



# ÇELİK YAPILARIN TASARIM, HESAP VE YAPIM ESASLARINA DAİR YÖNETMELİK HAKKINDA

## UYGULAMA KILAVUZU

2017



# İÇİNDEKİLER

## GİRİŞ 1

## BÖLÜM 1 GENEL ESASLAR 3

Örnek 1.1 TS EN 1991-1-3 e Uygun Olarak Kar Yüğü Yayılışlarının Belirlenmesi 4

## BÖLÜM 2 MALZEME 11

## BÖLÜM 3 İMALAT VE MONTAJ 12

## BÖLÜM 4 KALİTE KONTROLÜ 12

## BÖLÜM 5 TASARIMDA TEMEL İLKELER 13

## BÖLÜM 6 STABİLİTE TASARIMI 17

Örnek 6.1 İkinci Mertebe Teorisine Göre Çerçeve Tasarımı 19

Örnek 6.1.a Genel Analiz Yöntemi İle Tasarım 19

Örnek 6.1.b Burkulma Boyu Yöntemi İle Tasarım 22

## BÖLÜM 7 EKSENEL ÇEKME KUVVETİ ETKİSİ 27

Örnek 7.1 Levha Çekme Elemanı 29

Örnek 7.2 IPE 270 Enkesitli Çekme Elemanı 32

Örnek 7.3 L 70×70×7 Enkesitli Çekme Elemanı 35

Örnek 7.4 UPE 240 Enkesitli Çekme Elemanı 38

Örnek 7.5 Boru 219.1×10 Enkesitli Çekme Elemanı 41

Örnek 7.6 Kutu 150×100×8 Enkesitli Çekme Elemanı 44

Örnek 7.7 Mil Birleşimli Levha 15×150 Enkesitli Çekme Elemanı 47

Örnek 7.8 Şaşırtmalı Bulon Delikli Levha Çekme Elemanı 50

## BÖLÜM 8 EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİ 53

Örnek 8.1 HE 450 B Enkesitli Basınç Elemanı 55

Örnek 8.2 ½ HE 280 B Enkesitli Basınç Elemanı 58

Örnek 8.3 L 150×150×15 Enkesitli Basınç Elemanı 62

Örnek 8.4 Boru 219.1×10 Enkesitli Basınç Elemanı 65

Örnek 8.5 2UPE 200 Yapma Enkesitli Çok Parçalı Basınç Elemanı 68

Örnek 8.6 2L 110×110×10 Yapma Enkesitli Çok Parçalı Basınç Elemanı 74

Örnek 8.7 L 200×150×12 Enkesitli Basınç Elemanı 78

Örnek 8.8 ½ HE 700 A Enkesitli Basınç Elemanı 81

## **BÖLÜM 9 EĞİLME MOMENTİ ETKİSİ 85**

Örnek 9.1	Kuvvetli Ekseninde Eğilme Etkisinde HE 450 A Enkesitli Kiriş	89
Örnek 9.2	Kuvvetli Ekseni Etrafında Eğilme Etkisinde HE 450 A Enkesitli Kiriş	91
Örnek 9.3	Kuvvetli Ekseni Etrafında Eğilme Etkisinde HE 450 A Enkesitli Kiriş	94
Örnek 9.4	Kuvvetli Ekseni Etrafında Eğilme Etkisinde HE 450 A Enkesitli Kiriş	97
Örnek 9.5	Kuvvetli Ekseni Etrafında Eğilme Etkisinde Yapma Enkesitli Kiriş	100
Örnek 9.6	Kuvvetli Ekseni Etrafında Eğilme Etkisinde Yapma Enkesitli Kiriş	103
Örnek 9.7	Zayıf Ekseni Etrafında Eğilme Etkisinde HE 450 A Enkesitli Kiriş	107
Örnek 9.8	Kutu 200×200×8 Enkesitli Kiriş	109
Örnek 9.9	Zayıf Ekseni Etrafında Eğilme Etkisinde Kutu 300×200×8 Enkesitli Kiriş	111
Örnek 9.10	Boru 219.1×10 Enkesitli Kiriş	113
Örnek 9.11	T 125×250 Enkesitli Kiriş	115
Örnek 9.12	T 200×400 Enkesitli Kiriş	117
Örnek 9.13	T 200×400 Enkesitli Kiriş	120
Örnek 9.14	L 160×160×14 Enkesitli Kiriş	123
Örnek 9.15	L 160×160×14 Enkesitli Kiriş	125
Örnek 9.16	L 160×160×14 Enkesitli Kiriş	127
Örnek 9.17	L 160×160×14 Enkesitli Kiriş	129
Örnek 9.18	L 100×100×6 Enkesitli Kiriş	131
Örnek 9.19	Dolu Kutu 200×10 Enkesitli Kiriş	136

## **BÖLÜM 10 KESME KUVVETİ ETKİSİ 139**

Örnek 10.1	Kuvvetli Ekseninde Kesme Kuvveti Etkisinde HE 450 A Enkesitli Kiriş	141
Örnek 10.2	Kuvvetli Ekseninde Kesme Kuvveti Etkisinde UPE 220 Enkesitli Kiriş	142
Örnek 10.3	Kuvvetli Ekseninde Kesme Kuvveti Etkisinde Yapma Enkesitli Kiriş	143
Örnek 10.4	Kuvvetli Ekseninde Kesme Kuvveti Etkisinde Yapma Enkesitli Kiriş	145
Örnek 10.5	Kuvvetli Ekseninde Kesme Kuvveti Etkisinde Yapma Enkesitli Kiriş	148
Örnek 10.6	Kutu 200×200×8 Enkesitli Kiriş	156
Örnek 10.7	Boru 168.3×10 Enkesitli Kiriş	157
Örnek 10.8	L 200×150×10 Enkesitli Kiriş	159
Örnek 10.9	Zayıf Ekseninde Kesme Kuvveti Etkisinde HE 450 A Enkesitli Kiriş	160



## **BÖLÜM 11 BİLEŞİK ETKİLER 161**

- Örnek 11.1 Eksenel Basınç Kuvveti ve Kuvvetli Ekseni Etrafında Eğilme Momentinin Bileşik Etkisinde HE 300 B Enkesitli Eleman 162
- Örnek 11.2 Eksenel Basınç Kuvveti ve Kuvvetli Ekseni Etrafında Eğilme Momentinin Bileşik Etkisinde HE 300 B Enkesitli Eleman 168
- Örnek 11.3 Eksenel Basınç Kuvveti ve Asal Eksenleri Etrafında Eğilme Momenti Etkisinde HE 300 B Enkesitli Eleman 171
- Örnek 11.4 Eksenel Basınç Kuvveti ve Asal Eksenleri Etrafında Eğilme Momentinin Bileşik Etkisinde HE 300 B Enkesitli Eleman 177
- Örnek 11.5 Eksenel Çekme Kuvveti ve Kuvvetli Ekseni Etrafında Eğilme Momentinin Bileşik Etkisinde HE 300 B Enkesitli Eleman 179
- Örnek 11.6 Eksenel Basınç Kuvveti ve Kuvvetli Ekseni Etrafında Eğilme Momentinin Bileşik Etkisinde HE 300 B Enkesitli Konsol Kolonun Burkulma Boyu Yöntemi İle Tasarımı 182
- Örnek 11.7 Eksenel Basınç Kuvveti ve Kuvvetli Ekseni Etrafında Eğilme Momentinin Bileşik Etkisinde HE 300 B Enkesitli Konsol Kolonun Genel Analiz Yöntemi İle Tasarımı 187
- Örnek 11.8 Burulma Momenti Etkisinde Kutu 200×200×8 Enkesitli Eleman 189
- Örnek 11.9 Burulma Momenti Etkisinde Boru 127×6.3 Enkesitli Eleman 191
- Örnek 11.10 Burulma Momenti, Eğilme Momenti ve Kesme Kuvvetinin Bileşik Etkisinde Kutu 150×100×6 Enkesitli Eleman 193
- Örnek 11.11 Burulma Momenti, Eğilme Momenti ve Kesme Kuvvetinin Bileşik Etkisinde IPE 450 Enkesitli Eleman 197
- Örnek 11.12 Eksenel Çekme Kuvveti ve Eğilme Momentinin Bileşik Etkisinde HE 300 B Enkesitli Eleman 203

