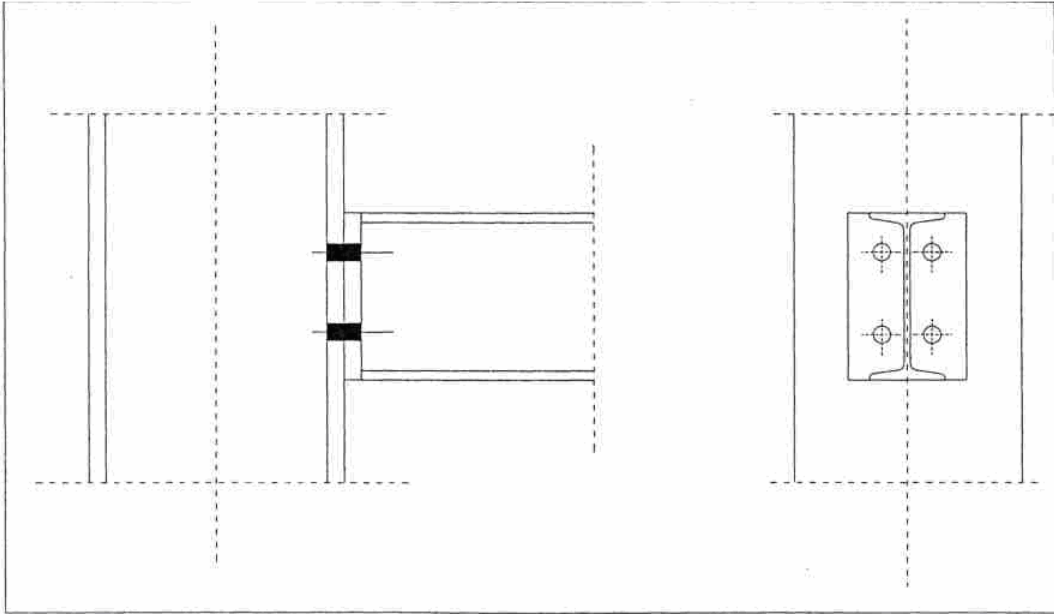
Şekil 2.5.'de gösterilen bu tip bir birleşimde önce çelik levha atölyede kiriş ucuna kaynaklanır daha sonra şantiyede alın levhalı kirişin kolon flanşına cıvatalanması sureti ile birleşim teşkil edilmiş olur. Alın levhalı birleşim tipi 1960'lardan beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu birleşim iki 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 [4].



Şekil 2.5. Alın levhalı birleşim tipi [4]

### 2.1.6. Kiriş gövde derinliğince alın levhalı birleşim

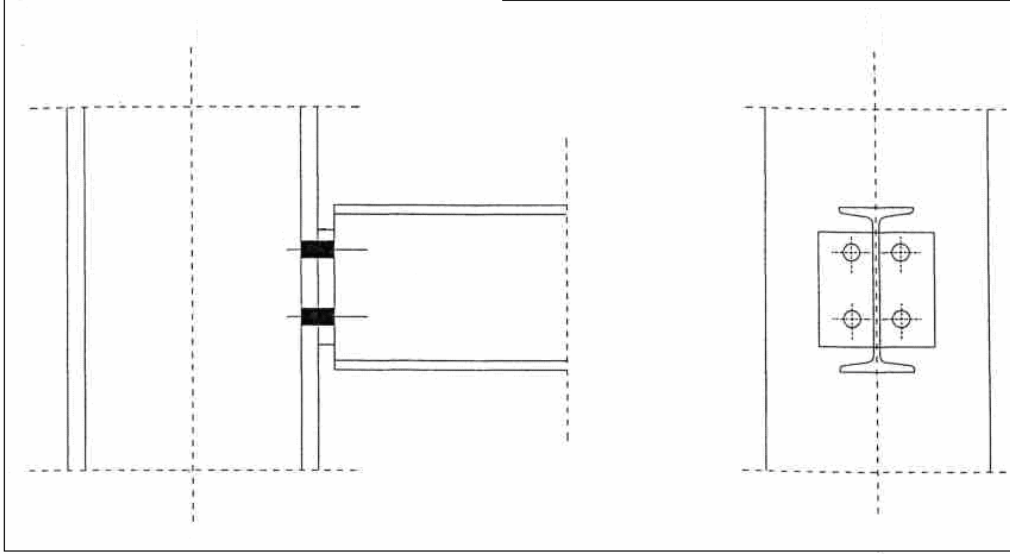
Şekil 2.6.'de gösterilen bu tip birleşimde de alın levhalı birleşimde olduğu gibi önce levha kirişe kaynatılır daha sonra bulonlarla kolona bağlanır. Kiriş gövde derinliğince alın levhalı birleşiminde, alın levhalı birleşimden farklı olarak kiriş başlıklarının rölatif dönmesini önleyecek levha uzatmaları burada yapılmadığı için bu tip bir düğüm noktasının yarı rijit bir düğüm noktası gibi davranacağı gözönüne alınmalıdır [4].



Şekil 2.6. Kiriş gövde derinliğince alın levhalı birleşim tipi [4]

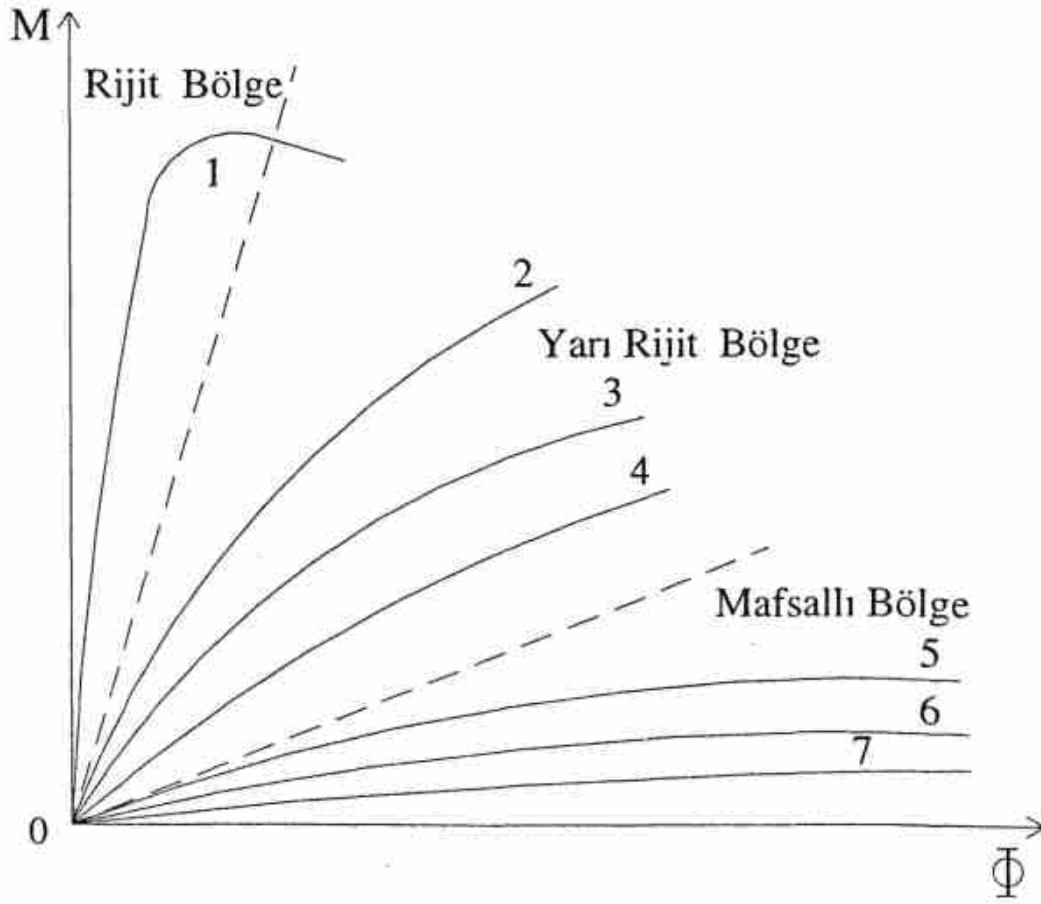
### 2.1.7. Kısa alın levhalı birleşim

Şekil 2.7.'de gösterilen bu tür bir birleşimde kullanılan levha boyutu kiriş derinliğinden küçüktür. Bu şekilde tasarlanan bir düğüm noktası mafsallı birleşim gibi davranacağı düşünülmektedir [4].



Şekil 2.7. Kısa alın levhalı birleşim tipi [4]

Şekil 2.8.' de yukarıda ifade edilen birleşim tiplerinin M-Ø ( Moment-dönme) diyagramındaki yerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Kiriş kolon birleşimlerine ait M- $\Phi$  diyagramları

Eğrilerin temsil ettikleri birleşim tipleri sırasıyla;

1. Alın Levhalı Birleşim tipi
2. Kiriş Derinliğince Alın Levhalı Birleşim Tipi
3. Üst ve Alt Başlık Köşebendi Birleşim Tipi
4. Üst ve Alt Başlık Köşebendi, 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 [5].

### 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 kriterlerini 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;

- $S_j < 0,5 * E * I_b / L_b$  ise mafsallı
- $0,5 * E * I_b / L_b < S_j < 25 * E * I_b / L_b$  ise yarı-rijit
- $S_j > 25 * E * I_b / L_b$  ise rijit

Yanal ötelenmesi tutulmuş sistemlerde;

- $S_j < 0,5 * E * I_b / L_b$  ise mafsallı
- $0,5 * E * I_b / L_b < S_j < 8 * E * I_b / L_b$  ise yarı-rijit
- $S_j > 8 * E * I_b / L_b$  ise rijit olarak göz önüne 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

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

$M' < 2/3$  için

$$M' = 25 \phi$$

$2/3 < M' < 1,0$  için

$$M' = (25 \phi + 4) / 7$$

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.

$$K_b/K_c > 0,1$$

$K_b$ : En üst kattaki tüm kirişlerin  $I_b / L_b$  değeri

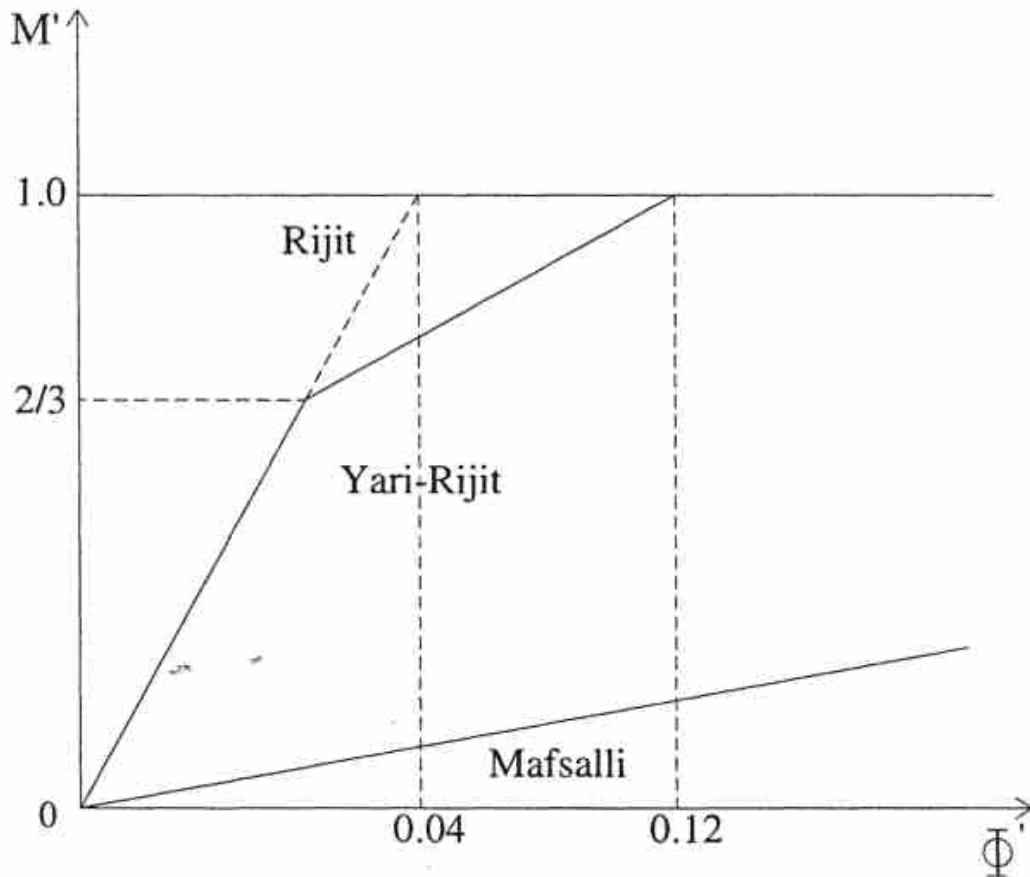
$K_c$ :- Gözönüne alınan kattaki tüm kolonların  $I_c / L_c$  değeri

$I_b$  :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.

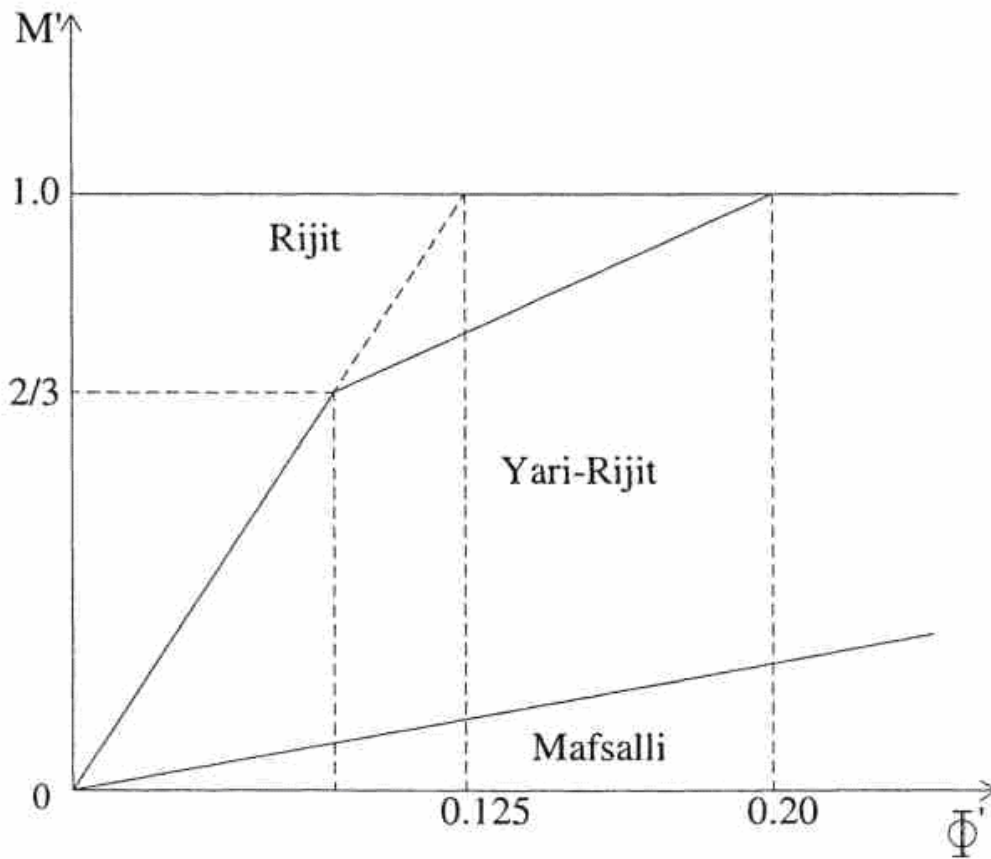


Şekil 2.9. Yatay ötelenmesi tutulmamış sistemlerde kiriş kolon birleşimlerinin tavsiye edilen sınıflandırma diyagramı [5]

Yatay ötelenmesi tutulmuş sistemlerde birleşimin rijitliğini belirleyen sınır çizgilerin parametrik ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$M' < 2/3 \text{ için} \quad M' = 8 \Phi$$

$$2/3 < M' < 1,0 \text{ için} \quad M' = (20 \Phi + 3) / 7$$



Şekil 2.10. Yatay ötelenmesi tutulmuş sistemlerde kiriş kolon birleşimlerinin tavsiye edilen sınıflandırma diyagramı [5]

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 almıştır.