Kaynak Yayınlar 205

## **BÖLÜM 12 KOMPOZİT ELEMANLAR 207**

- Örnek 12.1 Eksenel Basınç Kuvveti Etkisinde Boru Enkesitli Beton Dolgulu Kompozit Kolon 208
- Örnek 12.2 Eksenel Çekme Kuvveti Etkisinde Boru Enkesitli Beton Dolgulu Kompozit Kolon 211
- Örnek 12.3 Eksenel Basınç Kuvveti Etkisinde Kutu Enkesitli Beton Dolgulu Kompozit Kolonda Yük Geçiş Mekanizmaları 212
- Örnek 12.4 Eksenel Basınç Kuvveti Etkisinde Çelik Gömme Kompozit Kolonda Yük Geçiş Mekanizmaları 219
- Örnek 12.5 Eksenel Çekme Kuvveti Etkisinde Çelik Gömme Kompozit Kolon 230
- Örnek 12.6 Kompozit Kiriş 231
- Örnek 12.7 Kompozit Kiriş 234

Örnek 12.8	Kompozit Kiriş	238
Örnek 12.9	Kısmi Etkileşimli Kompozit Kiriş	247
Örnek 12.10	Eğilme Momenti, Eksenel Basınç ve Kesme Kuvvetinin Bileşik Etkisinde Beton Dolgulu Kompozit Eleman	257
Örnek 12.11	Eğilme Momenti, Eksenel Basınç ve Kesme Kuvvetinin Bileşik Etkisinde Çelik Gömme Kompozit Eleman	268
Kaynak Yayınlar		279

### **BÖLÜM 13 BİRLEŞİMLER VE BİRLEŞİM ARAÇLARI 281**

Örnek 13.1	Tam ve Kısmi Penetrasyonlu Küt Kaynaklı Birleşim	281
Örnek 13.2	Boyuna Eksenine Doğrultusunda Yük Etkisinde Köşe Kaynaklı Uç Birleşimi	284
Örnek 13.3	Boyuna Eksenine Paralel ve Dik Ağırlık Merkezinden Geçen Yük Etkisinde Köşe Kaynaklı Birleşim	286
Örnek 13.4	Enkesiti Eğrisel Kenarlı Küt Kaynaklı Birleşim	288
Örnek 13.5	Çekme ve Kesme Kuvveti Etkisinde Köşe Kaynaklı Birleşim	290
Örnek 13.6	Ezilme Etkili Bulonlu Birleşim	292
Örnek 13.7	Çekme ve Kesme Kuvveti Etkisinde Ezilme Etkili Bulonlu Birleşim	295
Örnek 13.8	Sürtünme Etkili (Kayma Kontrollü) Bulonlu Birleşim	298
Örnek 13.9	Çekme ve Kesme Kuvveti Etkisinde Sürtünme Etkili Bulonlu Birleşim	300
Örnek 13.10	Kısa Oval Delikli Sürtünme Etkili Bulonlu Birleşim	302
Örnek 13.11	Uzun Oval Delikli Sürtünme Etkili Bulonlu Birleşim	304
Örnek 13.12	Kolon Başlığında Yerel Eğilme Sınır Durumu Kontrolü	306
Örnek 13.13	Kolon Gövdesinde Yerel Akma Sınır Durumu Kontrolü	308
Örnek 13.14	Kolon Gövdesinde Yerel Buruşma Sınır Durumu Kontrolü	310
Örnek 13.15	Kiriş Gövdesinde Yanal Ötelenerek Burkulma Sınır Durumu Kontrolü	312
Örnek 13.16	Kolon Gövdesinde Yerel Burkulma Sınır Durumu Kontrolü	314
Örnek 13.17	Kiriş-Kolon Birleşimi Panel Bölgesinde Kayma Etkisinde Akma Sınır Durumu Kontrolü	316
Örnek 13.18	Kolon Taban Levhası Birleşimi	318
Kaynak Yayınlar		321

### **BÖLÜM 14 BORU VE KUTU ENKESİTLİ ELEMANLARIN BİRLEŞİMLERİ 323**

Örnek 14.1	IPE 300 Enkesitli Kirişin Başlık Elemanlarının Boru 127×6.3 Enkesitli Kolona Birleşimi	326
Örnek 14.2	Boru 159×6.3 Enkesitli Elemana Boyuna Levhalı T-Birleşimi	329
Örnek 14.3	Boru 159×8 Enkesitli Elemanın Kapak Levhalı Birleşimi	331
Örnek 14.4	Kutu 200×200×15 Enkesitli Elemana Boyuna Levhalı T-Birleşimi	333

Örnek 14.5	Kutu 200×200×12 Enkesitli Elemana Profil Gövdesini Yararak Geçen Boyuna Levhalı T-Birleşimi	336
Örnek 14.6	Kutu 200×200×12 Enkesitli Elemanın Kapak Levhalı Birleşimi	339
Örnek 14.7	Boru Profilden Oluşan Kafes Sistemde Y- Birleşimi	341
Örnek 14.8	Boru Profilden Oluşan Kafes Sistemde T- Birleşimi	344
Örnek 14.9	Boru Profilden Oluşan Kafes Sistemde X- Birleşimi	347
Örnek 14.10	Boru Profilden Oluşan Kafes Sistemde K- Birleşimi	350
Örnek 14.11	Kutu Profilden Oluşan Kafes Sistemde X- Birleşimi	354
Örnek 14.12	Kutu Profilden Oluşan Kafes Sistemde T- Birleşimi	358
Örnek 14.13	Kutu Profilden Oluşan Kafes Sistemde Y- Birleşimi	361
Örnek 14.14	Kutu Profilden Oluşan Kafes Sistemde K- Birleşimi	364
Örnek 14.15	Kutu Profilden Oluşan Kafes Sistemde K-Birleşimi ve X- Birleşimi	368
Örnek 14.16	Boru Profilden Oluşan Moment Aktaran X- Birleşimi	376
Örnek 14.17	Boru Profilden Oluşan Moment Aktaran X- Birleşimi	380
Örnek 14.18	Kutu Profilden Oluşan Moment Aktaran T- Birleşimi	385
Örnek 14.19	Kutu Profilden Oluşan Moment Aktaran X- Birleşimi	390
Örnek 14.20	Kutu Profilden Oluşan Moment Aktaran X- Birleşimi	393

## **BÖLÜM 15 KULLANILABİLİRLİK SINIR DURUMLARI İÇİN TASARIM 397**

Kaynak Yayınlar 398

## **BÖLÜM 16 YAPISAL ELEMANLAR İÇİN STABİLİTE BAĞLANTILARI 399**

Örnek 16.1	Kolon İçin Çaprazlı Stabilite Bağlantısı	400
Örnek 16.2	Kolon İçin Noktasal Stabilite Bağlantısı	403
Örnek 16.3	Kolon İçin Noktasal Stabilite Bağlantısı	406
Örnek 16.4	Kiriş İçin Çaprazlı Stabilite Bağlantısı	411
Örnek 16.5	Kiriş İçin Noktasal Stabilite Bağlantısı	414
Örnek 16.6	Kiriş İçin Noktasal Stabilite Bağlantısı	419

## **ÖRNEK ÇELİK ENDÜSTRİ BİNASI 423**

Kaynak Yayınlar 455



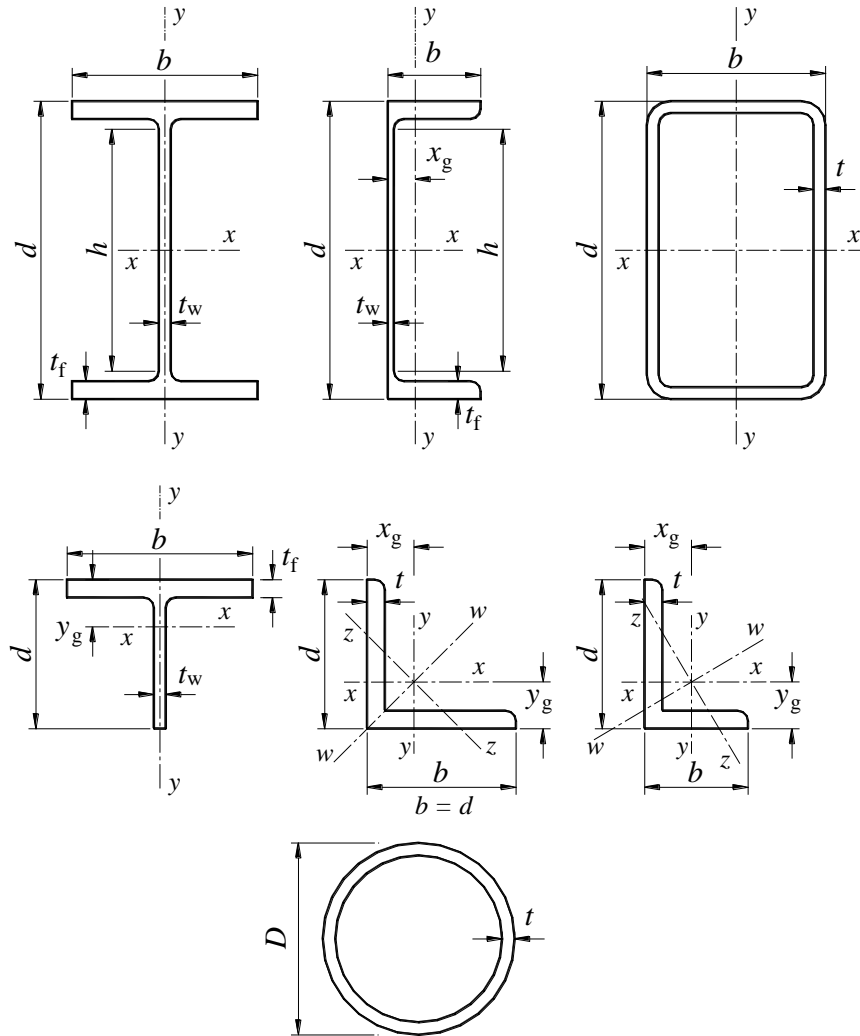
## GİRİŞ

Bu kitap *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği* (bu kitapta *Yönetmelik* ismi ile belirtilecektir) kapsamında her bir bölümde belirtilen esasların ve temel uygulama prensiplerinin açıklanması amacıyla hazırlanmıştır.

Hazırlanan bu kitabın kapsamı, yapısal çelik ve çelik – betonarme kompozit yapı elemanlarının ve yapı sistemlerinin, kullanım amaçlarına uygun olarak, yeterli bir güvenlikle tasarımına ve yapımına ilişkin yöntem, kural ve koşulları içeren *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği* esaslarının uygulandığı yapı elemanları ve birleşim araçlarına ait örnek çözümlerden oluşmaktadır. Ancak boyutlandırmanın tamamlanabilmesi için yürürlükteki deprem yönetmeliğinin ilgili koşullarının da gözönüne alınması gerekmektedir.

*Yönetmelik* kapsamında, çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerinin dayanım sınır durumu esas alınarak tasarımı *Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım* (YDKT) veya *Güvenlik Katsayıları ile Tasarım* (GKT) yaklaşımlarından biri uygulanarak gerçekleştirilmelidir. YDKT ve GKT yaklaşımları arasındaki benzerlik ve farklılıkların kolaylıkla görülebilmesi amacıyla, kitaptaki örneklerin çözümleri her iki yaklaşım için yan yana verilmiştir.

Bu örneklerde kullanılan enkesitlere ait geometrik büyüklüklerin tanımı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.





## BÖLÜM 1 GENEL ESASLAR

*Yönetmelik* Bölüm 1 de kapsam ve genel esaslar açıklanarak, *Yönetmelik* içinde doğrudan veya dolaylı olarak referans verilen ulusal ve uluslararası standart, yönetmelik ve normlar sıralanmaktadır.

Özellikle, TS 498 Standardı'nda yer verilmeyen kar yükü yayılışının çatı geometrisine bağlı olarak belirlenmesine ve kar birikmesini dikkate alan ilgili yükleme durumlarının tanımlanmasına yönelik esaslar, çatı sistemlerinde meydana gelen toptan veya bölgesel göçmelerin önlenmesinde oldukça önemlidir. Benzer şekilde, rüzgar yükü etkileri, TS 498 Standardı'nda oldukça basit ve yapı sistemi geometrisine bağlı yayılışı yeterince detaylı tanımlanmaksızın verilmektedir. Özellikle yüksek binalarda ve farklı geometriye sahip yapı sistemlerinde rüzgar yükü yayılışına bağlı olarak meydana gelecek etkilerin ve bu etkiler altında oluşacak iç kuvvetlerin yeteri bir yaklaşıklıkla ve uygun bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. TS 498 Standardı'nın bu konudaki yetersizliği, *Yönetmelik* 1.3 te TS EN 1991-1-3 ve TS EN 1991-1-4 ün referans verilmesi ile giderilmektedir.

TS EN 1991-1-3 e göre kar yükü yayılışlarının belirlenmesi bu bölümde verilen Örnek 1.1 de, TS EN 1991-1-4 e göre rüzgar etkilerinin hesabı ve rüzgar yükü yayılışlarının düzeni ise son bölümde yer verilen çelik endüstri binası örneği üzerinde açıklanmaktadır.

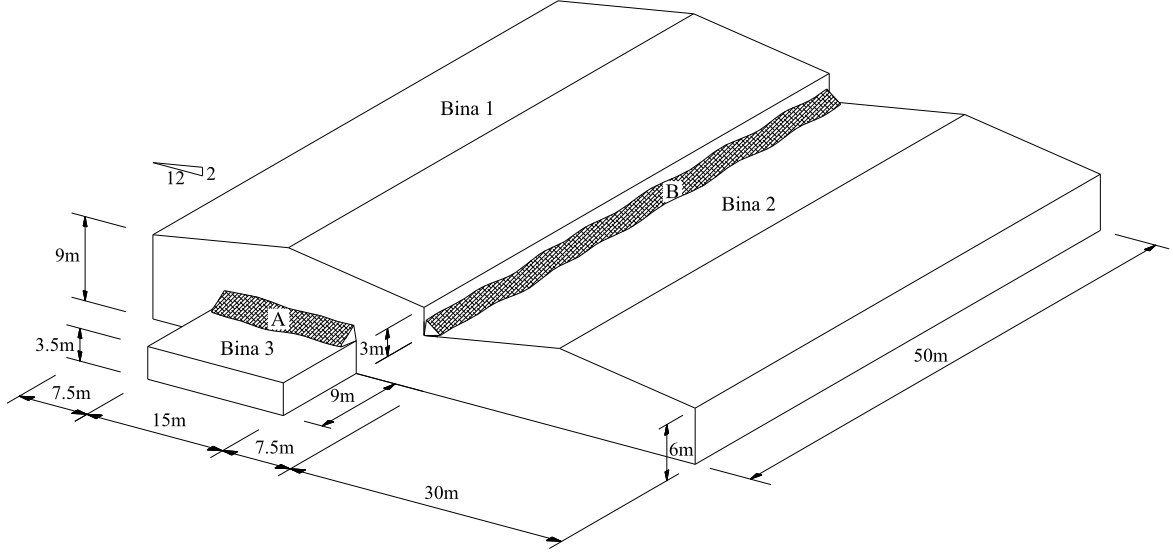
Bu kitap kapsamındaki örneklerde yer verilen çelik yapı elemanları ve birleşimlerin depreme dayanıklı olarak tasarımında, *Yönetmelik*'te verilen kural ve koşullara ek olarak, yürürlükteki deprem yönetmeliği kurallarının da uygulanması gerekmektedir.

Yapısal çelik ve çelik – betonarme kompozit yapı elemanlarının tasarımına ilişkin olarak hazırlanan *Yönetmelik*'te veya ilgili Türk standartlarında yer almayan tasarım kuralları için uluslararası geçerliliği kabul edilen eşdeğer diğer standart, yönetmelik vb. teknik kural dokümanları, *Yönetmelik*'te öngörülen ilkeleri ve asgari güvenlik seviyesini sağlayacak şekilde kullanılabilir.

Yapısal çelik ve çelik – betonarme kompozit yapı elemanları ve yapı sistemlerinin tasarımında, *Yönetmelik* 1.3 te verilen başlıca standart ve yönetmelikler referans alınacaktır.

## Örnek 1.1

Aşağıdaki şekilde geometrileri ve yerleşimi görülen Bina 1, Bina 2 ve Bina 3 için A ve B taraflı bölgeleri ile gösterilen kar birikmesi durumları esas alınarak her bir tipik bina çatısını kapsayan olası kar yüklemelerinin TS EN 1991-1-3 Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-3: Genel Etkiler-Kar Yükleri (Eurocode 1) e uygun olarak belirlenmesi.



### Bina için genel bilgiler

Bina Tipi	: Endüstri Binaları
Yer / Mahal Rakımı	: İstanbul / 100 m
Bina Boyutları	: (Kısa doğrultu×Uzun doğrultu×Mahya yüksekliği) olmak üzere,
Bina 1	: 30m × 50m × (9 + 2.5)m
Bina 2	: 30m × 50m × (6 + 2.5)m
Bina 3	: 9m × 15m × 3.5m
Çatıların Eğimi	: Açı olarak verilmek üzere,
Bina 1	: $\alpha = 9.46^\circ$
Bina 2	: $\alpha = 9.46^\circ$
Bina 3	: $\alpha = 0.0^\circ$
Topografik Bölge Sınıfı	: Normal (TS EN 1991-1-3 Çizelge 5.1)

### Kar yükü için genel bilgiler

TS EN 1991-1-3 Bölüm 1.6.1 deki tanım esas alınarak ve TS EN 1991-1-3 Bölüm 4.1 uyarınca, zemin yüzeyindeki kar ağırlığı,  $s_k$

$$s_k = 0.75 \text{ kN/m}^2$$

Zemin yüzeyindeki kar ağırlığı,  $s_k$ , TS EN 1991-1-3 Ek MA Çizelge MA.1 esas alınarak belirlenebilir. Ancak bu değerlerin güncel olmadığı gözönünde tutulmalıdır.