Parametrik ifadelerde katsayılar kullanılarak yapılan gerekli düzeltmelerle bu sınırlar elde edilmektedir. İkinci olarak Eurocode 3 birleşimi standart sınıflandırma sisteminde olduğu gibi tek basma ele almamış çerçevenme tarzının da birleşimin davranışına olan etkisini de ele almıştır.

### **2.2.2. Taşıma güçlerine göre sınıflandırma**

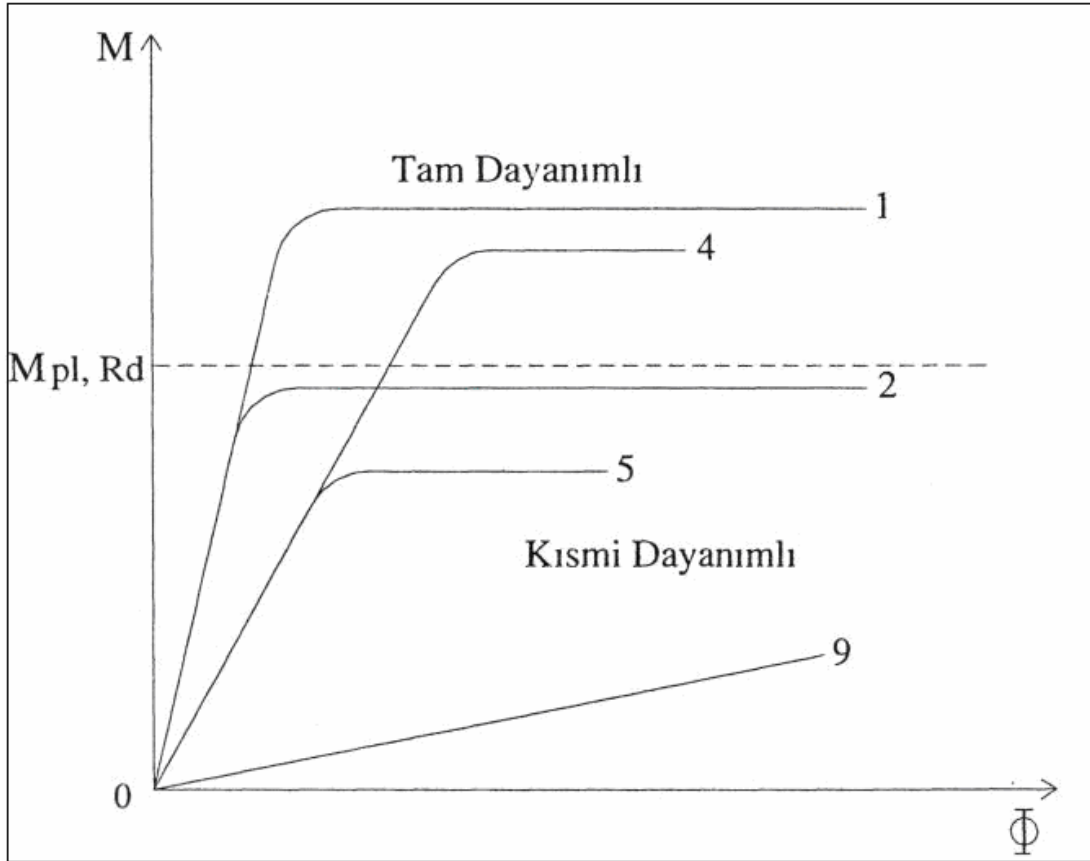
Eurocode 3 kiriş kolon birleşimlerini taşıma güçlerine göre şu şekilde sınıflandırmaktadır:

- 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 [5].



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



Şekil 2.11. Kiriş- kolon birleşimlerinin EC3'e göre sınıflandırılması [5]

## **BÖLÜM 3. EUROCODE 3'ÜN GENEL İLKELERİ**

### **3.1. Kapsam**

Eurocode 3, Avrupa Birliđi 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: Kagir 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 sağlamaktadır.

Tablo 3.1. EN 10025'e uygun yapı çelikleri için nominal akma ve kopma değerleri[5]

Nominal Çelik Sınıfı	Kalınlık t (mm)			
	t ≤ 40 mm		40 mm ≤ t ≤ 100 mm	
	fy (N/mm2)	fu (N/mm2)	fy (N/mm2) fy: Akma sınırı	fu (N/mm2) fu:Kopma sınırı
Fe 360	1	2	.....	.....
Fe 430	4	5	.....	.....
Fe 510	.....	.....	9	9

t=Elemanın et kalınlığı ( Hadde profilleri için başlık kalınlığı, yapma kesitler için başlık veya gövde kalınlığı dikkate alınır.)

### 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 mertbe teori ile yapılabilmekte iken ötelenen çerçevelerin analizi ikinci mertbe 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 kullanılabilmeleri 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 diyagramları hesaplanırken yerel burkulmanın etkilerinin göz önünde 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, depremlili durum için Eurocode 8'den veya yapının tasarımcısı ile müşterinin üzerinde anlaşacağı bir diğer yük şartnamesinden alınabilir. Etkilere uygulanacak yük faktörleri ( $\gamma_k$ ) "kısmi güvenlik katsayıları" adını alır ve etkinin sınıfına ve içinde bulunduğu yük kombinasyonu'na bağlı olarak farklı değerler alır.

### 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 yer değiştirme ve çökmeler
- c) Binanın taşıyıcı olmayan elemanlarına zarar verecek kadar fazla olan titreşim ve yer değiştirmeler

Deplasmanların hesabında ikinci mertbe teorilerinin ve kullanma durumlarında oluşabilecek plastik mafsalların etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

Kullanma sınır durumuna göre tasarımda, ilgili yük kombinasyonlarına göre yapılan analiz sonuçlarından elde edilen düşey yerdeğiştirme, yatay yerdeğiştirme ve titreşim değerlerinin Tablo 3.2.ve Tablo 3.3.' da verilen sınır değerlerden az olması gerekmektedir.

Tablo 3.2. Düşey yerdeğiştirmeler için tavsiye edilen sınır değerler [5]

Durum	Limit Değerler	
	$\delta_{max}$	$\delta_2$
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
$\delta_{max}$ ' in yapının görünümünü etkilediği durumlar	L/250	---
<p>L = Elemanın tasarım boyu (Konsol kirişlerde L boyunun 2 katı alınır.)</p> <p><math>\delta_2</math> = Sürekli sehım</p> <p><math>\delta_{max}</math> = Maksimum toplam sehım</p>		



Tablo 3.3. Kolon uçlarında yatay deplasmanlar için tavsiye edilen limit değerler [5]

Krensiz hal yapı çerçeveleri	$h / 300$
Diğer tek katlı tüm binalar	$h / 500$
Çok katlı binalar	
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 yükü sınır durumu

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

1, 2 ve 3 no' lu sınıf enkesitleri	$\gamma_{m0} = 1.1$
4 no' lu sınıf enkesitleri	$\gamma_{m1} = 1.1$
Burkulmaya haiz elemanlar	$\gamma_{m1} = 1.1$
Bulon delikleri mevcut net kesitlerde	$\gamma_{m2} = 1.25$

### 3.3. Eurocode 3'e Göre Taşıma Yükü Sınır Durumuyla Kesit Boyutlandırılması

Taşıma yükü sınır durumu kullanılması durumunda kesit tasarımı için Eurocode 3'te aşağıdaki kıstasların uygulanmasını zorunlu kılmıştır.

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

#### 3.3.1.Çekme ubukları

Çekme ubuklarında yapılması gerekli kontrol:

- Enkesit Dayanımı

#### 3.3.2. Basınç ubukları

Basınç ubuklarında yapılması gerekli kontrol:

- Enkesit Dayanımı
- Kesit burkulma dayanımı

#### 3.3.3. Kirişler

Eğilmeye maruz elemanlarda kontrol edilmesi gereken kriterler aşağıda gösterilmiştir

- Enkesit Dayanımı
- Yanal Burkulma dayanımı
- Kesme burkulması Dayanımı
- Flanş burkulması dayanımı
- Kesit gövde 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:

$$N_{sd} \leq N_{tRd}$$

$N_{sd}$ ; Elemana etkiyen eksenel kuvvet değeri

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

a) Enkesite ait tasarım plastik dayanımı

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

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

$$N_{u,Rd} = 0,9 * A_{net} * f_u / \gamma_{mo}$$

#### 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:

$$N_{sd} \leq N_{cRd}$$

$N_{sd}$ ; Elemana etkiyen eksenel kuvvet değeri

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

a) Enkesite ait tasarım plastik dayanımı  $N_{pl,Rd} = A * f_y / \gamma_{mo}$

b) Enkesite ait burkulma dayanımı

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

### 3.3.4.3. Burkulma dayanımı

Basınç elemanının burkulma dayanımı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$N_{b,Rd} = x \cdot \beta_a \cdot A \cdot f_y / \gamma_{m1}$$

$\beta_a$ ; 1,2 ve 3 nolu enkesitler için "1"

$\beta_a$ ; 4 nolu enkesitler için " $A_{eff} / A$ "

x; ilgili burkulma moduna ait azaltma katsayısı

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

$$x = 1 / (\emptyset + [\emptyset^2 - \lambda'^2]^{0.5}) \quad x \leq 1$$

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

$$\lambda' = [\beta_a * A * f_y / N_{cr}]^{0.5} = (\lambda / \lambda_1) [\beta_a]^{0.5}$$

$$\lambda_1 = \pi * [E / f_y]^{0.5} = 93,9 * \varepsilon$$

$$\varepsilon = [235 / f_y]^{0.5} \quad f_y = N/mm^2$$

a; Kusur katsayısı

$\lambda$ ; 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 3.4' den alınır.

Tablo 3.4. Kusurluluk katsayıları [5]

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

Azaltma katsayısı x,  $\lambda'$  ne bağlı olarak eurocod 3.1.1 deki 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

$$M_{b,rd} = X_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{m1}$$

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

$X_{LT}$ ; Yanal burkulma hesabı azaltma katsayısı

$\beta_w$ ; Katsayı olmak üzere;

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

$\beta_w = W_{ely} / W_{ply}$  3 nolu enkesitler için

$\beta_w = W_{elfy} / W_{ply}$  4 nolu enkesitler için

$W_{ply}$ ; Kesitin plastik mukavemet momenti

$f_y$ ; Çelik elemanın akma gerilmesi

$\gamma_{m1}$ ; Elemanın burkulmaya karşı güvenlik katsayısı

Tablo 3.5. Enkesitlere göre burkulma eğrileri seçimi [5]

Enkesit	Sınırlar	Burkulma Ekseni	Burkulma Eğrisi
Hadde ürünü I Kesitler	$h/b > 1.2t_f > 40$ mm	x-x	a
		y-y	b
	$40$ mm $> t > 100$ mm	x-x	b
		y-y	c
	$h/b < 1.2t_f < 40$ mm	x-x	b
		y-y	c
$t_f < 100$ mm	x-x	d	
	y-y	d	
Yapma I Kesitler	$t_f < 40$ mm	x-x	b
		y-y	c
	$t_f > 40$ mm	x-x	c
		y-y	d
Tüp Kesitler	sıcakta şekil verilmiş	Herhangi biri	a
	soğukta şekil verilmiş	Herhangi biri	b
Kaynaklı kutu Kesitler	Aşağıda belirtilen tiplerin dışında	Herhangi biri	b
	Kalın kaynak dikişlilerde		
	$b/t_f < 30$	x-x	c
$h/t_w < 30$	y-y	c	
U, L, T ve dolu kesitler		Herhangi biri	c

Tablo 3.6. Azaltma katsayıları [5]

Burkulma Eğrisi				
$\lambda'$	a	b	c	d
0,2	1	1	1	1
0,3	0,9775	0,9641	0,9491	0,9235
0,4	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,5	0,9243	0,8842	0,843	0,7793
0,6	0,89	0,8371	0,7854	0,71
0,7	0,8447	0,7837	0,7247	0,6431
0,8	0,7957	0,7245	0,6622	0,5797
0,9	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
1	0,6656	0,597	0,5399	0,4671
1,1	0,596	0,5352	0,4842	0,4189
1,2	0,53	0,4781	0,4338	0,3762
1,3	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,4	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,5	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766
1,6	0,3332	0,3079	0,2842	0,2512
1,7	0,2994	0,2781	0,2577	0,2289
1,8	0,2702	0,2521	0,2345	0,2093
1,9	0,2449	0,2294	0,2141	0,192
2	0,2229	0,2095	0,1962	0,1766
2,1	0,2036	0,192	0,1803	0,163
2,2	0,1867	0,1765	0,1662	0,1508
2,3	0,1717	0,1628	0,1537	0,1399
2,4	0,1585	0,1506	0,1425	0,1302
2,5	0,1467	0,1397	0,1325	0,1214
2,6	0,1362	0,1299	0,1234	0,1134
2,7	0,1267	0,1211	0,1153	0,1062
2,8	0,1182	0,1132	0,1079	0,0997
2,9	0,1105	0,106	0,1012	0,0937
3	0,1036	0,0951	0,0951	0,0882

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

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

$$a_{LT} = 0,21$$

Tek parça kesitler

$$a_{LT} = 0,49$$

Yapma kesitler

$X_{LT}$ 'nin hesabı için boyutsuz narinlik katsayısı  $\lambda_{LT}'$  hesap edilip

$\lambda = \lambda_{LT}$  ve  $x = x_{LT}$  olarak Eurocode3.1.1 Tablo3.11 'en bakılır.

- Tek parça kesitler için a eğrisi

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

$$\lambda^c = [\beta_w * W_{pl,y} * f_y / M_{cr}]^{0.5} = (\lambda_{LT} / \lambda_1) [\beta_w]^{0.5} \quad (3.13)$$

$$\lambda_1 = \pi * [E / f_y]^{0.5} = 93,9 * \epsilon$$

$$\epsilon = [235 / f_y]^{0.5} \quad f_y = N/mm^2$$

$M_{cr}$ ; Yanal burkulmayı oluşturan elastik kritik moment

## 2. Kesme burkulması

- Berkitmeli gövdelerde  $d / t_w > 69\epsilon$  veya berkitmesiz gövdelerde

$d / t_w > 30 * \delta_y * \sqrt{k_T}$  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.

$$V_{b,a,rd} = d * t_w * \tau_{be} / \gamma_{rn1} \quad (3.14)$$

$d$ ; Kiriş yüksekliği

$t_w$ ; Kiriş gövde kalınlığı

$\tau_{be}$ ; Basit kritik kesme mukavemeti

$\tau_{be}$ ; Basit kritik kesme mukavemet değeri aşağıdaki gibi belirlenir:

$$a) \lambda_w \leq 0.8 \text{ ise } \tau_{be} = (f_{yw} / \sqrt{3})$$

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

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

$\lambda_w$  gövde narinliği aşağıdaki formülden hesaplanır;

$$\lambda_w = [(f_{yw} / \sqrt{3}) / \tau_{cr}]^{0.5} = (d / t_w) / 37.4 * \epsilon * \sqrt{k_T}$$

$\tau_{cr}$ ; Elastik kritik kesme mukavemeti  $k_T$ ; Kesme için burkulma katsayısı

## 3. Azaltılmış Flanş Burkulması

Basınç başlığının flanşını gövde düzlemi içerisinde tutabilmek amacıyla  $d / t_w$  oranının

aşağıdaki kriteri sağlaması gerekir;

$$d / t_w < k * (E / f_{yf}) * [A_w / A_{fc}]^{0.5}$$



$A_w$ ; 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

### 3.3.5. 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;

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

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

b) Çift yönlü eğilmeye maruz elemanlar

$$(M_{y,sd} / M_{Ny,Rd})^a + (M_{z,sd} / M_{Nz,Rd})^b \leq 1$$

a ve b ;

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

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

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

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

c) Eğilme, kesme ve eksenel kuvvet etkisi tasarım kesme kuvvetinin değeri  $V_{sd,plastik}$  kesme dayanımı  $V_{pl,Rd}$ 'nin %50'sini aşmıyorsa;

$$(M_{s,Rd} / M_{pl,Rd}) + (N_{sd} / N_{pl,Rd}) \leq 1 \text{ formülü geçerlidir.}$$

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

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

### 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;

$$\sigma_{com.Ed} = M_{sd} / W_{com} - \phi_w N_{t.sd} / A$$

$W_{com}$ ; 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 basınca maruz 1. ve 2.sınıf enkesite sahip elemanlarda aşağıdaki kriterler sağlanmalıdır.