TS EN 1991-1-3 Bölüm 1.6.4 e göre ve TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.2(3) uyarınca, çatı yüzeyindeki kar ağırlığı,  $s$

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

Maruz kalma katsayısı,  $C_e$ , TS EN 1991-1-3 Çizelge 5.1 e göre topografik bölge sınıfı normal topografik alan için,  $C_e = 1.0$  olarak belirlenmiştir.

Isı katsayısı,  $C_t$ , TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.2(8) e göre,  $C_t = 1.0$  olarak alınmıştır.

$$s = \mu_i (1.0)(1.0) s_k$$

$$s = \mu_i s_k$$

### Çatı yüzeyleri kar yükleri

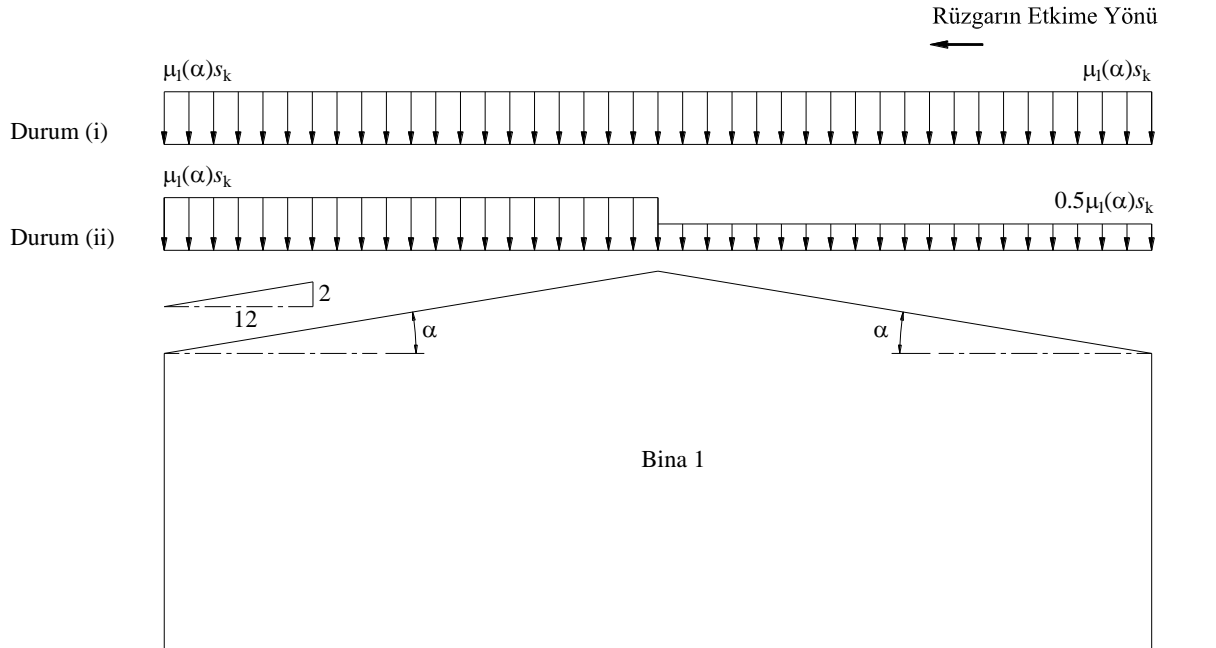
#### Bina 1 için çatı yüzeyi kar yükleri

TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.3(2) uyarınca, çatı yüzeyindeki kar kütlesinin kaymasının önlenmediği varsayılarak TS EN 1991-1-3 Çizelge 5.2 de verilen değer ile TS EN 1991-1-3 Şekil 5.3 e göre, Bina 1 için Şekil 5.1.1 de gösterilen kar yükü yayılışları dikkate alınmalıdır.

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$$

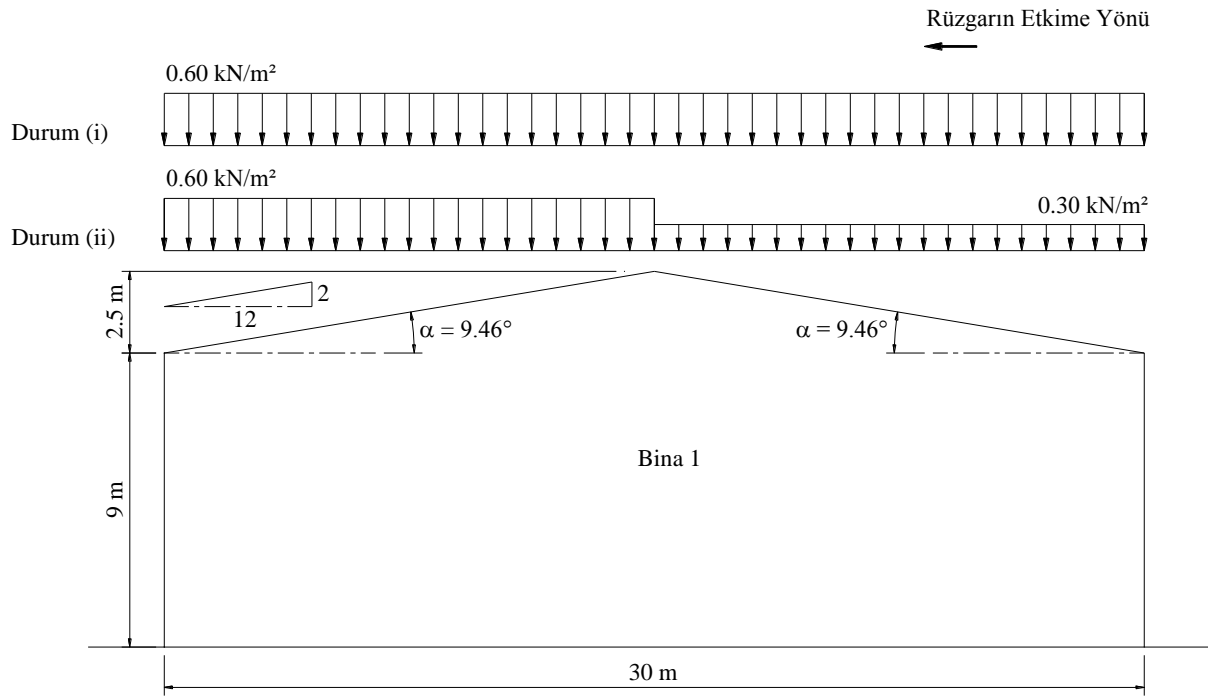
$$0^\circ \leq \alpha = 9.46^\circ \leq 30^\circ$$

$$\mu_1(\alpha) = 0.80$$



Şekil 5.1.1 Kar yükü düzenlemeleri

TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.3(3) ve 5.3.3(4) uyarınca, sırasıyla, birikmemiş kar yükü düzenlemesi olarak Durum (i) ve birikmiş kar yükü düzenlemesi olarak Durum(ii) nin kullanılması gerekmektedir. Bu durumda, her bir yükleme durumu için yük değerleri, Şekil 5.1.2 de gösterilmektedir.



Şekil 5.1.2 Kar yükü değerleri

### Bina 2 için çatı yüzeyi kar yükleri

$$s = \mu_1 s_k$$

TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) uyarınca, TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) (5.6) ile tanımlanan  $\mu_1$ , alttaki çatının düz olmaması nedeniyle, TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.3 esas alınarak belirlenmelidir.

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$$

$$0^\circ \leq \alpha = 9.46^\circ \leq 30^\circ$$

$$\mu_1 = 0.80$$

$\mu_2$  ise TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) (5.7) ile hesaplanacaktır.

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) uyarınca, daha üstteki çatıdan kar kayması nedeniyle çatılardaki kar yükü şekil katsayısı,  $\mu_s$

$$\alpha = 9.46^\circ \leq 15^\circ$$

$$\mu_s = 0.0$$

Rüzgar etkisinin mevcut olduğu çatılardaki kar yükü şekil katsayısı,  $\mu_w$ , TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1)(5.8) ile hesaplanacaktır.

$$\mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2h} \leq \frac{\gamma h}{s_k}$$

TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) uyarınca, karın birim hacim ağırlığı,  $\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$  olarak alınmaktadır.

$$\mu_w = \frac{(30+30)}{2(3)} \leq \frac{(2)(3)}{(0.75)}$$

$$\mu_w = 10.0 \leq 8.0 \times$$

$$\mu_w = 8.0$$

Ancak TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) Not 1 uyarınca, Milli Ek yayımlanana kadar  $\mu_w$  nin üst ve alt sınırı tavsiye edilen değerler esas alınarak belirlenebilir.

$$0.8 \leq \mu_w \leq 4$$

$$\mu_w = 8.0 \leq 4 \times$$

$$\mu_w = 4$$

Kar birikintisinin uzunluğu,  $l_s$ , TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) Not 1 (5.9) ile hesaplanacaktır.

$$l_s = 2h$$

$$l_s = 2(3)$$

$$l_s = 6.0 \text{ m}$$

Ancak TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) Not 2 uyarınca, Milli Ek yayımlanana kadar  $l_s$  nin üst ve alt sınırı tavsiye edilen değerler esas alınarak belirlenebilir.

$$5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}$$

$$5 \text{ m} \leq l_s = 6.0 \text{ m} \leq 15 \text{ m}$$

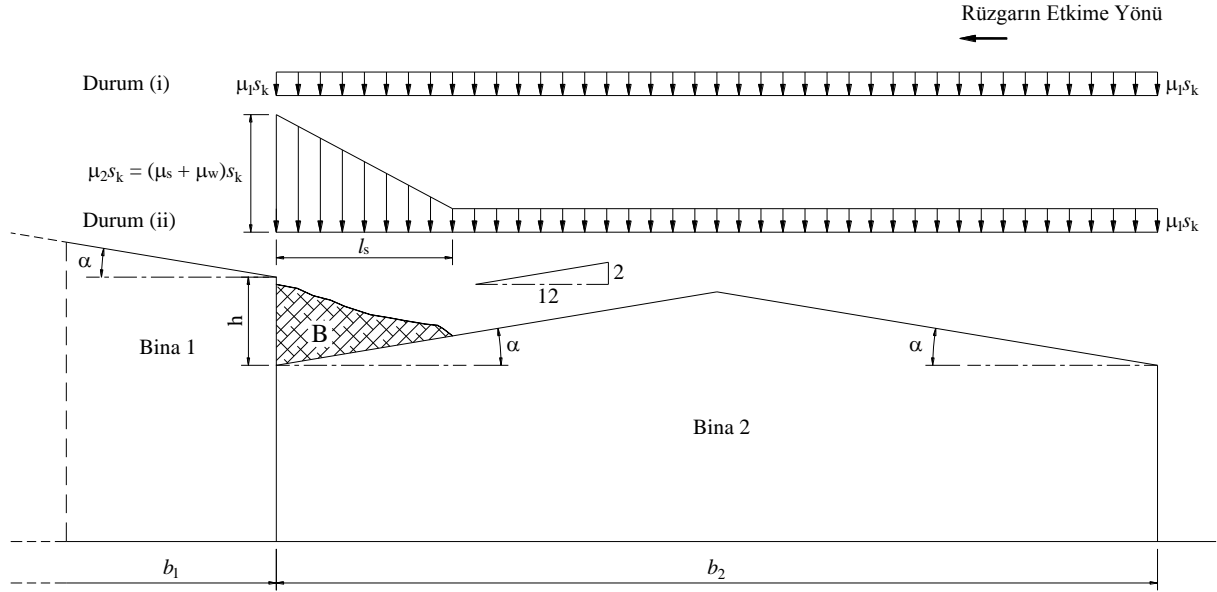
$$l_s = 6.0 \text{ m}$$

TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) Not 3 uyarınca,  $b_2 > l_s$  olduğundan, alttaki çatı kenarındaki katsayı için  $\mu_1$  ve  $\mu_2$  arasında interpolasyon uygulanmayacaktır.

$$\mu_2 = 0.0 + 4.0$$

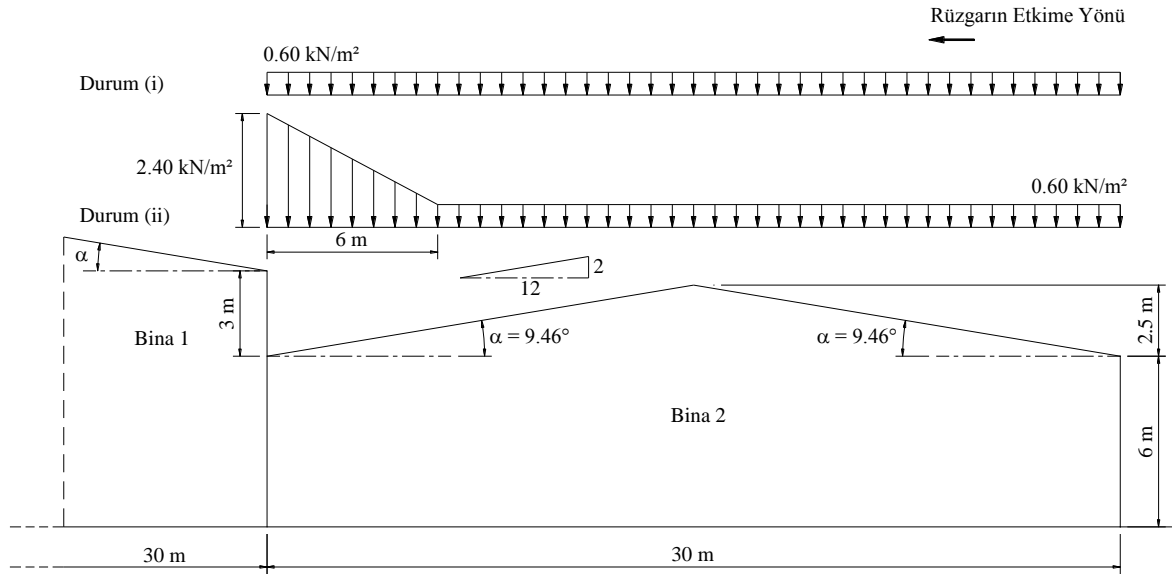
$$\mu_2 = 4$$

TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(2) ve 5.3.6(3) uyarınca, TS EN 1991-1-3 Şekil 5.7 ye göre, Şekil 5.1.3 te gösterilen kar yükü yayılışları dikkate alınmalıdır.



**Şekil 5.1.3** Kar yükü düzenlemeleri

TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(2) ve 5.3.6(3) uyarınca, sırasıyla, birikmemiş kar yükü düzenlemesi olarak Durum (i) ve birikmiş kar yükü düzenlemesi olarak Durum(ii) nin kullanılması gerekmektedir. Bu durumda, her bir yükleme durumu için yük değerleri, Şekil 5.1.4 te gösterilmektedir.



**Şekil 5.1.4** Kar yükü değerleri

**Bina 3 için çatı yüzeyi kar yükü**

$$s = \mu_1 s_k$$

TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) uyarınca,  $\mu_1$ , alttaki çatının düz olması nedeniyle, TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6 (5.6) ile belirlenmelidir.

$$\mu_1 = 0.80$$

$\mu_2$  ise TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6 (5.7) ile hesaplanacaktır.

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

Daha üstteki çatıdan kar kayması olasılığı bulunmadığından, daha üstteki çatıdan kar kayması nedeniyle çatılardaki kar yükü şekil katsayısı,  $\mu_s$

$$\mu_s = 0.0$$

Rüzgar etkisinin mevcut olduğu çatılardaki kar yükü şekil katsayısı,  $\mu_w$ , TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6 (5.8) ile hesaplanacaktır.

$$\mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2h} \leq \frac{\gamma h}{s_k}$$

TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) uyarınca, karın birim hacim ağırlığı,  $\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$  olarak alınmaktadır.

$$b_1 = 50 \text{ m} \quad b_2 = 9 \text{ m}$$

Kar birikintisinin uzunluğu,  $l_s$ , TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6 (5.9) ile hesaplanacaktır.

$$l_s = 2h$$

$$l_s = 2(5.5)$$

$$l_s = 11.0 \text{ m}$$

Ancak TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) Not 2 uyarınca, Milli Ek yayımlanana kadar  $l_s$  nin üst ve alt sınırı tavsiye edilen değerler esas alınarak belirlenebilir.

$$5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}$$

$$5 \text{ m} \leq l_s = 11.0 \text{ m} \leq 15 \text{ m}$$

$$l_s = 11.0 \text{ m}$$

$$b_2 = 9 \text{ m} \leq l_s = 11.0 \text{ m}$$

$$\mu_w = \frac{(50+9)}{2(5.5)} \leq \frac{(2)(3)}{(0.75)}$$

$$\mu_w = 5.4 \leq 8.0 \checkmark$$

$$\mu_w = 5.4$$

Ancak TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(1) Not 1 uyarınca, Milli Ek yayımlanana kadar  $\mu_w$  nin üst ve alt sınırı tavsiye edilen değerler esas alınarak belirlenebilir.

$$0.8 \leq \mu_w \leq 4$$

$$\mu_w = 5.4 \leq 4 \times$$

$$\mu_w = 4$$

TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.6(2) ve 5.3.6(3) uyarınca, TS EN 1991-1-3 Şekil 5.7 ye göre, Şekil 5.1.5 te gösterilen kar yükü yayılışları dikkate alınmalıdır.

$$\mu_2 = 0.0 + 4.0$$

$$\mu_2 = 4$$



## BÖLÜM 2 MALZEME

*Yönetmelik* Bölüm 2 de yapı çeliği, birleşim araçları ve diğer çelik yapı malzemesinin özellikleri ve ilgili standart, norm ve yönetmelikler yer almaktadır. Bu bölümde verilen malzeme karakteristik değerleri üretim standartlarında verilen minimum değerlerdir.