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

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

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

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

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

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

$\beta_{My}$  ve  $\beta_{Mz}$ ; 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:

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

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

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

$\beta_{MLT}$ ; eşdeğer üniform azaltma katsayısı

### 3.3.7. Çerçeve ara bağlantılı çubuklarda narinlik hesabı

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

$$I_{eff} = 0.5 \cdot h_0^2 \cdot A_f + 2 \cdot \mu \cdot I_f \quad (3.36)$$

$I_{eff}$ : Efektif rijitlik

$h_0$  : Profillerin ağırlık merkezleri arasındaki mesafe

$A_f$ : Tek bir profilin alanı

$I_f$ : Tek bir profilin atalet momenti

$\mu$  : Çubuk narinliğine bağlı bir katsayı olup aşağıdaki şekilde belirlenir :

- $\lambda \leq 75$  ise  $\mu = 1$
- $75 < \lambda < 150$  ise  $\mu = 2 - \lambda / 75$
- $\lambda > 150$  ise  $\mu = 0$

$l_f$ : Göz önüne alınan düzlemdeki burkulma boyu

$i_o$ : Efektif atalet yarıçapı olup aşağıdaki şekilde belirlenir [6];

$$i_o = (0.5 \cdot I_1 / A_f)$$

## **BÖLÜM 4. BULONLU 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 [5].

Yarı-rijit birleşimlerde kirişlerden kolonlara moment aktarılmakta ancak aynı Zaman da birleşen elemanlar arasında rölatif dönmeler de oluşabilmektedir. Böylelikle yarı-rijit düğüm noktalı olarak tasarlanan çerçeve sistemlerinde analiz sonuçlarında rijit ve mafsallı olan çerçevelerdekilere göre kirişlerin ortasındaki maksimum moment ve sehim değerlerinin arttığı 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 nonlineer 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 nonlineer 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 (çekme, 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, 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'in 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 için 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,'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 köşebendi birleşim tipinde köşebent uzunluğunun yarısı ) hesaplanmalıdır. T uç bölgesinin dayanımının belirlenebilmesi için üç farklı göçme mekanizması tanımlanmıştır [1].

- 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 :

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

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

$\Sigma B_{rd}$  = 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 etkilemediği durumdur ve böylelikle flanş ve gövdede plastik mafsall oluşmaz. Bu durumda bu göçme mekanizmasının dayanımı:

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

Tüm göçme mekanizmaları için:

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

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

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

Şayet bu üç mekanizma durumunu boyutsuz büyüklükler  $\beta_{Rd}$  ve  $\lambda$  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 [1].



#### 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

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

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

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

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:

$$l_{eff} = 0,5*w + 2*m + 0,625*n$$

$$l_{eff} = 4*m + 1,25*$$

$$l_{eff} = 2*\pi*m$$

$$l_{eff} = 0,5*b$$

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 :

$$l_{eff} = \alpha * m$$

$$l_{eff} = 2 * \pi * m$$

( $\alpha$  katsayısı  $m$  ve  $e$  değerlerine bağlı olarak tanımlanan bir diyagramdan alınır.)

uzunluklarının küçük olanına eşittir ve dayanım benzer şekilde hesaplanır.

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

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

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

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

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

$$\text{Alın levhasının rijitliği: } K_2 = 0,85 * l_{eff} * t_p^3 / m_p^3 \quad (4.19)$$

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

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

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

Bulonların rijitliği ;

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

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

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

$$F_{Rd,4} = P_t * b_{eff} * t_{wc} * f_y / \gamma_{mo} \quad (4.23)$$

$b_{eff}$  : (4.10) denklemlerinde hesaplanan büyüklüklerin en küçüğü

$t_{wc}$ : Kolon gövde kalınlığı

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

$\beta = 1 \rightarrow p_t = p_{t1}$  Kenar düğüm noktalarında

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

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

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

Rijitlik:

$$K_4 = 0,7 * beff * t_{wc} / d_c \quad (4.25)$$

#### 4.2.1.2. Basınç bölgesinin dayanımı

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

$$F_{c,Rd,1} = k_{wc} * p_c * beff * t_{wc} * f_y / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc}' < 0,67) \quad (4.26)$$

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

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

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

$t_{fb}$ : 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;

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

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

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

Rijitlik;

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

#### 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:

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

$$\text{plastik moment dayanımı; } M_{Rd} = F_{Rd} * h \quad [5] \quad (4.37)$$

Elastik Moment Dayanımı

$$M_e = 2/3 * M_{Rd}$$

$$(4.38)$$

Birleşimin Dönme Rijitliği:

$$S_{j,ini} = E * h^2 /$$

$$(4.39)$$

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.

## **BÖLÜM 5. SAYISAL ÖRNEKLER**

Sayısal uygulama bölümünde çok katlı bir yapı ile tek katlı bir yapı ele alınarak yarı-rijit bileşimlerin sistem boyutlandırması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Her iki yapıda da bileşimler ideal rijit olarak kabul edilmiş ve tek bir çerçeve ele alınarak boyutlandırılmıştır. Y yönündeki kirişler, tali kirişler, düşey çaprazlar mafsalı bağlandıklarından dikkate alınmamıştır. Daha sonra aynı yapıların bileşimleri yarı rijit olarak kabul edilip eurocode3 'e göre boyutlandırılmıştır.

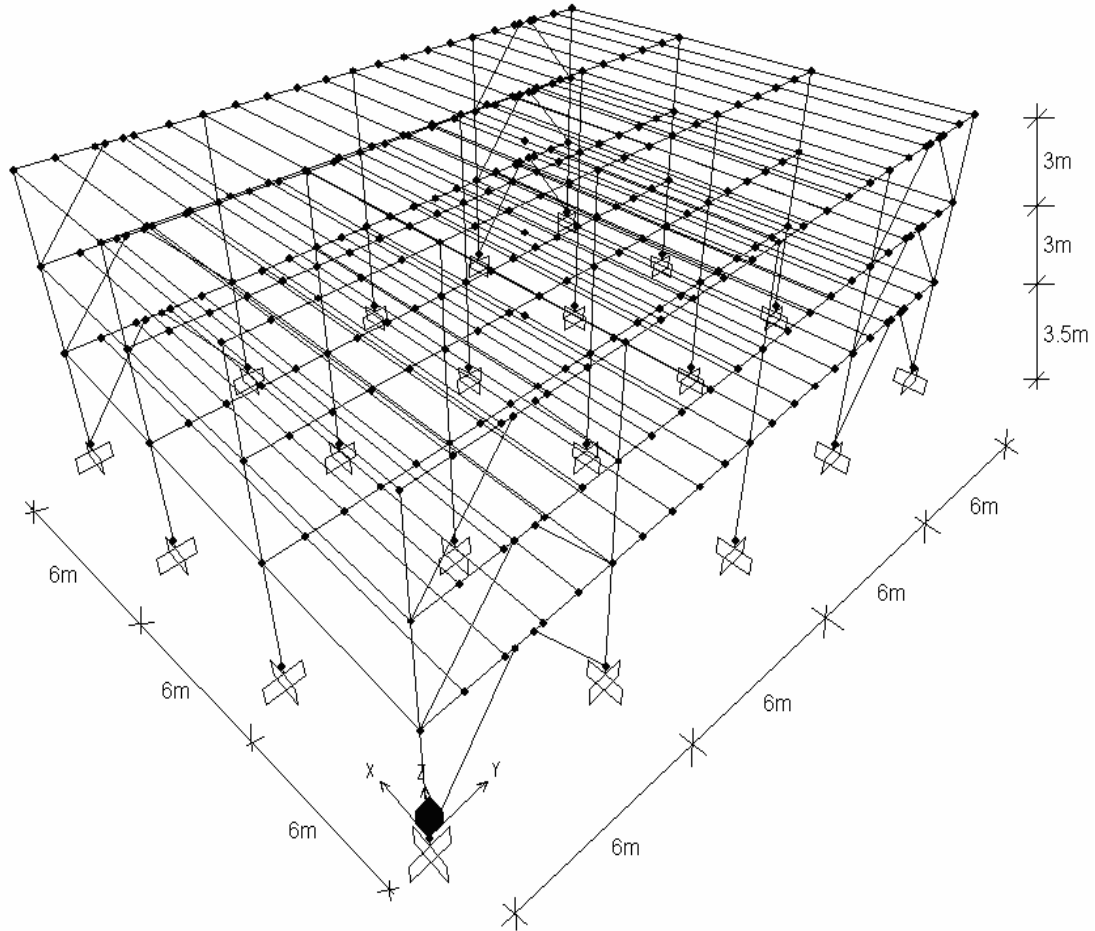
### **5.1. Tip 1 Yapı Analizi**

Tip 1 yapısı X ve Y yönünde 6'şar metre aralıklı X yönünde üç açıklığı bulunan ve Y yönünde dört açıklığı bulunan bir yapı olarak ele alınmıştır. Bina kat yüksekliği ilk kat 3,5m diğer katlar 3m dir. Kullanılan yapı malzemesi ST44 olarak seçilmiştir.

Döşemeler sonsuz rijit diyafram olarak tanımlanmıştır. Amacın düğüm noktalarının rijitliklerinin sistem üzerindeki etkilerini incelemek olması sebebiyle döşeme hesabı yapılmamıştır. Döşeme yüklerini kirişlere aktarabilmek amacıyla X doğrultusuna paralel 1,2 m aralıklarla 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. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Binanın Y yönündeki ilk açıklıkla son açıklıkta kat yüksekliğince devam eden dışmerkez çaprazlar bulunmaktadır. Bina büro tipi olduğundan sadece dış kirişler üzerinde ytong duvarlar mevcut olup bina içerisinde alçıpan bölme duvarlar kullanılmıştır. Alçıpan bölme duvarların ağırlığı ihmal edilmiştir. Deprem hesabında eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır [7].

Binanın statik hesabında SAP2000 V.9.0 programı kullanılmıştır. Boyutlandırma hesabı için Excel programında SAP2000 V.9.0 da bulunan değerler kullanılarak ve boyutlandırma esasları dikkate alınarak sistematik oluşturulmuştur.

Böylece boyutlandırmada kolaylık sağlanmıştır. Rijit ve yarı rijit sistem çözümünde y yönündeki( kolonun zayıf eksen) ana kirişler ve tali kirişler mafsallı olarak bağlanmıştır. Dışmerkez çaprazlar ise deprem yükü almaları için mafsallı olarak bağlanmıştır.

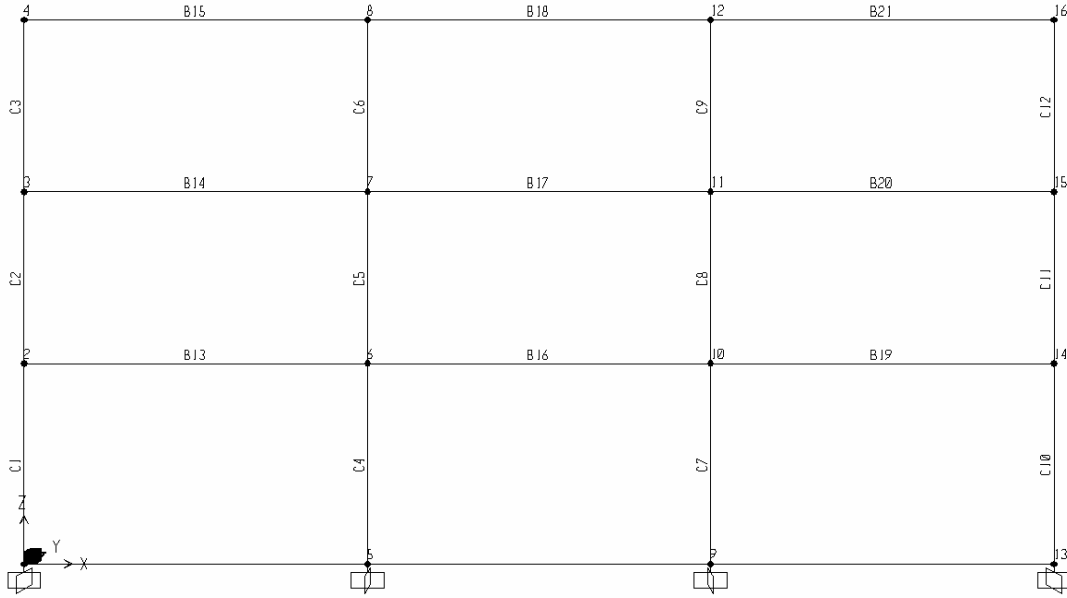


Şekil 5.1. Tip 1 yapısının üç boyutlu görünümü

### 5.1.1. Düğüm noktaları rijit tip 1 yapısının eurocode3'e göre hesabı

X yönündeki kirişlerin kolonlara ideal rijit olarak bağlandığı kabul edilmiştir. Y yönündeki kirişlerin kolonlara mafsallı olarak bağlandığı kabul edilmiştir. Bu kabullere göre eurocode3'e göre boyutlandırılmıştır. Binanın yük analizi ekte verilmiştir. Genel yük verileri TS 498 standardından alınmıştır [8]. Deprem yük verileri ise DBYBHY-2007'den faydalanarak hesaplanmıştır [7]. (5.3.'de benzer örneğe ait hesap ayrıntıları verilmiştir.)

Ayrıca sistemde uygulanan yük kombinasyonları eurocode3'deki kullanma sınır durumu ve taşıma sınır durumu yük kombinasyonları dikkate alınarak sisteme aktarılmış ve buna göre analiz edilmiştir. Örnek olarak X yönündeki 3 aksı için boyutlandırma yapılmıştır



Şekil 5.2. Tip 1 yapısının x yönü 3 aksı görünümü

### 5.1.1.1. Kirişlerin boyutlandırılması

İlk olarak Ana kirişler ve tali kirişler kullanma sınır durumuna göre (en elverişsiz yüklemelerden oluşan) deplasman kontrolleri yapılmıştır. Eurocode3'e göre kirişin yapabileceği maksimum toplam sehim  $L/250$  olarak sınırlandırılmıştır. (5.3.'de benzer örneğe ait hesap ayrıntıları verilmiştir.)

Daha sonra taşıma sınır durumuna göre kontrolü bölüm 3'de belirtilen hesap esaslarına göre (enkesit eğilme dayanımı, yanal burkulma, kesme burkulması, azaltılmış flanş burkulması) tahkik edilmiştir. (5.3.'de benzer örneğe ait hesap ayrıntıları verilmiştir.)