Beton için TS 500 ve donatı çeliği için TS 708 standartlarında belirtilen ilgili malzeme özellikleri geçerlidir.

*Yönetmelik*, TS EN 10025 e uygun şekilde sıcak haddelenerek üretilmiş çelik profiller ve levhalar ile EN 10210 ve EN 10219 a uygun olarak üretilen yapısal boru ve kutu enkesitli elemanların oluşturduğu çelik ve çelik-betonarme kompozit yapıların tasarım esaslarını içerir. *Yönetmelik*'teki kurallar Tablo 2.1A ve Tablo 2.1B de verilen çelik sınıfları için geçerlidir. Bu doküman kapsamındaki örneklerde kullanılan çelik sınıflarının karakteristik değerleri, *Yönetmelik*'teki aynı tablo isimleriyle olmak üzere, Tablo 2.1A ve Tablo 2.1B de özetlenerek verilmiştir.

**Tablo 2.1A** – Sıcak Haddelenmiş Yapısal Çeliklerde Karakteristik Akma Gerilmesi,  $F_y$  ve Çekme Dayanımı,  $F_u$

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, $t$ (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	$F_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )
<b>EN 10025-2</b>				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	440	550	410	550

**Tablo 2.1B** – Yapısal Boru ve Kutu Profillerde Karakteristik Akma Gerilmesi,  $F_y$  ve Çekme Dayanımı,  $F_u$

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, $t$ (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	$F_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )
<b>EN 10210-1</b>				
S235 H	235	360	215	340
S275 H	275	430	255	410
S355 H	355	510	335	490
<b>EN 10219-1</b>				
S235 H	235	360		
S275 H	275	430		
S355 H	355	510		

Bulonlar, somunlar ve pullar, *Yönetmelik* 1.3.5 te verilen standartlara uygun olacaktır. *Yönetmelik*'teki aynı tablo ismiyle olmak üzere, Tablo 2.2 deki değerler, bulonların malzeme sınıflarına göre tasarım hesaplarında kullanılacak karakteristik değerleridir. *Yönetmelik*'teki kurallar Tablo 2.2 de verilen bulon sınıfları için geçerlidir.

**Tablo 2.2** – Bulonların Karakteristik Akma Gerilmeleri,  $F_{yb}$  ve Çekme Dayanımları,  $F_{ub}$ , (MPa)

<b>Bulon sınıfı</b>	<b>4.6</b>	<b>4.8</b>	<b>5.6</b>	<b>5.8</b>	<b>6.8</b>	<b>8.8</b>	<b>10.9</b>
$F_{yb}$	240	320	300	400	480	640	900
$F_{ub}$	400	400	500	500	600	800	1000

Kaynak malzemesi (kaynak metali) özellikleri, *Yönetmelik* 1.3.6 da verilen standartlara uygun olacaktır.

Çelik – betonarme kompozit yapı elemanlarında kullanılacak başlıklı çelik ankraj kayma elemanlarının malzeme ve kaynak özellikleri, *Yönetmelik* 1.3.7 de verilen standartlara uygun olarak belirlenecektir.

### **BÖLÜM 3 İMALAT VE MONTAJ**

Hesap raporu ve uygulama projeleri ile imalat ve montaj (yerinde uygulama) işlerinde *Yönetmelik* Bölüm 3 te belirtilen kurallar esas alınacaktır.

Çelik yapı sistemleri ve çelik – betonarme kompozit yapıların yapısal çelik elemanlarının imalat ve montaj aşamalarına ait genel ve teknik esasların uygulamalarında TS EN 1090 – 2 de verilen ilgili koşullara uyulması zorunludur.

Yapısal çelik elemanların imalat ve montajında uygulanması gereken genel ve teknik esaslar, kalite kontrol ve yönetim ölçütleri TS EN 1090 – 2 de tanımlanan uygulama sınıflarına göre verilmektedir. Uygulama sınıfı proje müellifi tarafından belirlenecektir. Uygulama sınıfı belirlenirken TS EN 1090 – 2 de verilen kurallara uyulacaktır.

Çelik ve çelik - betonarme kompozit yapı sistemlerinin proje hesap raporları ve uygulama projesi çizimlerinin sunumunda, imalat ve montaj aşamalarında uyulması gereken minimum kurallar *Yönetmelik*'te açıklanmıştır.

Yapı sisteminin analiz ve boyutlandırma hesapları ile stabilite (kararlılık) kontrollerinin yanında, birleşim ve ek detayları ile bunlara ait hesaplar proje hesap raporu kapsamında ayrıntılı, açık ve izlenebilir olarak verilecektir.

### **BÖLÜM 4 KALİTE KONTROLÜ**

*Yönetmelik* Bölüm 4 yapısal çelik ve çelik – betonarme kompozit yapı sistemlerinin ve elemanlarının kalite kontrolü ve güvencesi için gerekli minimum kuralları içermektedir. Beton ve donatı çeliği ile ilgili kalite kontrolü ve güvencesi bu bölümün kapsamında değildir.

İmalat ve montaj aşamalarındaki işlerin kalite kontrolü, imalatçı ve yüklenici tarafından TS EN 1090 – 2 standardına uygun olarak gerçekleştirilecektir. İmalatı tamamlanmış çelik yapı elemanlarının şantiyeye sevki, tanımlanan toleranslar içinde hatasız ve kusursuz olduklarının belgelenmesinin ardından sağlanacaktır.

İmalatçı ve yüklenicinin kalite kontrol denetimcileri, aşağıdaki uygulamaların TS EN 1090 – 2 ye uygun olarak gerçekleşmesini denetleyecektir.



## BÖLÜM 5 TASARIMDA TEMEL İLKELER

*Yönetmelik* Bölüm 5 te çelik yapıların analiz ve boyutlandırılmasında uygulanan ve yönetmeliğin tüm bölümleri için geçerli olan temel ilkeler açıklanmaktadır. Yapı sistemini oluşturan elemanların ve birleşimlerin tasarımı, yapısal analizin temel varsayımları ve yapı sisteminin öngörülen kullanım ve davranış özellikleri ile uyumlu olmalıdır.

Çelik yapı elemanları ve birleşimlerinin tasarımı, yapının işletme ömrü boyunca kendinden beklenen tüm fonksiyonları belirli bir *güvenlik* altında yerine getirebilecek düzeyde kararlılık (stabilite), dayanım ve rijitliğe sahip olacak şekilde, *dayanım* ve *kullanılabilirlik sınır durumları* esas alınarak gerçekleştirilecektir. *Dayanım sınır durumu*, dayanım veya stabilite yetersizliği nedeniyle bölgesel veya tümsel göçme oluşumunu tanımlar. Buna karşılık *kullanılabilirlik sınır durumu*, yapıdan beklenen fonksiyonları engelleyen aşırı yerdeğiştirmeler ve benzeri özellikler cinsinden tanımlanır.

### Stabilite

Yapı sistemlerinin stabilite analizi, eleman bazındaki ve sistem genelindeki geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini gözönüne alan ikinci mertebe teorisine göre hesap yapılmasını öngörmektedir. Bu yönetmelik kapsamında uygulanacak stabilite analizi yöntemleri *Yönetmelik* Bölüm 6 da açıklanmıştır.

### Birleşimler

Yapı sisteminin birleşim detayları *Yönetmelik* Bölüm 13 ve 14 te verilen kurallara uygun olarak tasarlanacaktır. Birleşimlerin tasarımında esas alınacak iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler, yapısal analizin varsayımlarına ve birleşimden beklenen performans özelliklerine bağlı olarak belirlenecektir.