### 5.1.1.2. Kolonların boyutlandırılması

Kolonların kullanma sınır durumuna göre (en elverişsiz yüklemekten oluşan) deplasman kontrolleri yapılmıştır. Eurocode3'e göre kolon yatay deplasmanları katlarda  $h/300$ , kolon uç noktasında ise  $h/500$  olarak sınırlandırılmıştır.

Taşıma sınır durumuna göre ise yine (en elverişsiz yüklemekten oluşan ) maksimum kesit tesirleri ele alınarak moment ve basınç etkisinin beraber etkidiği duruma göre Örnek olarak X yönündeki 3 aksı için boyutlandırma yapılmıştır (5.3.'de benzer örneğe ait hesap ayrıntıları verilmiştir.)

### 5.1.2. Düğüm noktaları yarı rijit tip 1 yapısının eurocode3'e göre hesabı

Y yönündeki ana kirişler ve diğer tali kirişler mafsallı olarak bağlandığından dolayısıyla moment aktarmadığından dikkate alınmamıştır. X yönündeki kirişler rijit olarak bağlandığından dikkate alınmıştır ve yarı rijit alın levhalı birleşim tipi kullanılmıştır. Rijit sistem oranla daha küçük kesitte kiriler seçilerek birleşimler oluşturulmuş ve birleşimlerin moment taşıma kapasiteleri ve dönme rijitlikleri (5.3.'de benzer örneğe ait hesap ayrıntıları verilmiştir.)

Hesaplanan dönme rijitlikleri SAP2000 V.9.0 programının kısmi rijitlik (partial fixity) özelliği kullanılarak düğüm noktalarına yay katsayısı olarak girilmiştir. Buna göre sistem tekrar analiz edilmiştir. Yeni analiz sonuçlarına göre(Örnek olarak X yönündeki 3 aksı için ) boyutlandırma yapılmıştır. (5.3.'de benzer örneğe ait hesap ayrıntıları verilmiştir.)

#### 5.1.2.1. Kirişlerin boyutlandırılması

Düğüm noktalarına girilen yay katsayılarından sonra rijit sistemde yapıldığı gibi kullanma sınır durumu ve taşıma sınır durumuna göre boyutlandırılmıştır. (5.3.'de benzer örneğe ait hesap ayrıntıları verilmiştir.)



### 5.1.2.2. Kolonların boyutlandırılması

Burada ilk olarak düğüm noktalarına girilen yay katsayılarından sonra rijit sistemde yapıldığı gibi kullanma sınır durumu ve taşıma sınır durumuna göre boyutlandırılmıştır. İlgili örnek 5.3 'de verilmiştir.

### 5.2. Tip 2 Yapı Analizi

Tip 2 yapısı X ve Y yönünde 6'şar metre aralıklı X yönünde üç açıklığı bulunan ve Y yönünde dört açıklığı bulunan bir yapı olarak ele alınmıştır. Bina kat yüksekliği ilk kat 3,5 m dir. Kullanılan yapı malzemesi ST44 olarak seçilmiştir.

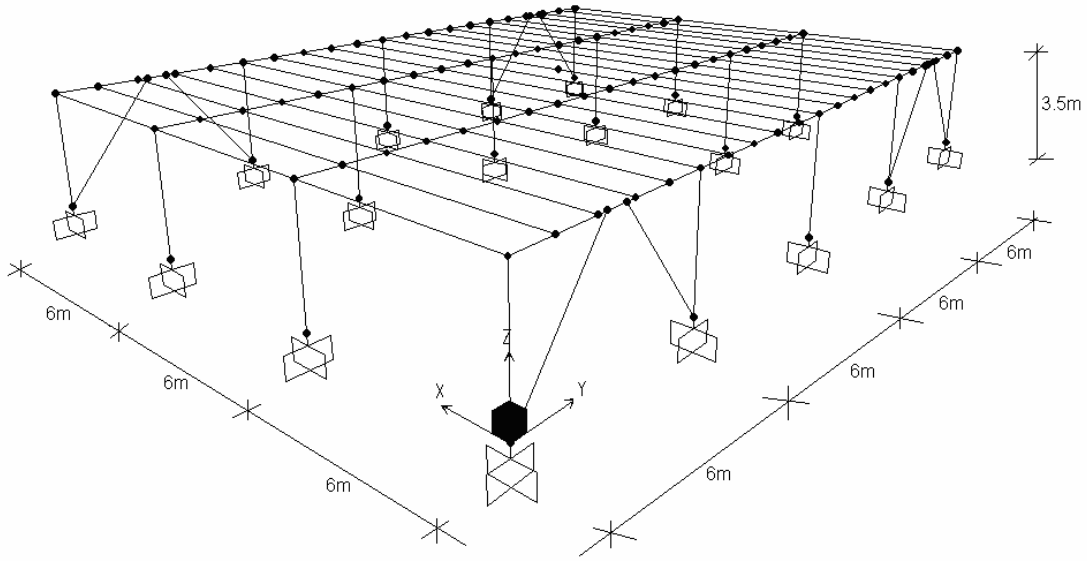
Döşemeler sonsuz rijit diyafram olarak tanımlanmıştır. Amacın düğüm noktalarının rijitliklerinin sistem üzerindeki etkilerini incelemek olması sebebiyle döşeme hesabı yapılmamıştır. Döşeme yüklerini kirişlere aktarabilmek amacıyla X doğrultusuna paralel 1,2 m aralıklarla tali kirişler atılmıştır. X ve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

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

Binanın Y yönündeki ilk açıklıkla son açıklıkta kat yüksekliğince devam eden dışmerkez çaprazlar bulunmaktadır. Deprem hesabında eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır[7].

Binanın statik hesabında SAP2000 V.9.0 programı kullanılmıştır. Boyutlandırma hesabı için Excel programında SAP2000 V.9.0 da bulunan değerler kullanılarak ve boyutlandırma esasları dikkate alınarak sistematik oluşturulmuştur.

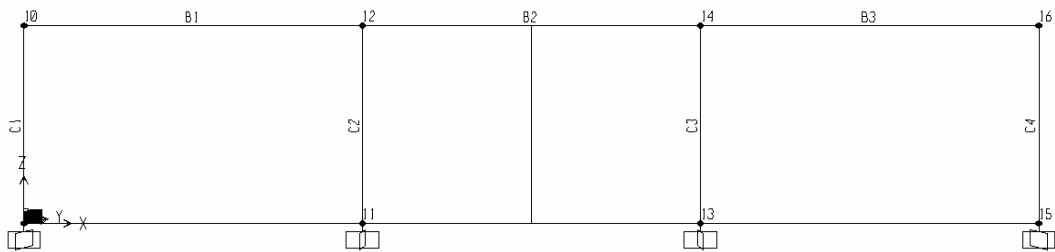
Böylece boyutlandırmada kolaylık sağlanmıştır. Rijit ve yarı rijit sistem çözümünde y yönündeki( kolonun zayıf eksenini) ana kirişler ve tali kirişler mafsallı olarak bağlanmıştır. Dışmerkez çaprazlar ise deprem yükü almaları için mafsallı olarak bağlanmışlardır.



Şekil 5.3. Tip 2 yapısının üç boyutlu görünümü

### 5.2.1. Düğüm noktaları rijit tek katlı yapının eurocode3'e göre hesabı

X yönündeki kirişlerin kolonlara ideal rijit olarak bağlandığı kabul edilmiştir. Y yönündeki kirişlerin kolonlara mafsallı olarak bağlandığı kabul edilmiştir. Bu kabullere göre Eurocode3'e göre boyutlandırılmıştır. Binanın yük analizi ekte verilmiştir. Genel yük verileri TS 498 standardından alınmıştır.[8] Deprem yük verileri ise DBYBHY-2007'den faydalanarak hesaplanmıştır.[7] Ayrıca sistemde uygulanan yük kombinasyonları eurocode3'deki kullanma sınır durumu ve taşıma sınır durumu yük kombinasyonları dikkate alınarak sisteme aktarılmış ve buna göre analiz edilmiştir. Örnek olarak X yönündeki 3 aksı için boyutlandırma yapılmıştır



Şekil 5.4. Tip 1 yapısının iki boyutlu x yönü 3 aksı görünümü

### 5.2.1.1. Kirişlerin boyutlandırılması

İlk olarak Ana kirişler ve tali kirişler kullanma sınır durumuna göre (en elverişsiz yüklemekten oluşan) deplasman kontrolleri yapılmıştır. Eurocode3'e göre kirişin yapabileceği maksimum toplam sehim  $L/250$  olarak sınırlandırılmıştır. 5.3 'deki örneğe benzer şekilde boyutlandırılmıştır.

Daha sonra taşıma sınır durumuna göre kontrolü bölüm 3'de belirtilen hesap esaslarına göre (enkesit eğilme dayanımı, yanal burkulma, kesme burkulması, azaltılmış flanş burkulması) tahkik edilmiştir. (5.3.'de benzer örneğe ait hesap ayrıntıları verilmiştir.)

### 5.2.1.2. Kolonların boyutlandırılması

İlk olarak kolonların kullanma sınır durumuna göre (en elverişsiz yüklemekten oluşan) deplasman kontrolleri yapılmıştır. Eurocode3'e göre kolon yatay deplasmanları katlarda  $h/300$  olarak sınırlandırılmıştır.

Taşıma sınır durumuna göre ise yine (en elverişsiz yüklemekten oluşan ) maksimum kesit tesirleri ele alınarak moment ve basınç etkisinin beraber etkideği duruma göre Örnek olarak X yönündeki 3 aksı için boyutlandırma yapılmıştır. (5.3.'de benzer örneğe ait hesap ayrıntıları verilmiştir.)

### 5.2.2. Düğüm noktaları yarı rijit tip 1 yapısının eurocode3'e göre hesabı

Y yönündeki ana kirişler ve diğer tali kirişler mafsalı olarak bağlandığından dolayısıyla moment aktarmadığından dikkate alınmamıştır. X yönündeki kirişler rijit olarak bağlandığından dikkate alınmıştır ve yarı rijit alın levhalı birleşim tipi kullanılmıştır. Rijit sistem oranla daha küçük kesitte kirişler seçilerek birleşimler oluşturulmuş ve birleşimlerin moment taşıma kapasiteleri ve dönme rijitlikleri Ekteki örneğe benzer şekilde hesaplanmıştır. Uygun olan kesitler seçilmiş uygun olmadığı görüldüğünde kesit değiştirilmiş ve hesaplanan yeni rijitlik düğüm noktasına yay katsayısı olarak girilmiş ve tekrar analiz edilmiş buna göre tekrar İlgili örnek Ekteki örneğe benzer şekilde hesaplanmıştır

Hesaplanan dönme rijitlikleri SAP2000 V.9.0 programının kısmi rijitlik (partial fixity) özelliği kullanılarak düğüm noktalarına yay katsayısı olarak girilmiştir. Buna göre sistem tekrar analiz edilmiştir. Yeni analiz sonuçlarına göre(Örnek olarak X yönündeki 3 aksı için ) boyutlandırma yapılmıştır.

### 5.2.2.1. Kirişlerin boyutlandırılması

Burada ilk olarak düğüm noktalarına girilen yay katsayılarından sonra rijit sistemde yapıldığı gibi kullanma sınır durumu ve taşıma sınır durumuna göre boyutlandırılmıştır. İlgili örnek 5.3.'deki örneğe benzer şekilde hesaplanmıştır.

### 5.2.2.2. Kolonların boyutlandırılması

Burada ilk olarak düğüm noktalarına girilen yay katsayılarından sonra rijit sistemde yapıldığı gibi kullanma sınır durumu ve taşıma sınır durumuna göre boyutlandırılmıştır. İlgili örnek 5.3 'deki örneğe benzer şekilde hesaplanmıştır.

## 5.3. Tip 1 Yapısına Ait Yük Analizi

### 5.3.1. Normal katlarda

Döşemeye ait yük analizi:

Kaplama (Ahşap Parke)...8 kg/m<sup>2</sup>

Betonarme Döşeme (10 cm)... 250 kg/m<sup>2</sup>

Galvanizli Trapez Sac (0,80 mm)...6,1 kg/m<sup>2</sup>

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

Hareketli Yük (Büro)

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

0,80 mm kalınlığındaki trapez sacın 1,20 m tali kiriş aralığına göre taşıyabileceği maksimum yayılı yük 530 kg/m<sup>2</sup>'dir.

$\Sigma G + \Sigma Q=464,1 \text{ kg/m} < 530 \text{ kg/m}$  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:

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

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

### 5.3.2. Çatı katında

Döşemeye ait yük analizi:

izolasyon malzemeleri... 10 kg/m Betonarme

Döşeme... 250 kg/m<sup>2</sup> Galvanizli Trapez Sac  
(0,80 mm)...6,1 kg/m<sup>2</sup>

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

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 :

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

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

### 5.3.3. Rüzgâr yükü

Yapı yüksekliği  $H_N = 9.5 \text{ m} > 8 \text{ m}$  olduğu için  $q = 80 \text{ kg/m}$  olarak alınmıştır (TS498). TS498 yük şartnamesine göre rüzgâr yükü:

$$W = c \cdot Q \cdot L$$

c: Katsayı

Q: Rüzgâr yükü (kg/m )

L: Yük alma aralığı (m)

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

#### 5.3.3.1. $W_x$ ( X doğrultusu rüzgâr), $W_y$ ( Y doğrultusu rüzgâr) yüklemesi

Üst katlarda :

Basınç için;

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

Emme için;

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

Normal katlarda :

Basınç için;

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

Emme için;

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

### 5.3.4. 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: Binanın toplam ağırlığı =  $G + nQ$       $n=0,3$

A<sub>0</sub>: Etkin yer ivme katsayısı

I: Bina önem katsayısı

S (T) : Spektrum Katsayısı

R: Süneklik Katsayısı

$A_0 = 0,4$  ( 1. Derece Deprem Bölgesi)

I = 1 (Büro Binası)

Yerel zemin sınıfı Z2  $T_A = 0,15$  sn  $T_B = 0,40$  sn

Tablo 5.1. Bina kat ağırlık ve kat kütleleri

Kat	Kat sabit yük	Kat Hareketli Yük	Kat Ağırlığı	Kat Kütleli
	G(kN)	Q(kN)	W(kN)	m(t)
3	1858.098	972	2149.698	219.133
2	1849.458	864	2108.658	214.950
1	1849.458	864	2108.658	214.950
		TOPLAM	6367.014	

Daha sonra binanın X ve Y doğrultusundaki 1.doğal titreşim periyotları yönetmelik 2.7.4.1 denklem 2.11'e göre Tablo 3.2 'deki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 5.2. X Doğrultusunda periyot hesabı için birim yükleme

Kat	m(t)	Ffi (kN)	dfi	$m_i * df_i^2$	Ffi*dfi
3	219.133	491.996	0.018	7.42E-02	9.053
2	214.950	330.202	0.013	3.69E-02	4.326
1	214.950	177.801	0.006	7.74E-03	1.067
		1000.000		0.119	14.445

$$T_{1x} = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right) = 2\pi \left( \frac{0.119}{14.445} \right)^{1/2} = 0.570 \text{ s}$$

$$S(T_{1x}) = 2.5 \left( \frac{T_B}{T_{1x}} \right)^{0.8} = 2.5 \left( \frac{0.4}{0.57} \right)^{0.8} = 1.8911$$

$$A(T_{1x}) = A_0 I S(T_{1x}) = 0.4 * (1) * 1.8911 = 0.7565$$

$$V_t \geq 0.10 A_0 I W = (0.1) * (0.4) * (1) * (6367.014) = 254.68 \text{ kN}$$

$$V_{tx} = \frac{WA(T_{1x})}{R_a(T_{1x})} = \frac{(6367.014) * (0.7565)}{8} = 602.04 \geq 254.68 \text{ kN}$$

$$\Delta F_n = 0.0075 N V_t = (0.0075) * (3) * (602.04) = 13.55 \text{ kN (X doğrultusu)}$$

DBYBHY 2007 - 2.7.2'ye göre hesaplanan toplam eşdeğer yükü, aynı bölümdeki denklem 2.9'a göre, aşağıda Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te gösterildiği gibi katlara dağıtılmıştır.

Tablo 5.3. X Doğrultusu için taban kesme kuvvetinin katlara göre dağılımı

Kat	hi	Hi	W(kN)	Fi( kN)
3	3	9.5	2149.698	303.084
2	3	6.5	2108.658	194.323
1	3.5	3.5	2108.658	104.636

Tablo 5.4. Y Doğrultusu için taban kesme kuvvetinin katlara göre dağılımı

Kat	hi	Hi	W(kN)	Fi( kN)
3	3	9.5	2149.698	400.665
2	3	6.5	2108.658	256.887
1	3.5	3.5	2108.658	138.324



#### 5.4. Tip 1 ve Tip 2 Binasına Ait Yükleme Kombinasyonları

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)

##### 5.4.1. 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:  $1G + 0,45Q - 1E_Y$

##### 5.4.2. Kullanma sınır durumu kombinasyonları

18. COMB18:  $1 G+ 1Q$
19. COMB19:  $1G+ 1W_{X1}$
20. COMB20:  $1G+ 1W_{X2}$
21. 21.COMB21 :  $1G + 1W_{Y1}$

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

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

## 5.5. Eurocode 3 'e Göre Boyutlandırma Hesabı

### 5.5.1. Ana kirişlerin boyutlandırılması

Örnek teşkil etmesi amacıyla tip 1 yapısının B19 kirişi ele alınacaktır.

#### 5.5.1.1. Kullanma sınır durumuna göre;

Kirişte oluşan maksimum düşey deplasman  $\delta = 0,426627$  cm.

$\delta = 0,426627$  cm.  $< 2,4$  cm. olduğundan kullanma sınır durumu şartını sağlıyor.

### 5.5.1.2. Taşıma sınır durumuna göre;

Enkesit eğilme dayanımı:

IPE220 Kesit özellikleri,

$$H= 22 \text{ mm} \quad b = 110 \text{ mm} \quad t_f = 9,2 \text{ mm} \quad t_w = 5,9 \text{ mm} \quad W_{pl} = 285,4 \text{ cm}^3 \quad d = 177,6 \text{ mm}$$

$$A_v = 15,88 \text{ cm}^2 \quad F = 33,37 \text{ cm}^2$$

Eurocode3 'e göre kesit sınıflandırması:

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

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

$$\text{Başlık : } (b/2) / t_f = 55/9,2 = 5,98 < 10\varepsilon = 9,2 \text{ I.sınıf}$$

$$\text{Gövde: } d/t_w = 177,6 / 5,9 = 30,1 < 72\varepsilon = 66,24 \text{ I.sınıf}$$

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

IPE220 kirişi enkesit eğilme dayanımına göre tahkik edilecektir.

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

$$M_{pl,rd} = 285,4 * 10^{-6} * 2,75 * 10^7 / 1,1$$

$$M_{pl,rd} = 7135 \text{ kgm}$$

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

$$V_{pl,rd} = 15,88 * 10^{-4} * (2,75 * 10^7 / \sqrt{3}) / 1,1 = 22920,806 \text{ kg}$$

Kesit Tesirleri:

$$M_{sd} = 2050,83 \text{ kgm} \quad V_{sd} = 2414,4 \text{ kg} \quad (\text{COMB1})$$

$V_{sd} / V_{pl,rd} = 2414,4 / 22920,806 = 0,11 < 0,5$  olduğundan  $W_{pl}$  plastik mukavemet momentinde azaltma yapmaya gerek yoktur.

$$M_{sd} / M_{pl,rd} = 2050,83 / 7135 = 0,29 < 1 \text{ uygun.}$$

Yanal Burkulma Hesabı

Yanal Burkulma Tasarım Moment Değeri;

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

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

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

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

$$k_1=1 \quad k_w=1 \quad \varphi=1 \quad C_1 = 1 \quad I_z=204,9 \text{ cm}^4 \quad I_w = 22,67*10^3 \text{ cm}^6 \quad I_t = 9,07 \text{ cm}^4$$

$$L=6\text{m} \quad E=2,1*10^{10} \text{ kg/m}^2$$

$$M_{cr} = 2518,184 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 1,765 \quad x_{lt} = 0.322 \quad (\text{a eğrisi}) \quad (\text{Tablo 3.9})$$

$$M_{bd} = 0,322 \text{ Mpl}, \quad r_d > 0,29 M_{sd}$$

### Kesme Burkulması Hesabı

Berkitmesiz gövde için;

$$d / t_w = 177,6 / 5,9 = 30,1 < 69 \quad \varepsilon = 63,48 \quad \text{Kesme burkulması hesabına gerek yoktur.}$$

### Azaltılmış Flanş Burkulması Hesabı

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

$$k = 0,3 \quad \text{I.sınıf enkesit} \quad A_w = 10,48 \text{ cm}^2 \quad A_{fc} = 11,45 \text{ cm}^2$$

$$0,3 * (2,1 * 10^{10} / 2,75 * 10^7) * (10,48 * 10^{-4} / 11,45 * 10^{-4})^{0,5} = 219,20 > 30,1$$

Basınç başlığı flanş gövde düzlemi içersinde kalmaktadır

## 5.5.2. HEB260 (C7) Kolonunun boyutlandırılması

Örnek teşkil etmesi amacıyla tip 1 yapısının C7 kolonu ele alınacaktır.

### 5.5.2.1. Kullanma sınır durumuna göre;

Kolon boyunca oluşan yatay deplasmanlar:

$$1. \text{ Katta} \quad \delta = 1,6165 * 10^{-2} \text{ m} < 3 / 300 = 0,01 \text{ m} \quad (\text{COMB28})$$

$$2. \text{ Katta} \quad \delta = 1,0919 * 10^{-2} \text{ m} < 6 / 300 = 0,02 \text{ m} \quad (\text{COMB28})$$

$$3. \text{ Katta} \quad \delta = 0,4549 * 10^{-2} \text{ m} < 9 / 500 = 0,018\text{m} \quad (\text{COMB28})$$

Kullanma sınır durumu şartı sağlanıyor.

### 5.5.2.2. Taşıma sınır durumuna göre;

kolonların potansiyel göçme modu yanal burkulma olduğu için sağlanması gerekli kriter;

$$N_{sd} / (x_y * A * f_y / y_{ml}) + k_{lt} * M_{ysd} / (x_{lt} * W_{ply} * f_y / y_{ml}) < 1$$

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

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

$\beta_{MLT}$ ; eşdeğer üniform azaltma katsayısı

$x_y$ ; x-x eksenine bağlı azaltma katsayısı

HEB 260 Kesit Özellikleri:

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

$$t_f = 17,5 \text{ mm} \quad t_w = 10 \text{ mm} \quad F = 118,4 \text{ cm}^2 \quad i_y = 11,22 \text{ cm}$$

$$i_z = 6,58 \text{ cm} \quad I_w = 7,54 * 10^5 \text{ cm}^6$$

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

Eurocode.3'e göre kesit sınıflandırması:

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

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

$$\text{Başlık} : (b/2) / t_f = 13/17,5 = 7,43 < 10\varepsilon = 9,2 \quad \text{I. sınıf}$$

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

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

Kesit Tesirleri:

$$M_{üst} = -2057,87 \text{ kgm} \quad N = -33159,64 \text{ kg} \quad M_{alt} = 396,14 \text{ kgm} \quad (\text{COMBO 1})$$

Öncelikle kolonun yanal burkulma tahkiki yapılacaktır.

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

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

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

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

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

$$k = 1,0 \quad k_w = 1,0$$

$$\varphi = M_{ah} / M_{üst} = 396,14 / -2057,87 = -0,19$$

$$C_1 = 1,63$$

$$M_{cr} = 60574,112 \text{ kgm} \quad \lambda_{LT} = 0,763 \quad x_{LT} = 0,845 \quad (\text{a eğrisi}) \quad (\text{Tablo 3.9})$$

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

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

$$M_{sd} / M_{pl} = 2057,87 / 32075 = 0,064$$

$$M_{brd} = 0,845 * M_{pl} > M_{sd} = 0,064 M_{pl} \quad \text{Yanal burkulma tehlikesi yoktur.}$$

Kolonun y eksenine etrafındaki burkulma boyu  $S_{kx}$  için:

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

$$n_2 = 2 \cdot 2772 / 3 / (2 \cdot 2772 / 3 + 14920 / 6) = 0,872$$

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

$$k_x = 0,5 + 0,14(0 + 0,872) + 0,055(0 + 0,872)^2 = 0,68$$

$$S_{kx} = 0,68 \cdot 3,5 = 2,39 \text{ m}$$

$$\lambda_x = S_{kx} / i_x = 2,39 / 0,1122 = 21,28$$

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

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

$$\lambda_x' = 21,28 / 86,39 = 0,25$$

$$k_y = 0,69 \text{ ( Alt ankastre üst uç mafsallı )}$$

$$S_{ky} = 0,69 \cdot 3 = 2,42 \text{ m}$$

$$\lambda_y = i_y = 2,42 / 0,0658 = 36,82$$

$$\lambda_y' = 36,82 / 86,39 = 0,42$$

HEB 260 için burkulma eğrisi tayini:

$h/b < 1$   $t_f = 17,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$  olduğu için x-x eksenindeki burkulma eğrisi "b"

y-y eksenindeki burkulma eğrisi "c" eğrisidir.

$$X_x = 0,98205$$

$$X_y = 0,8962$$

$$X_{\min} = 0,8962$$

c eğrisine ait hata katsayısı:  $a = 0,49$ 'dur.

$$\varnothing_y = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,42 - 0,2) + 0,42^2) = 0,541$$

$$X_y = 1 / (0,541 + (0,541^2 - 0,42^2)^{0,5}) = 1,089$$

$$\beta_{MLT} = 1,8 - 0,7 \cdot \varphi = 1,665 \quad \mu_{LT} = -0,044 \quad k_{LT} = 1,004$$

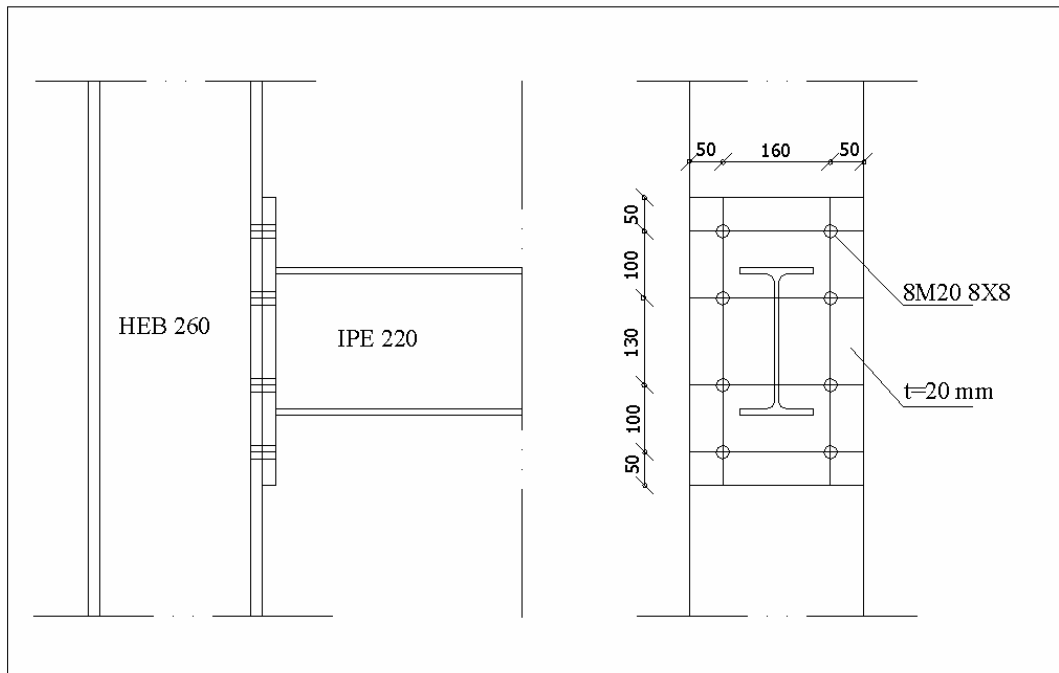
$$A+B = 33159,64 / (1,089 \cdot 118,4 \cdot 10^{-4} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1) + 1,004 \cdot 2057,87 / (0,845 \cdot 602,2 \cdot 10^{-6} \cdot 2,75 \cdot 10^7 / 1,1)$$

$$A+B = 0,211 < 1 \text{ uygun.}$$

## 5.6. Birleşimin Momentinin ve Rijitliğinin Hesabı

### 5.6.1. HEB260 – IPE220 (C7-B19) Birleşiminin ve rijitliğinin hesabı

Örnek teşkil etmesi amacıyla yukarıda hesabı yapılan kolon ve kiriş dikkate alınarak birleşimi ele alınmıştır.



Şekil 5.5. HEB 260 – IPE 220 Birleşimi

#### 5.6.1.1. Çekme bölgesi

Çekme Bölgesinde Kolon Başlığı:

Bölüm 4'te belirtildiği gibi kolon başlığının plastik moment kapasitesi:

$$M_{pl,rd} = l_{eff} * t_f^2 * f_y / 4 * y_{m0}$$

Çekmede kolon başlığının efektif genişliği:

$$l_{eff} = 4m + 1,25e$$

$$m = g/2 - t_w/2 - 0,8 * r_c$$

(g: Bulon eksenleri arası uzaklık )

$$m = 110/2 - 10/2 - 0,8 * 24$$

$$m = 55,8 \quad e = 50$$

$$l_{\text{eff}} = 4*55.8 + 1,25*50 = 285,7 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}} = 0,5p + 2m + 0,625e$$

$$l_{\text{eff}} = 0,5* 101,6 + 2*55.8 + 0,625* 50 = 193.65 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}} = 27\pi m = 350.74 \text{ mm}$$

$l_{\text{eff}}$  efektif genişlik bu değerlerden minimum olan 193.65 mm değeridir. Fakat bu değer tek bir bulon sırası için bulunan değerdir. İki sıra bulon için:

$$l_{\text{eff}} = 2* 193.65 = 385,7 \text{ mm}$$

plastik moment kapasitesi:

$$M_{\text{pl,Rd}} = 0,3857 * (0,0175)^2 * 27,5 * 10^6 / 4 * 1,1 = 738,2 \text{ kgm} \quad (\text{Malzeme ST44})$$

Çekme bölgesinde kolon başlığında 4. bölümde belirtildiği gibi üç farklı göçme modu oluşabilir.