### Dayanım Sınır Durumları İçin Tasarım

*Yönetmelik* kapsamında, çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerin dayanım sınır durumu için tasarımı aşağıda esasları verilen *Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım* (YDKT) veya *Güvenlik Katsayıları ile Tasarım* (GKT) yaklaşımlarından biri uygulanarak gerçekleştirilebilir. Elemanların ve birleşimlerin *gerekli dayanımı*, uygulanan tasarım yaklaşımı için öngörülen ve ayrıntıları *Yönetmelik* 5.3 te verilen yük birleşimleri altında hesaplanır.

### Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)

*Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım* (YDKT), tüm yapısal elemanlar için, *tasarım dayanımı*,  $\phi R_n$  nin bu tasarım yöntemi için öngörülen ve *Yönetmelik* 5.3.1 de verilen YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan *gerekli dayanım*,  $R_u$ , değerine eşit veya daha büyük olması prensibine dayanmaktadır. Buna göre, tasarım *Yönetmelik* Denk.(5.1) de verilen koşula uygun olarak gerçekleştirilecektir.

$$R_u \leq R_d = \phi R_n \quad (5.1)$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$R_u$  : YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım.

$R_n$  : Karakteristik dayanım.

$\phi$  : Dayanım katsayısı.

$R_d$  : Tasarım dayanımı ( $= \phi R_n$ )

Karakteristik dayanım,  $R_n$ , ve dayanım katsayısı,  $\phi$ , *Yönetmelik* Bölüm 7–14 ve 16 da açıklanmaktadır.

Bu tasarım yönteminde gerekli dayanım,  $R_u$ , aşağıdaki yük birleşimleri ile belirlenecektir.

- (1)  $1.4G$
- (2a)  $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (2b)  $1.2G + 1.6Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (3)  $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (Q \text{ veya } 0.8W)$
- (4)  $1.2G + 1.0Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 1.6W$
- (5)  $1.2G + 1.0Q + 0.2S + 1.0E$
- (6)  $0.9G + 1.6W$
- (7)  $0.9G + 1.0E$

### Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT)

*Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT)*, tüm yapısal elemanlar için, *güvenli dayanım*,  $R_n/\Omega$  nın bu tasarım yöntemi için öngörülen ve *Yönetmelik* 5.3.2 de verilen GKT yük birleşimleri altında hesaplanan *gerekli dayanım*,  $R_a$ , değerine eşit veya daha büyük olması prensibine dayanmaktadır. Buna göre, tasarım *Yönetmelik* Denk.(5.2) de verilen koşula uygun olarak gerçekleştirilecektir.

$$R_a \leq R_g = \frac{R_n}{\Omega} \quad (5.2)$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$R_a$  : GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım.

$R_n$  : Karakteristik dayanım.

$\Omega$  : Güvenlik katsayısı.

$R_g$  : Güvenli dayanım ( $= R_n/\Omega$ ).

Karakteristik dayanım,  $R_n$ , ve güvenlik katsayısı,  $\Omega$ , *Yönetmelik* Bölüm 7 – 14 ve 16 da açıklanmaktadır.

Bu tasarım yönteminde gerekli dayanım,  $R_a$ , aşağıdaki yük birleşimleri ile belirlenecektir.

- (1)  $G$
- (2)  $G + Q$
- (3)  $G + (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (4)  $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (5a)  $G + 1.0W$
- (5b)  $G + 0.7E$
- (6a)  $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75W$
- (6b)  $G + 0.75Q + 0.75S + 0.75(0.7E)$

$$(7) \quad 0.6G + W$$

$$(8) \quad 0.6G + 0.7E$$

YDKT veya GKT yük birleşimlerinde yer alan yükler aşağıda tanımlanmıştır.

$G$  : sabit yük

$Q$  : hareketli yük

$Q_r$  : çatı hareketli yükü

$S$  : kar yükü

$R$  : yağmur yükü

$W$  : rüzgar yükü

$E$  : deprem etkisi

Olası farklı yük ve etkilerin (akışkan madde basınç yükü, sıcaklık değişmesi vb.) mevcut olması halinde, bu yük ve etkilerin yukarıdaki yük birleşimlerine katkısı *Yönetmelik 5.3* te tanımlanmaktadır.

### **Kullanılabilirlik Sınır Durumları İçin Tasarım**

Yapı sistemi, yapısal elemanlar ve birleşimler kullanılabilirlik sınır durumları için kontrol edilecektir. Kullanılabilirlik sınır durumları için tasarıma ilişkin kurallar ve koşullar *Yönetmelik Bölüm 15* te verilmiştir.

Kullanılabilirlik sınır durumları, öngörülen belirli yük birleşimleri altında, yapı sisteminin yerdeğiştirme ve ivme gibi davranış büyüklüklerine ait sınırlar ile tanımlanır.

$G$  sabit yükleri,  $Q$  hareketli yükleri,  $S$  kar yüklerini ve  $W$  rüzgar yüklerini göstermek üzere, kullanılabilirlik sınır durumlarının kontrol edildiği yük birleşimleri aşağıda sıralanmıştır.

$$(1) \quad G + Q$$

$$(2) \quad G + 0.5 S$$

$$(3) \quad G + 0.5 Q$$

$$(4) \quad G + 0.5 Q + W$$

*Yönetmelik 15.1* uyarınca,

- (a) Sabit yükler ve kısa süreli hareketli yükler veya kar yükleri altındaki düşey yerdeğiştirme kontrollerinde (1) ve (2) numaralı yük birleşimleri gözönüne alınacaktır.
- (b) Sabit yükler ve uzun süreli hareketli yükler altında, çelik-betonarme kompozit elemanlarda rötre ve sünme etkilerini de kapsayan düşey yerdeğiştirme kontrollerinde (3) numaralı yük birleşimi uygulanacaktır.
- (c) Yapısal olmayan elemanları etkileyen düşey yerdeğiştirme kontrollerinde,  $G$  sabit yüklerinin söz konusu yapısal elemanın inşasından sonra etkiyen bölümü gözönüne alınacaktır.
- (d) Yatay yerdeğiştirme kontrollerinde (4) numaralı yükleme esas alınacaktır.

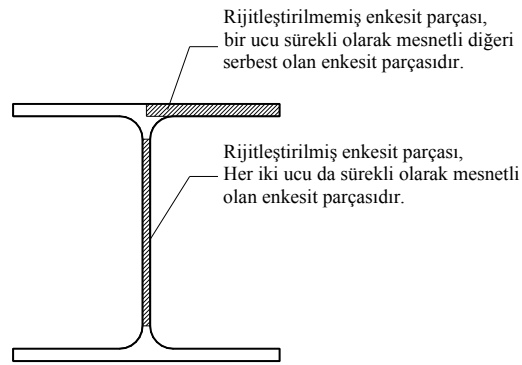
### **Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin Enkesitlerin Sınıflandırılması**

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki enkesitler, yerel burkulma sınır durumu dikkate alındığında, *narin ve narin olmayan enkesitler* olarak sınıflandırılır.

Eğilme momentinden oluşan basınç gerilmeleri etkisindeki enkesit parçaları, yerel burkulma sınır durumu dikkate alındığında, *kompakt, kompakt olmayan ve narin enkesit parçaları* olarak sınıflandırılır.

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitlerin sınıflandırılmasında sınır değerler *Yönetmelik 5.4* te, eksenel basınç kuvveti etkisindeki enkesitler için Tablo 5.1A ve eğilme momentinden oluşan basınç gerilmeleri etkisindeki enkesit parçaları için Tablo 5.1B ile verilmektedir.

Tablo 5.1A ve Tablo 5.1B nin kullanılmasında, *rijitleştirilmemiş enkesit parçaları* ve *rijitleştirilmiş enkesit parçaları* tanımları ve genişlik olarak alınacak boyutlar Şekil 5.1 de gösterilmiştir.



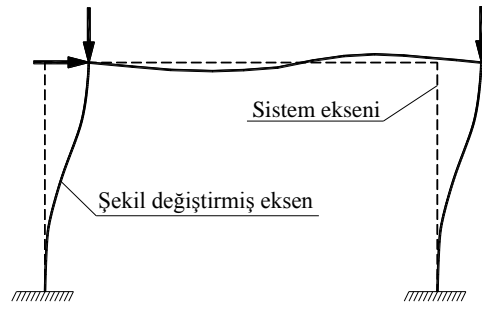
**Şekil 5.1** – Rijitleştirilmemiş ve rijitleştirilmiş enkesit parçaları

*Yönetmelik* Bölüm 6 da yapı sistemlerinin stabilite tasarımının temel ilkeleri ve tasarımda uygulanan başlıca analiz yöntemlerinin esasları açıklanmaktadır.

Yapı sistemlerinin stabilite tasarımı, eleman bazındaki ve sistem genelindeki geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini gözönüne alan *ikinci mertebe teorisi*'ne göre analiz yapılmasını ve hesaplanan iç kuvvet büyüklüklerinin elemanların *mevcut dayanımları* (YDKT için tasarım dayanımı veya GKT için güvenli dayanım) ile karşılaştırılmasını öngörmektedir. Yapı sistemlerinin stabilitesini etkileyen başlıca faktörler aşağıda sıralanmıştır.