- Göçme modu 1: Başlığın tamamen akması (İnce et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t,Rd} = 4 * M_{\text{pl,Rd}} / m$$

$$F_{t,Rd} = 4 * 738,2 / 0,0558 = 52921,427 \text{ kg}$$

- Göçme modu 2: Başlığın ve bulonların beraber akması

$$F_{t,Rd} =$$

$$\Sigma Bt_{.Rd} = 0,9 * A_s * f_{ub} / \gamma_{mb}$$

$$A_s = \text{Bulon etkin gövde alanı} = \pi d_r^2 / 4 \quad (d_r = \sqrt{0.78} * d)$$

$$A_s = \pi * (0,78 * 2^2) / 4 = 245 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma Bt_{.Rd} = 0,9 * 245 * 10^{-6} * 800 * 10^5 / 1,25 = 14112 \text{ kg}$$

T eşdeğer uç bölgesinin sınırları içerisinde 2 sıra bulon bulunmaktadır.

$$F_{t,Rd} = (2 * 738,2 + 2 * 14112 * 0,05) / (0,0558 + 0,05)$$

$$F_{t,Rd} = 27301,802 \text{ kg}$$

- Göçme modu 3: Bulonların akması ( Kalın et kalınlıklı flanşlarda)

$$F_{t,Rd} = 4B_{Rd} = 4 * 14112 = 56448 \text{ kg}$$

Bu durumda çekme bölgesindeki kolon başlığının dayanımı:

$$F_{t,Rd} = 27301,802 \text{ kg}$$

$$\text{Rijitlik: } K = 0,85 b_{\text{eff}} t_{fc}^3 / m_c^3 = 0,85 * 0,3857 * (0,0175)^3 / (0,0558)^3 = 0,01011 \text{ m}$$

Çekme Bölgesinde Alın Levhası

Çekme başlığının üstünde kalan bulon sırası için :

T uç bölgesi efektif uzunluğu



$$l_{eff1} = 4m_x + 1,25 e_x$$

$$l_{eff2} = e_{ep} + 2m_x + 0,625 e_x$$

$$l_{eff3} = 0,5 b_p$$

$$l_{eff4} = 0,5w + 2m_x + 0,625 e_x$$

$$m_x = 50 \text{ mm} \quad e_x = 50 \text{ mm} \quad e_{ep} = 50 \text{ mm} \quad b_p = 260 \text{ mm} \quad w = 160 \text{ mm}$$

$$l_{eff1} = 262,5 \text{ mm}$$

$$l_{eff2} = 181,25 \text{ mm}$$

$$l_{eff3} = 130 \text{ mm}$$

$$l_{eff4} = 211,25 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 130 \text{ mm}$$

$$M_{ep,rd} = 325 \text{ kgm}$$

- Göçme modu 1:

$$F_{ep,rd} = 4 * 325 / 0,05 = 26000 \text{ kg}$$

- Göçme modu 2:

$$F_{ep,rd} = (2 * 325 + 2 * 14112 * 0,05) / (0,05 + 0,05) = 20620 \text{ kg}$$

- Göçme modu 3:

$$F_{ep,rd} = 2 * B_{rd} = 2 * 14112 = 28224 \text{ kg}$$

Bu durumda kirişin çekme başlığının üstünde kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı :

$$F_{ep,rd} = 20620 \text{ kg}$$

çekme başlığının altında kalan bulon sırası için :

Eşdeğer uç bölgesi efektif genişliği.

$$l_{eff1} = \alpha m_{ep}$$

$$L_{eff2} = 2\pi m_{ep}$$

$\alpha$  katsayısının belirlenmesi :

$$\lambda_1 = m_y / (e_{ep} + m_y) \quad \lambda_2 = m_2 / (e_{ep} + m_2)$$

$$m_y = 77,05 \text{ mm} \quad m_2 = 50 \text{ mm} \quad e_{ep} = 50 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = 0,606 \quad \lambda_2 = 0,5$$

$\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  katsayıları kullanarak  $\alpha$  katsayısı tablodan bulunur.[4]

$$\alpha = 5,1$$

$$l_{eff1} = 392,96 \text{ mm} \quad L_{eff2} = 484,31 \text{ mm}$$

seçilen efektif uzunluk ;

$$l_{eff} = 392,96 \text{ mm}$$

alın levhası dayanımı:

$$M_{ep,rd} = l_{eff} * t_f^2 * f_y / 4 * \gamma_{m0}$$

$$M_{ep,rd} = 0,39296 * (0,0175)^2 * 27500000 / (4 * 1,1)$$

$$M_{ep,rd} = 763,71 \text{ kgm}$$

- Göçme modu 1:

$$F_{ep,rd} = 4 * 763,71 / 0,07705 = 39648 \text{ kg}$$

- Göçme modu 2:

$$F_{ep,rd} = (2 * 763,71 + 2 * 14112 * 0,05) / (0,07705 + 0,05) = 23136 \text{ kg}$$

- Göçme modu 3:

$$F_{ep,rd} = 2 * B_{rd} = 2 * 14112 = 28224 \text{ kg}$$

Bu durumda çekme başlığının altında kalan bulonların oluşturduğu T eşdeğer uç bölgesinde alın levhasının dayanımı ;

$$F_{ep,rd} = 23136 \text{ kg}$$

Hesaplanan bölgelere ait rijitlikler ;

Çekme başlığının üstünde kalan bölge için :

$$K = 0,85 b_{eff} * t_{ep}^3 / m_x = 0,85 * 0,13 * (0,02)^3 / (0,05)^3$$

$$K = 0,00707 \text{ m}$$

Çekme başlığının altında kalan bölge için :

$$K = 0,85 b_{eff} * t_{ep}^3 / m_x = 0,85 * 0,39296 * (0,02)^3 / (0,07705)^3$$

$$K = 0,00593 \text{ m}$$

Çekme Bölgesinde Bulonlar

Çekme bölgesindeki bulonların dayanımı:

$$F_{b,rd} = 4 * B_{t,rd}$$

$$F_{b,rd} = 4 * 14112 = 56448 \text{ kg}$$

$$K = 3,2 * A_s / L_b$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2 \quad L_b = 20 + 17,5 + 2 * 4 + 0,5 * (16 + 16) = 61,5 \text{ mm}$$

$$K = 3,2 * 245 * 10^{-3} / 61,5$$

$$K = 0,0127 \text{ m}$$

### Çekme Kolon Gövdesi

Çekme bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{cwt,rd} = \rho_1 b_{eff} * t_{wc} * f_{ycw} / \gamma_{m0}$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3 (b_{eff} * t_{wc} / A_{vc})^2)^{0,5}$$

$$b_{eff} = 385,7 \text{ mm} \quad t_{wc} = 10 \text{ mm} \quad A_{vc} = 3759 \text{ mm}^2 \quad d_c = 177 \text{ mm}$$

$$\rho_1 = 1 / (1 + 1,3 (385,7 * 10 / 3759)^2)^{0,5} = 0,65$$

$$F_{cwt,rd} = 0,65 * 0,3857 * 0,01 * 27500 * 10^3 / 1,1 = 62652 \text{ kg}$$

$$K = 0,7 * b_{eff} * t_{wc} / d_c = 0,7 * 385,7 * 10 / 177 = 0,01525 \text{ m}$$

### 5.6.1.2. Basınç bölgesi

basınç bölgesinde kolon gövdesi

Basınç bölgesinde kolon gövdesinin dayanımı:

$$F_{cwc,rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} * t_{wc} * f_{ycw} / \gamma_{m0} \quad (\lambda_{wc} \leq 0,67)$$

$$F_{cwc,rd} = k_{wc} \rho_c b_{eff} * t_{wc} * f_{ycw} ((1 - (0,22 / \lambda_{wc}) / \lambda_{wc}) / \gamma_{m0}) \quad (\lambda_{wc} \geq 0,67)$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 * (b_{eff} t_{wc} d_c f_{ycw} / E t_{wc}^2)^{0,5}$$

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

$$b_{eff} = 9,2 + 2\sqrt{2} * 6,5 + 5 * (17,5 + 24) + 40$$

$$b_{eff} = 275,1 \text{ mm}$$

$$\lambda_{wc} = 0,93 * (0,2751 * 0,0177 * 27500000 / 2,1 * 10^{10} * 0,01^2)^{0,5}$$

$$\lambda_{wc} = 0,74$$

$$k_{wc} = 1,25 - 0,5 * \sigma_v / f_{ycw} \quad (\sigma_v = 0 \text{ alınır})$$

$$k_{wc} = 1,25 \text{ bu durumda } k_{wc} = 1 \text{ alınır.}$$

$$F_{cwc,rd} = 1 * 0,65 * 0,2751 * 0,01 * 27500000 * ((1 - (0,22 / 0,74)) / 0,74) / 1,1$$

$$F_{cwc,rd} = 42450,603 \text{ kg}$$

$$K = 0,7 * b_{eff} * t_{wc} / d_c$$

$$K = 0,7 * 0,2751 * 0,01 / 0,177$$

$$K = 0,0109 \text{ m}$$

basınç bölgesinde kiriş başlığı

$$F_{bfc,rd} = M_{brd}/(h_b - t_{fb}) = W_{plb} * f_{yd}/\gamma_{m0}(h_b - t_{fb})$$

$$F_{bfc,rd} = 285,4 * 2750 / 1,1 * (22 - 0,92)$$

$$F_{bfc,rd} = 33847,249 \text{ kg}$$

$$K = \infty$$

### 5.6.1.3. Kayma bölgesi

kayma bölgesinde kolon gövdesi

Kayma bölgesinde kolon gövdesi dayanımı:

$$F_{rd1} = V_{wcrd}/\beta = 0,9 * A_{vc} * f_{ywc} / \sqrt{3} * \gamma_{m0} * \beta$$

$$F_{rd1} = 0,9 * 37,59 * 2750 / \sqrt{3} * 1,1 * 1$$

$$F_{rd1} = 48830,84 \text{ kg}$$

$$K = 0,385 * A_{vc}/\beta * h$$

$$K = 0,385 * 37,59 / 1 * (26 - 2 * 1,75)$$

$$K = 0,005968 \text{ m}$$

Birleşimin moment dayanımı :

$$F_{rd} = \min(F_{rd,j}) = 20620 \text{ kg}$$

Birleşimin plastik moment dayanımı :

$$M_{rd} = F_{rd} * h$$

$$M_{rd} = 20620 * 0,22$$

$$M_{rd} = 4536,45 \text{ kgm}$$

Birleşimin rijitliği;

$$S_j = \frac{Eh^2}{\sum_{i=1}^{i=8} \frac{1}{K_i}}$$

$$S_j = \frac{2,1 * 10^{10} * 0,022^2}{\frac{1}{0,01} + \frac{1}{0,0071} + \frac{1}{0,0059} + \frac{1}{0,013} + \frac{1}{0,015} + \frac{1}{0,011} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{0,0064}}$$

$$S_j = 1270152,626 \text{ kgm/rad}$$

Her bileşim için ayrı ayrı bulunan bu dönme rijitlikleri SAP 2000 V.9.0 programının kısmi rijitlik (partial fixity ) özelliği kullanılarak kirişin düğüm noktalarına yay katsayısı olarak etkilmiş ve sistem tekrar analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre kesitler tekrar tahkik edilmiştir.

## **BÖLÜM 6. SONUÇLAR**

Çelik yapılar projelendirilirken yapı elemanlarının açıklık ve mümkün olabilecek mesnetlenme durumuna göre bileşimler ideal mafsallı veya ideal rijit olarak kabul edilirler. Fakat ideal rijit kabul edilen bileşimlerin aslında yarı rijit davranış gösterdiğinin kabul edilmesi ve normalde bu bileşimlerin rijitliklerinin hesabının yapılp sistem düğüm noktalarına girilip tekrar analiz edilmesi ve buna göre boyutlandırılması daha gerçekçi bir yaklaşım olduğu açıktır. Bu çalışmada rijit ve yarı rijit çözümlerinin arasındaki farkı, avantajlarının ve dezavantajlarının yapılan çözümler sonucunda ne olduğu ve kat yüksekliği arttıkça nasıl değiştiği irdelenmek istenmiştir. Ülkemizde henüz çelik yapılar pek yaygınlaşmadığından dolayı yarı rijit bağlantılar da pek kullanılmamaktadır. Bu konuda çok pratik bir hesap metodu da geliştirilmemiştir. Geliştirilen hesap metotları çok fazla parametreye bağlı olduğundan dolayı pek rağbet görmemektedir. Bu nedenle ideal rijit veya ideal mafsallı bileşim olarak hesaplamak daha pratik olmakta ve mühendisler tarafından kabul görmektedir.

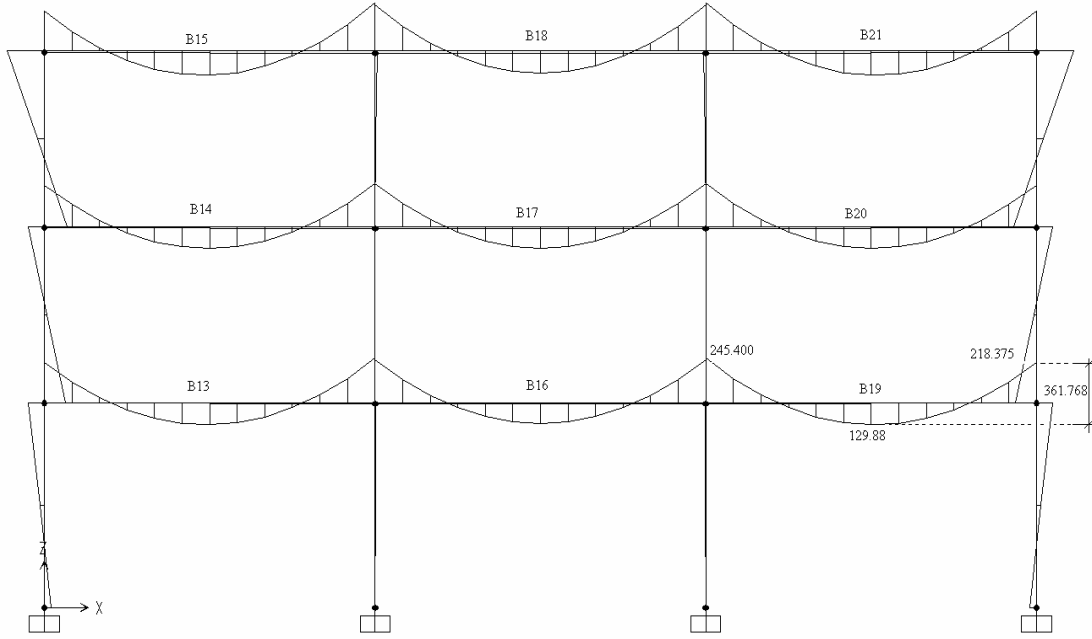
Yarı rijit bileşimin tasarımında en önemli sıkıntılardan biri sistemin tekrar tekrar analiz edilme zorluğudur. Örneğin ön boyutlama aşamasında kesitler belli olmadığından oluşturulan bileşimlerin rijitliklerinin sisteme girilmesinin ardından analiz sonucu çıkan kesit tesirlerini karşılamazsa yeni kesitler seçilerek tekrar sisteme yeni rijitliklerin girilmesi ve tekrar analiz edilmesi ve uygun sonuca kadar devam edilmesi gerekir.

### **6.1. Sayısal Hesapların Değerlendirilmesi**

Bölüm 5'te özetlenen ayrıntılarının örneği verilen sayısal örneklerin sonuçları değerlendirilmiştir.

### 6.1.1. Tip 1 yapısına ait değerlendirmeler

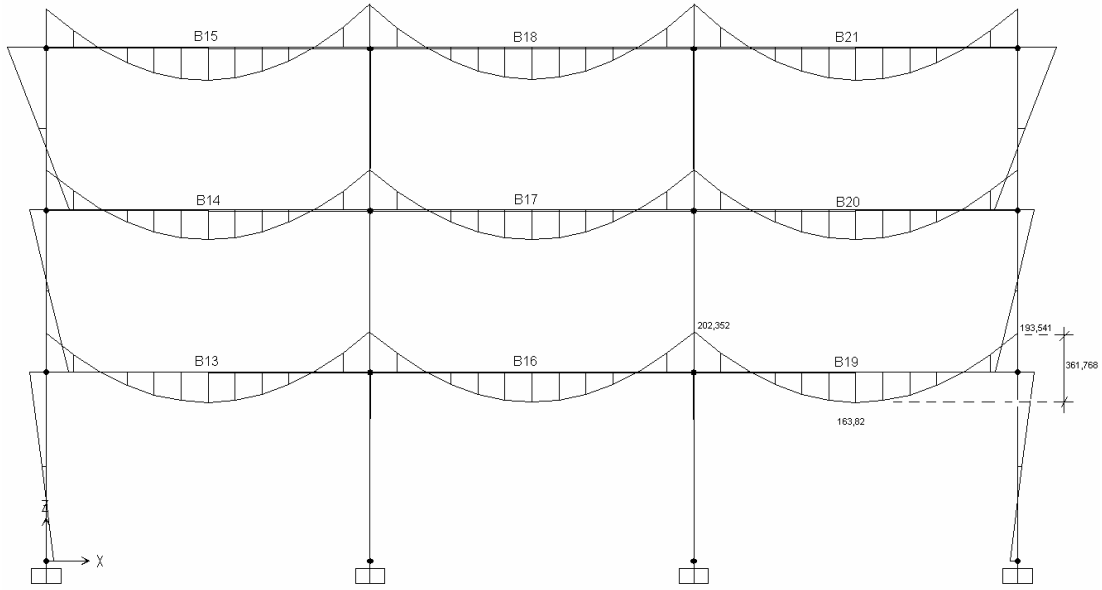
Bölüm 5’de detayları verilen sistemin daha önce belirtildiği gibi önce düğüm noktaları rijit kabul edilip boyutlandırılmış daha sonra yarı rijit kabul edilip rijitliklerin sisteme girilip tekrar analizi sonucu boyutlandırılmış ve sonuçlar bu bölümde karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.1. Rijit bileşim sonucu oluşan moment diyagramı ( IPE240-HEB260 birleşimi)

Tablo 6.1. Rijit bileşim için açıklık-mesnet moment sonuçları ( IPE240-HEB260 birleşimi)

Rijit bileşim için		
Oluşan moment (ton-cm)		
Kiriş	Mesnet	Açıklık
B13	245.400	129.880
B14	240.316	126.750
B15	265.308	142.080
B16	237.734	124.040
B17	237.191	124.580
B18	252.271	130.540
B19	245.400	129.880
B20	240.316	126.750
B21	265.308	142.080

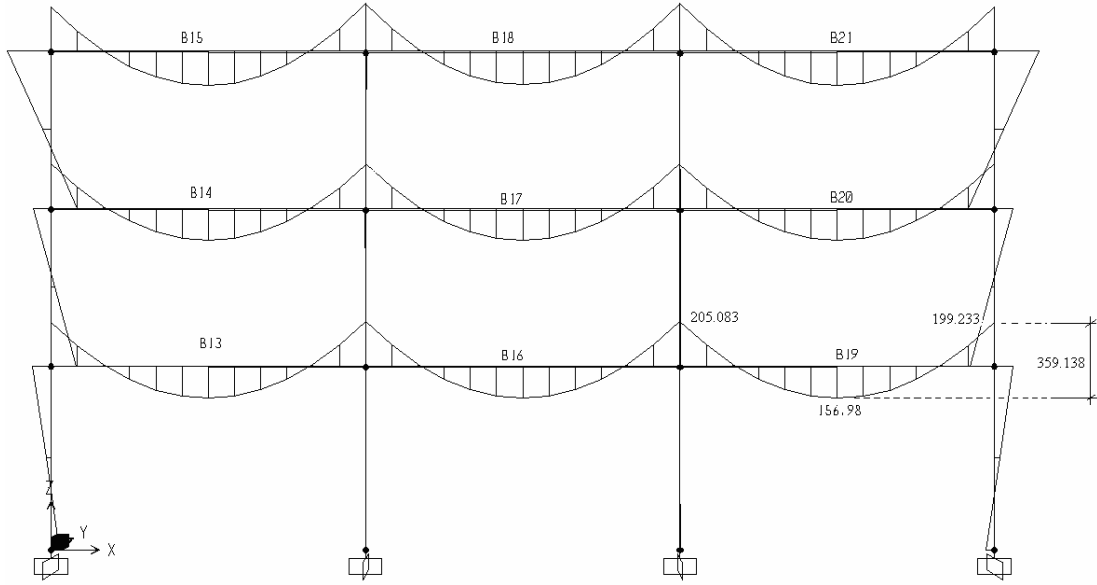


Şekil 6.2. Yarı Rijit bileşim sonucu oluşan moment diyagramı ( IPE240-HEB260 birleşimi)

Tablo 6.2. Yarı rijit bileşim için açıklık-mesnet moment sonuçları ( IPE240-HEB260 birleşimi)

Yarı rijit bileşim için		
	Oluşan moment (ton-cm)	
Kiriş	Mesnet	Açıklık
B13	202.352	163.820
B14	201.471	161.370
B15	217.303	176.970
B16	200.478	161.290
B17	200.251	161.520
B18	212.418	170.400
B19	202.352	163.820
B20	201.471	161.370
B21	217.303	176.970





Şekil 6.3. Yarı rijit bileşim sonucu oluşan moment diyagramı ( IPE220-HEB260 birleşimi)

Tablo 6.3. Yarı rijit bileşim için açıklık-mesnet moment sonuçları ( IPE220-HEB260 birleşimi)

Yarı rijit bileşim için		
	Oluşan moment (ton-cm)	
Kiriş	Mesnet	Açıklık
B13	205.083	156.980
B14	202.566	155.116
B15	219.839	168.987
B16	203.795	155.265
B17	203.658	155.442
B18	215.907	164.134
B19	205.083	156.980
B20	202.566	155.116
B21	219.839	168.987

Tablo 6.4. Yarı rijit ve rijit bileşim için kiriş kesit sonuçları

	SONUÇ	
	Yarı rijit bileşim için	Rijit bileşim için
Kiriş	Kesit	Kesit
B13	IPE240	IPE220
B14	IPE240	IPE220
B15	IPE240	IPE220
B16	IPE240	IPE220
B17	IPE240	IPE220
B18	IPE240	IPE220
B19	IPE240	IPE220
B20	IPE240	IPE220
B21	IPE240	IPE220

#### 6.1.1.1. Kolon ve kiriş kesitlerinin karşılaştırılması

Rijit ve yarı rijit birleşim sonucu bulunan kesitler Tablo 6.4' de verilmiştir. Kirişlerin kesitleri önce IPE 240 seçilmiş ve kullanma sınır durumu ve taşıma sınır durumunu karşıladığı görülmüştür. Kullanma sınır durumu ile ilgili tablo; Tablo 6.5, Tablo 6.6, Tablo 6.7, Tablo 6.8 ' de verilmiştir.

Yarı rijit bileşimde ise kirişlerin kesitleri IPE200 seçilmiş fakat bu kesit kullanma sınır durumunu aşmıştır. Bundan dolayı kesit arttırılmış ve IPE220 seçilmiştir. IPE220 kiriş kesiti hem kullanma sınır durumunu hem de taşıma sınır durumunu sağlamıştır. Kullanma sınır durumu ile ilgili tablo; Tablo 6.5, Tablo 6.6, Tablo 6.7, Tablo 6.8'de verilmiştir. Burada en önemli sonuç açıklık ortasında momentin arttığı mesnetlerde ise azaldığı gözlenmiştir. Moment sonuçları Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3, Tablo 6.1, Tablo6.2, Tablo 6.3'de gösterilmiştir. Bu da kirişin boyutlandırılmasında önemli bir rol oynamakta kesitte ciddi azalmalara neden olmuştur.

Rijit bileşim ile yarı rijit bileşim moment diyagramında gözlenen diğer bir husus ortalama gelen momentin değişmediği ve mesnet momentinin %15-%20 civarında azaldığı açıklık momentinin de %15-%20 civarında arttığı gözlenmiştir.(Şekil 6.4)

Yarı rijit bileşim yapılmasının kolon kesitlerinde ve dışmerkez çaprazlarda herhangi bir değişikliğe yol açmadığı görülmüştür. Buradan anlaşılacağı üzere çok katlı binalar için yarı rijit bileşimlerin etkisi olduğu açıktır. Bundan dolayı hem kiriş kesitlerinin küçülmesi hem de berkitme ve ilave rijitleştiricilere ihtiyaç duyulmaması ekonomik olmaktadır.

Tablo 6.5. Rijit bileşim için kiriş deplasman sonuçları

Rijit bileşim için			
	Oluşan Deplasman (cm)	Deplasman sınır şartı (cm)	Sonuç
Kiriş	IPE 240	IPE 240	IPE 240
B13	0.264965	2.4	√
B14	0.252433	2.4	√
B15	0.298155	2.4	√
B16	0.241487	2.4	√
B17	0.243662	2.4	√
B18	0.251971	2.4	√
B19	0.264965	2.4	√
B20	0.252433	2.4	√
B21	0.298155	2.4	√

Tablo 6.6. Yarı rijit bileşim için kiriş deplasman sonuçları

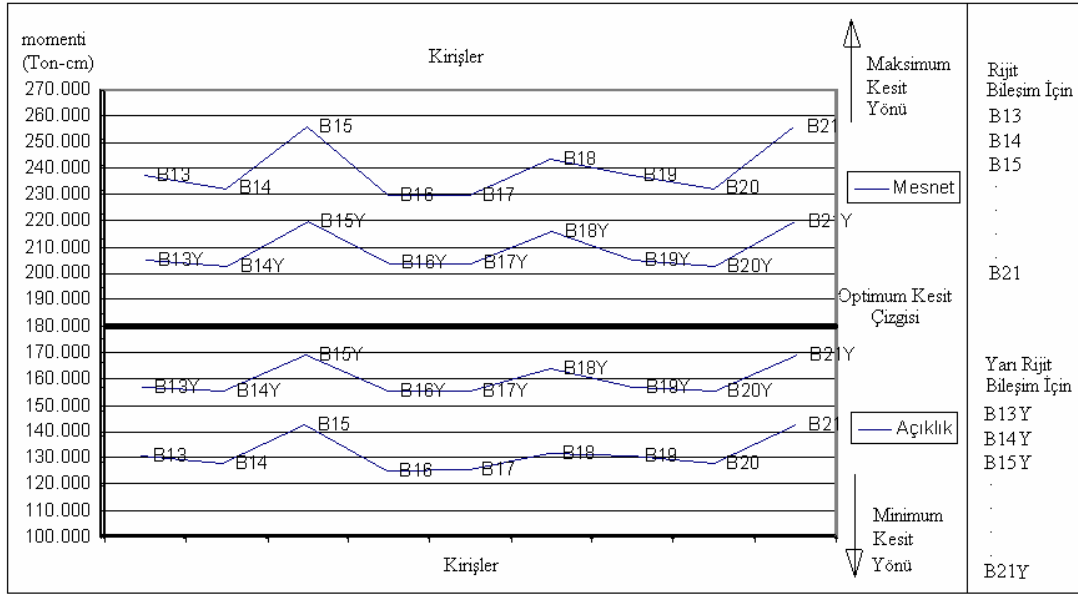
Yarı rijit bileşim için					
	Oluşan Deplasman (cm)		Deplasman sınır şartı (cm)	Sonuç	
Kiriş	IPE 240	IPE 220		IPE 240 - IPE220	
B13	0,401	0,527	2,4	√	√
B14	0,391	0,517	2,4	√	√
B15	0,438	0,572	2,4	√	√
B16	0,391	0,518	2,4	√	√
B17	0,392	0,519	2,4	√	√
B18	0,412	0,546	2,4	√	√
B19	0,401	0,527	2,4	√	√
B20	0,391	0,517	2,4	√	√
B21	0,438	0,572	2,4	√	√

Tablo 6.7. Rijit bileşim için kolon uç deplasman sonuçları

Rijit bileşim için			
	Oluşan Deplasman (cm)	Deplasman sınır şartı (cm)	Sonuç
Kolon	U1	Kolon uç	Kolon uç
C1	0.383	1.167	√
C2	0.8531	2.167	√
C3	1.2091	1.900	√
C4	0.383	1.167	√
C5	0.8531	2.167	√
C6	1.2091	1.900	√
C7	0.383	1.167	√
C8	0.8531	2.167	√
C9	1.2091	1.900	√
C10	0.383	1.167	√
C11	0.8531	2.167	√
C12	1.2091	1.900	√

Tablo 6.8. Yarı rijit bileşim için kolon uç deplasman sonuçları

Yarı rijit bileşim için					
	Oluşan deplasman (cm)		deplasman sınır şartı (cm)	Sonuç	
Kolon	U1(IPE240)	U1(IPE220)	Kolon uç	Kolon uç	
C1	0.4514	0.5028	1.167	√	√
C2	1.0521	1.2053	2.167	√	√
C3	1.5472	1.8155	1.900	√	√
C4	0.4514	0.5028	1.167	√	√
C5	1.0521	1.2053	2.167	√	√
C6	1.5472	1.8155	1.900	√	√
C7	0.4514	0.5028	1.167	√	√
C8	1.0521	1.2053	2.167	√	√
C9	1.5472	1.8155	1.900	√	√
C10	0.4514	0.5028	1.167	√	√
C11	1.0521	1.2053	2.167	√	√
C12	1.5472	1.8155	1.900	√	√



Şekil 6.4. Tip 1 yapısına ait rijit ve yarı rijit bileşimlerinin açıklık ve mesnet momentlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması

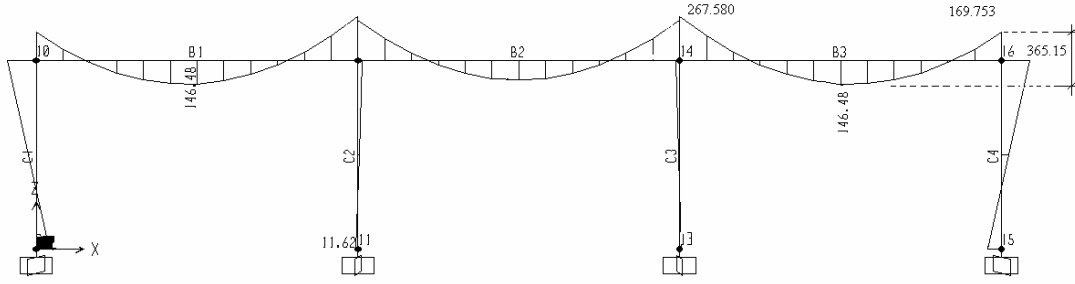
### 6.1.1.2. Deplasmanların karşılaştırılması

Rijit ve yarı rijit bileşimde çözülen sistemlerde kirişlerde oluşan deplasmanlar Tablo 6.5.'de ve Tablo 6.6.'de verilmiştir. Rijit bileşimde oluşan dönme yarı rijit bileşime nazaran daha az olduğu için dolayısıyla rijit bileşim dönmeye izin vermediği için kirişte oluşan deplasman yarı rijit bileşime göre daha az olmuştur.

Rijit ve yarı rijit bileşimde çözülen sistemlerde kolonlarda oluşan deplasmanlar Tablo 6.7.'de ve Tablo 6.8.'de verilmiştir. Yarı rijit bileşimin verdiği kısmi dönme serbestliği yüzünden kolon uç deplasmanların da da rijit bileşime nazaran arttığı gözlenmiştir. Sonuç itibarıyla rijit ve yarı rijit bileşim sistemlerinin karşılaştırılmasından anlaşılacağı üzere yarı rijit bileşim daha ekonomik olmuştur.

### 6.1.2. Tip 2 yapısına ait değerlendirmeler

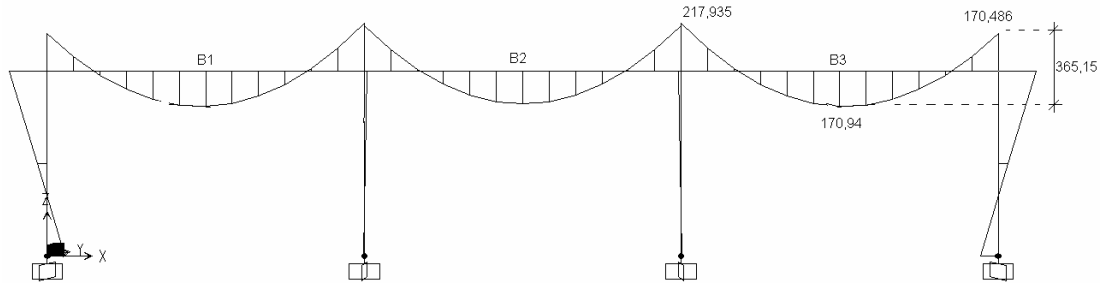
Bölüm 5'de detayları verilen sistemin daha önce belirtildiği gibi önce düğüm noktaları rijit kabul edilip boyutlandırılmış daha sonra yarı rijit kabul edilip rijitliklerin sisteme girilip tekrar analizi sonucu boyutlandırılmış ve sonuçlar bu bölümde karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.5. Rijit bileşim sonucu oluşan moment diyagramı( IPE240-HEB240 birleşimi)

Tablo 6.9. Rijit bileşim için kiriş deplasman sonuçları ( IPE240-HEB240 birleşimi)

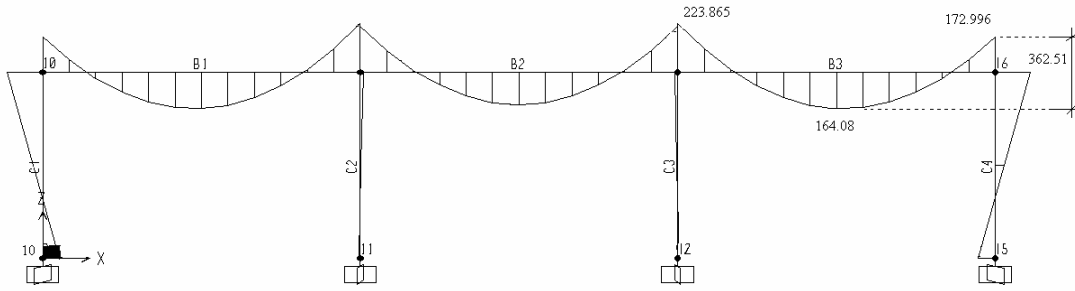
Rijit bileşim için		
	Oluşan moment (ton-cm)	
Kiriş	Mesnet	Açıklık
B1	267.580	146.480
B2	243.363	121.780
B3	267.580	146.480



Şekil 6.6. Yarı rijit bileşim sonucu oluşan moment diyagramı( IPE240-HEB240 birleşimi)

Tablo 6.10. Yarı rijit bileşim için kiriş deplasman sonuçları ( IPE240-HEB240 birleşimi)

Yarı Rijit bileşim için		
	Oluşan moment (ton-cm)	
Kiriş	Mesnet	Açıklık
B1	267.580	146.480
B2	243.363	121.780
B3	267.580	146.480



Şekil 6.7. Yarı rijit bileşim sonucu oluşan moment diyagramı ( IPE220-HEB240 birleşimi)

Tablo 6.11. Yarı Rijit bileşim için kiriş deplasman sonuçları ( IPE220-HEB240 birleşimi)

Yarı rijit bileşim için		
Oluşan moment (ton-cm)		
Kiriş	Mesnet	Açıklık
B1	223.865	164.08
B2	211.628	150.88
B3	223.865	164.08

Tablo 6.12. Yarı rijit ve rijit bileşim için kiriş kesit sonuçları

	SONUÇ	
	Yarı rijit bileşim için	Rijit bileşim için
Kiriş	Kesit	Kesit
B13	IPE240	IPE220
B14	IPE240	IPE220
B15	IPE240	IPE220

### 6.1.2.1. Kolon ve kiriş kesitlerinin karşılaştırılması

Rijit ve yarı rijit birleşim sonucu bulunan kesitler Tablo 6.12' de verilmiştir. Rijit bileşimde Kirişlerin kesitleri önce IPE 220 seçilmiş ve kullanma sınır durumu ve taşıma sınır durumunu karşılamadığı görülmüştür. Bundan dolayı kesit arttırılmış ve IPE240 seçilmiştir. Yeni IPE240 kiriş kesiti hem kullanma sınır durumunu hem de taşıma sınır durumunu sağlamıştır. Kirişlerin Kullanma sınır durumu ile ilgili tablo;

Tablo 6.13 ve Tablo 6.14’de verilmiştir. Yarı rijit bileşimde ise kirişlerin kesitleri önce IPE200 seçilmiş fakat bu kesit taşıma sınır durumunu aşmıştır. Bundan dolayı kesit arttırılmış ve IPE220 seçilmiştir. Yeni IPE220 kiriş kesiti hem kullanma sınır durumunu hem de taşıma sınır durumunu sağlamıştır. Kullanma sınır durumu ile ilgili tablo; Tablo 6.13, Tablo 6.14, Tablo 6.15, Tablo 6.16’da verilmiştir. Burada en önemli sonuç açıklık ortasında momentin %15-%20 civarında arttığı mesnetlerde ise azaldığı gözlenmiştir. Bu durumda kesitin değişimi oldukça ekonomik olmuştur.

Rijit bileşim ile yarı rijit bileşim moment diyagramında gözlenen diğer bir husus ortalama gelen momentin değişmediği ve yarı rijit bileşim sonucu oluşan momentin kirişe daha homojen yayıldığı görülmüştür.(Şekil 6.8 ) Yarı rijit bileşim yapılmasının kolon kesitlerinde ve dışmerkez çaprazlarda herhangi bir değişikliğe yol açmadığı görülmüştür.

Tablo 6.13. Rijit bileşim için kiriş deplasman sonuçları

Rijit bileşim için			
	Oluşan deplasman (cm)	deplasman sınır şartı (cm)	sonuç
Kiriş	IPE240	IPE240	IPE240
B1	0.3443	2.4	√
B2	0.2405	2.4	√
B3	0.3443	2.4	√

Tablo 6.14. Yarı rijit bileşim için kiriş deplasman sonuçları

Yarı rijit bileşim için				
	Oluşan deplasman (cm)		deplasman sınır şartı (cm)	sonuç
Kiriş	IPE240	IPE220	IPE240 - IPE220	IPE240 - IPE220
B1	0.447	0.5899	2.4	√
B2	0.394	0.5121	2.4	√
B3	0.447	0.5899	2.4	√

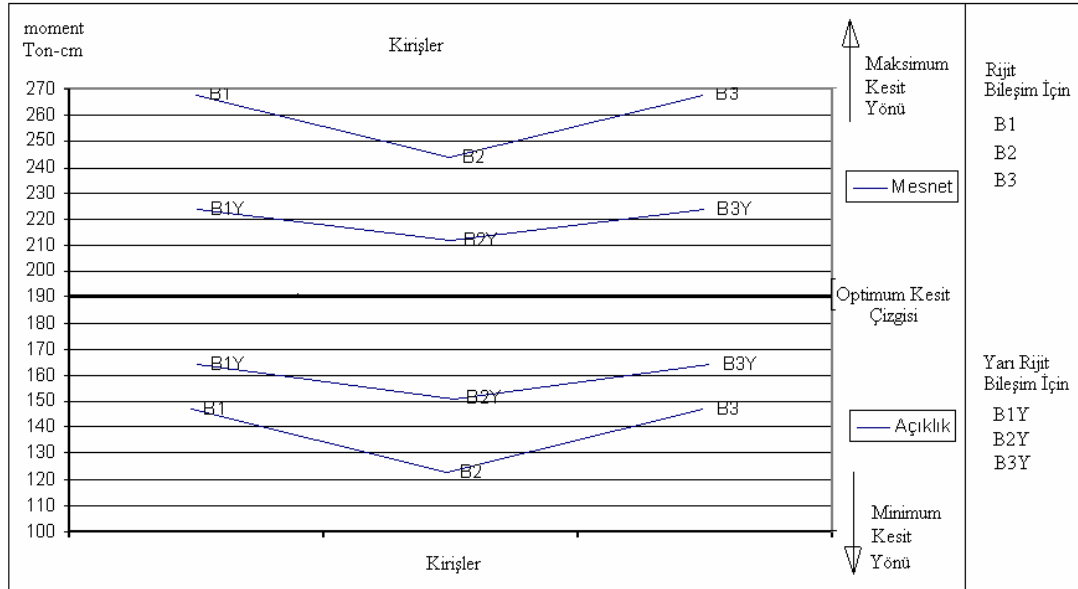


Tablo 6.15. Rijit bileşim için kolon uç deplasman sonuçları

Rijit bileşim için			
	Oluşan deplasman (cm)	deplasman sınır şartı (cm)	sonuç
Kolon	U1	kolon uç	kolon uç
C1	0.1632	0.700	√

Tablo 6.16. Yarı rijit bileşim için kolon uç deplasman sonuçları

Yarı rijit bileşim için			
	Oluşan deplasman (cm)	deplasman sınır şartı (cm)	sonuç
Kolon	IPE240 - IPE220	kolon uç	IPE240 - IPE220
C1	0.1992   0.1463	0.700	√



Şekil 6.8. Tip 2 yapısına ait rijit ve yarı rijit bileşimlerinin açıklık ve mesnet momentlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması

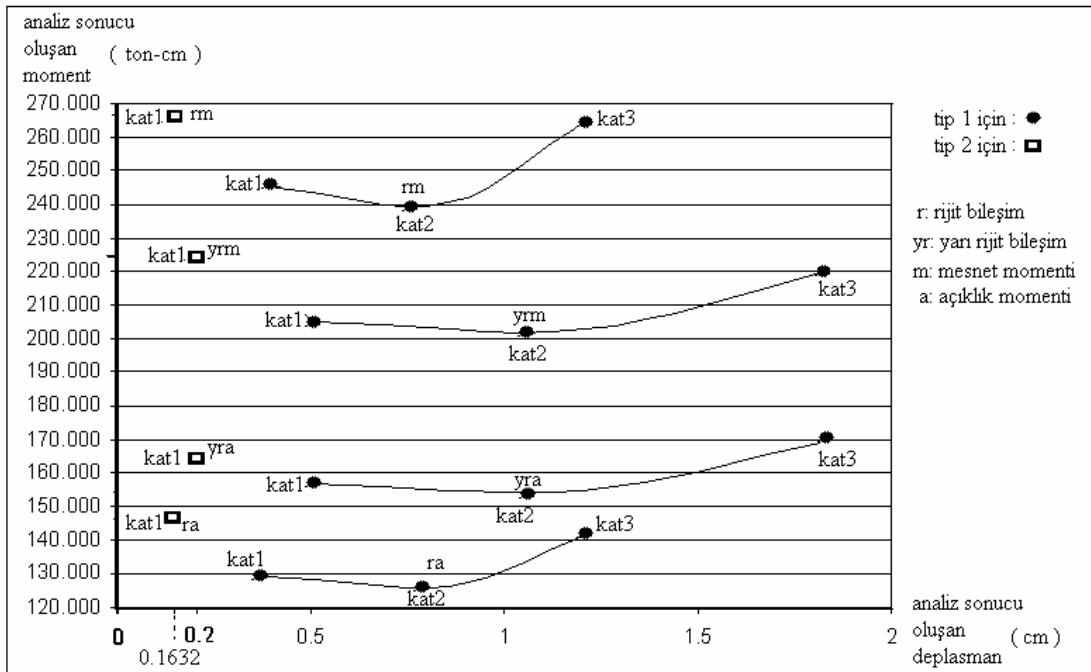
### 6.1.2.2. Deplasmanların karşılaştırılması

Rijit ve yarı rijit bileşimde çözülen sistemlerde kirişlerde oluşan deplasmanlar Tablo 6.13.'de ve Tablo 6.14.'de verilmiştir. Rijit bileşimde oluşan dönme yarı rijit bileşime nazaran daha az olduğu için dolayısıyla rijit bileşim dönmeye izin vermediği için kirişte oluşan deplasman yarı rijit bileşime göre daha az olmuştur.

Rijit ve yarı rijit bileşimde çözülen sistemlerde kolonlarda oluşan deplasmanlar Tablo 6.15'da ve Tablo 6.16'da verilmiştir. Yarı rijit bileşimin verdiği kısmi dönme serbestliği yüzünden kolon uç deplasmanlarının da rijit bileşime nazaran arttığı gözlenmiştir. Sonuç itibariyle rijit ve yarı rijit bileşim sistemlerinin karşılaştırılmasından anlaşılacağı üzere yarı rijit bileşim sonucu oluşan mesnet momentleri azalmıştır.

## 6.2. Öneriler

Sonuç olarak; yarı rijit bileşimde kirişe gelen ( ortalama moment; pratik olarak, mesnet momenti ve açıklık momentinin toplanarak ikiye bölümü şeklinde söylenebilir. ) ortalama momente yaklaşıldığı görülmüştür. (Bkz şekil 6.3 ve bkz şekil 6.6 )Bu da yarı rijit bileşimde, rijit bileşime göre momentin kirişe daha iyi yayıldığı ve böylece mesnet momentinin azaldığı, açıklık momentinin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 7.1. Tip 1 ve Tip 2 yapısına ait rijit ve yarı rijit bileşimlerinin açıklık ve mesnet momentlerinin oluşan deplasmanlarla grafik üzerinde karşılaştırılması

Kat sayısı arttıkça deplasmanların artmasına ilave olarak kiriş uçlarına girilen rijitlikler nedeniyle oluşan kısmi dönme serbestliği deplasmanların daha da artmasına neden olmuştur. Bu da oluşan momentlerin kirişe daha homojen yayılmasına neden olduğu görülmüştür. Buradan anlaşılacağı üzere çok katlı binalar için yarı rijit bileşimlerde deplasmanların da etkisi olduğu açıktır. ( bkz. Şekil 6.7. ) Bundan dolayı hem kiriş kesitlerinin küçülmesi hem de berkitme ve ilave rijitleştiricilere ihtiyaç duyulmaması ekonomik olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] FAELLA, C., piluso, V. AND Rizzano, G., 1999. Structural Steel Semi Rigid Connection, New Directions in Civil Engineering, Washington.
- [2] CHEN, W. and Toma, S.,1994 Advanced Analysis Of Steel Frames, New Directions In Civil Engineering, Washington.
- [3] ATTİOGBE, E., and Morris, G., ‘Moment-Rotation Functions For Steel Connections’,Journal Of Structural Engineering,ASCE,Vol.117 (6),pp 1703-1718, june 1991
- [4] CHEN, W. and Kishi, F., 1990. Semi Rigid Steel Beam to Column Connections: Database and Modelling, Journal of structural Engineering, Vol.115, pp105-107, USA.
- [5] EUROCODE 3, ENV 1993 -1-1, Design of steel structures.
- [6] Commission Of The Europan Comminites Directorate General For Secience, Research and Development Technical Research Steel (XII-C4) Frame Design Including Joint Behavior Volume I January 1997
- [7] DBYBHY 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
- [8] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri.

## ÖZGEÇMİŞ

Abdulkadir BUDAK, 08.08.1981 de Ağrı' da doğdu. İlkokulu Bursa Dörtçelik ilköğretim okulunda, ortaöğretimini Setbaşı ilköğretim okulunda ve lise eğitimini Nuri erbak (yabancı dil ağırlıklı lise) lisesinde tamamladı. 1999 yılında Nuri erbak Lisesinden mezun oldu. 1999 yılında başladığı DPÜ İnşaat Mühendisliği bölümüne 2004 yılında bitirdi. 2004 – 2005 yılları arasında çeşitli firmalarda yardımcı kontrol mühendisliği, şantiye şefliği gibi görevlerde mühendis olarak çalıştı. Hala bir yapı denetim şirketinde yardımcı kontrol mühendisi olarak görev yapmaktadır.