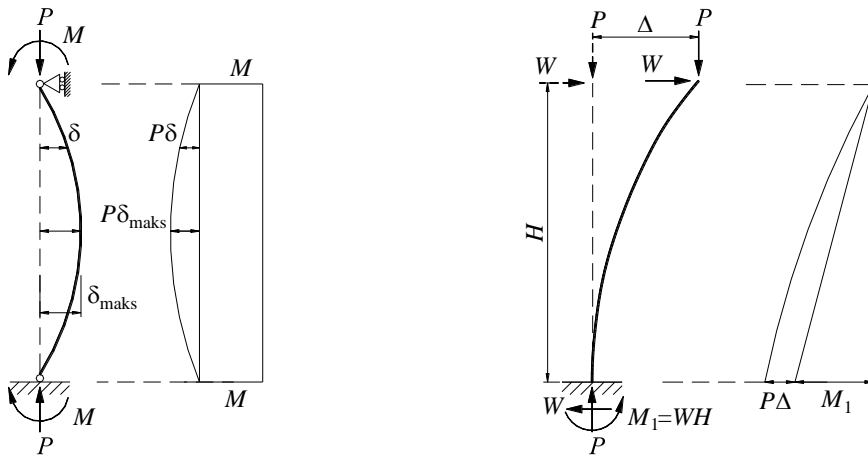
- Elemanların eğilme, kayma ve eksenel şekildeğiştirmeleri ile birlikte yapı sisteminin yerdeğiştirmesinde etkili olan diğer tüm şekildeğiştirmeler (kiriş – kolon birleşimi panel bölgesi şekildeğiştirmeleri, vb.).
- Eleman şekildeğiştirmesine ait  $(P - \delta)$  ve sistem yerdeğiştirmesine ait  $(P - \Delta)$  ikinci mertebe etkileri.
- Geometrik ön kusurlar (ilkel kusurlar).
- Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler ile dayanım ve rijitliklerdeki belirsizlikler.

İkinci mertebe teorisinde denge denklemleri yapı sisteminin şekil değiştirmiş eksenü üzerinde yazılmaktadır (Şekil 6.1).



**Şekil 6.1** – Sistem eksenü ve şekil değiştirmiş eksenü

Eksenel basınç kuvvetiyle beraber eğilme momenti etkisindeki elemanlarda  $P - \delta$  etkisi iki farklı şekilde ortaya çıkabilir (Şekil 6.2).



**Şekil 6.2** – Eleman şekildeğiştirmesine ait  $(P - \delta)$  ve sistem yerdeğiştirmesine ait  $(P - \Delta)$  ikinci mertebe etkileri.

İkinci mertbe teorisi doğrusal olmadığından *süperpozisyon prensibi* geçerli değildir. Bu nedenle işletme (servis) yüklerinin ilgili yük birleşimleri için kendilerine ait yük katsayıları ile çarpımından oluşan toplam yükler altında, sistem ikinci mertbe teorisine göre hesaplanır. Toplam yükler, YDKT yük birleşimlerinden edilen yüklemekten veya GKT yük birleşiminin 1.6 katına eşit bir yüklemekten elde edilecektir.

Yapısal stabiliteyi etkileyen yukarıdaki faktörleri gözönüne alan *genel* (doğrudan) *analiz yöntemi* ve *burkulma boyu* (etkin uzunluk) *yöntemi* ile stabilite tasarımının esasları sırasıyla, *Yönetmelik* 6.3 ve 6.4 de açıklanmaktadır. Ayrıca, ikinci mertbe etkilerin yaklaşık olarak hesaba katıldığı *yaklaşık ikinci mertbe analizi* nin esasları da *Yönetmelik* 6.5 te verilmektedir.

*Yönetmelik*'te, düşey yüklerin düşey çerçeve, kolon ve perdeler tarafından taşındığı çok katlı yapı sistemlerinde düğüm noktalarının konumundaki geometrik ön kusurların aşağıda tanımlandığı şekilde belirlenen yatay *fiktif yükler* ile gözönüne alınmasına izin verilmektedir. Buna göre, fiktif yatay yük katlar arasındaki yapım toleransına bağlı olarak, her bir kat döşemesine etkileyen toplam düşey yükün 0.002 si olarak verilmektedir. Bu değer  $L/500$  değerindeki bir sistem ön kusuruna karşı gelmektedir. Örneğin;  $P$  yükü etkisindeki kolon için bu durum,

$$M = P\Delta = P(L/500)$$

olarak hesaplanan eğilme momenti değerine eşdeğer bir iç kuvvet oluşturan, kolon üst ucuna  $P/500 = 0.002P$  değerine eşit fiktif bir yatay yük uygulanmasına karşı gelmektedir. Bu sınır değeri aşmamak üzere, daha farklı oranda geometrik ön kusurların gözönüne alınması halinde bu katsayı uygun şekilde değiştirilebilir.

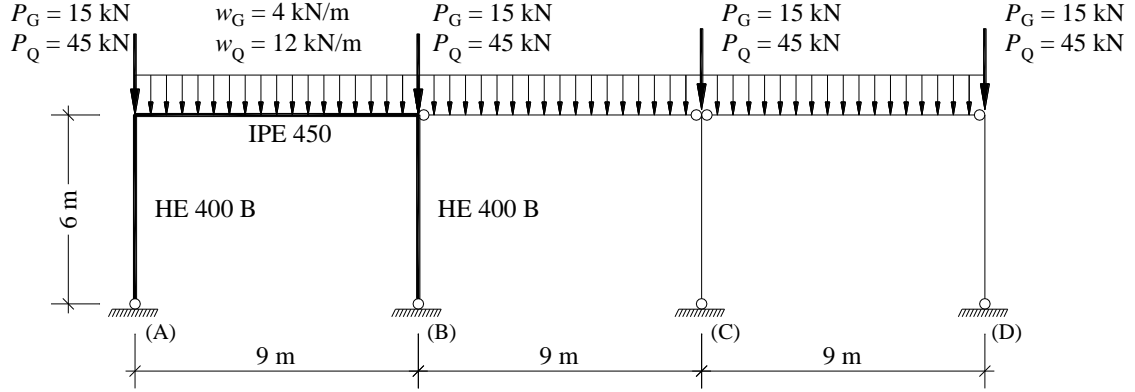
Sistem ön kusurlarını temsil eden bu fiktif yükler şekil değiştirmemiş orijinal sistem üzerine etkililir. Her kat düzeyindeki düğüm noktalarına, bu noktalara etkileyen düşey yüklerle orantılı olarak dağıtılan fiktif yükler, yapısal stabilite açısından sistemde en elverişsiz etkileri oluşturacak doğrultu ve yönde uygulanır.

Çelik yapılarda rijit birleşimli çerçeve sistemlerine mafsallı birleşim ile bağlanmış elemanlarla (pandül) oluşturulmuş bileşik sistemler oldukça sık kullanılır. Bu sistemlerin tasarımı daha karmaşık olmasına rağmen, yapının tümü için moment çerçevelerinin sayısı azaltılarak, daha ekonomik tasarım yapılabilir. Yatay yüklerin taşınmasında hiçbir katkısı olmayan bu pandül kolonların stabilitesi moment aktaran çerçeve sistemi veya diğer yatay yük taşıyan sistemler ile sağlanır. Boyutlandırma bu kolonlar için burkulma boyu katsayısı,  $K=1.0$  olarak alındığından, pandül kolon uçlarının yerdeğiştirmesinin önlenmesinde yanıl mesnet görevi üstlenen moment aktaran çerçevelerin analizinde, bu kolonlardaki eksenel yük mutlaka hesaba katılmalıdır.

## Örnek 6. 1

Geometrisi ve servis (işletme) yükleri aşağıda verilen sistemin kiriş ve kolon elemanlarının gerekli dayanımlarının, ikinci merteye teorisine göre

- Genel Analiz Yöntemi ile belirlenmesi.
- Burkulma Boyu Yöntemi ile belirlenmesi.



### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

HE 320 B

$A_g = 16130 \text{ mm}^2$   $I_x = 30820 \text{ cm}^4$

### Çözüm

(C) ve (D) akslarındaki kolonlar ile (B) – (C) ve (C) – (D) aksları arasındaki kirişlerin iki ucu mafsallı elemanlar olduğundan sistem stabilitesine katkıları bulunmamaktadır. Bu nedenle, (C) ve (D) akslarındaki kolonların kesit hesapları, eksenel kuvvetlerine bağlı olarak ve  $K = 1.0$  alınarak yapılır.

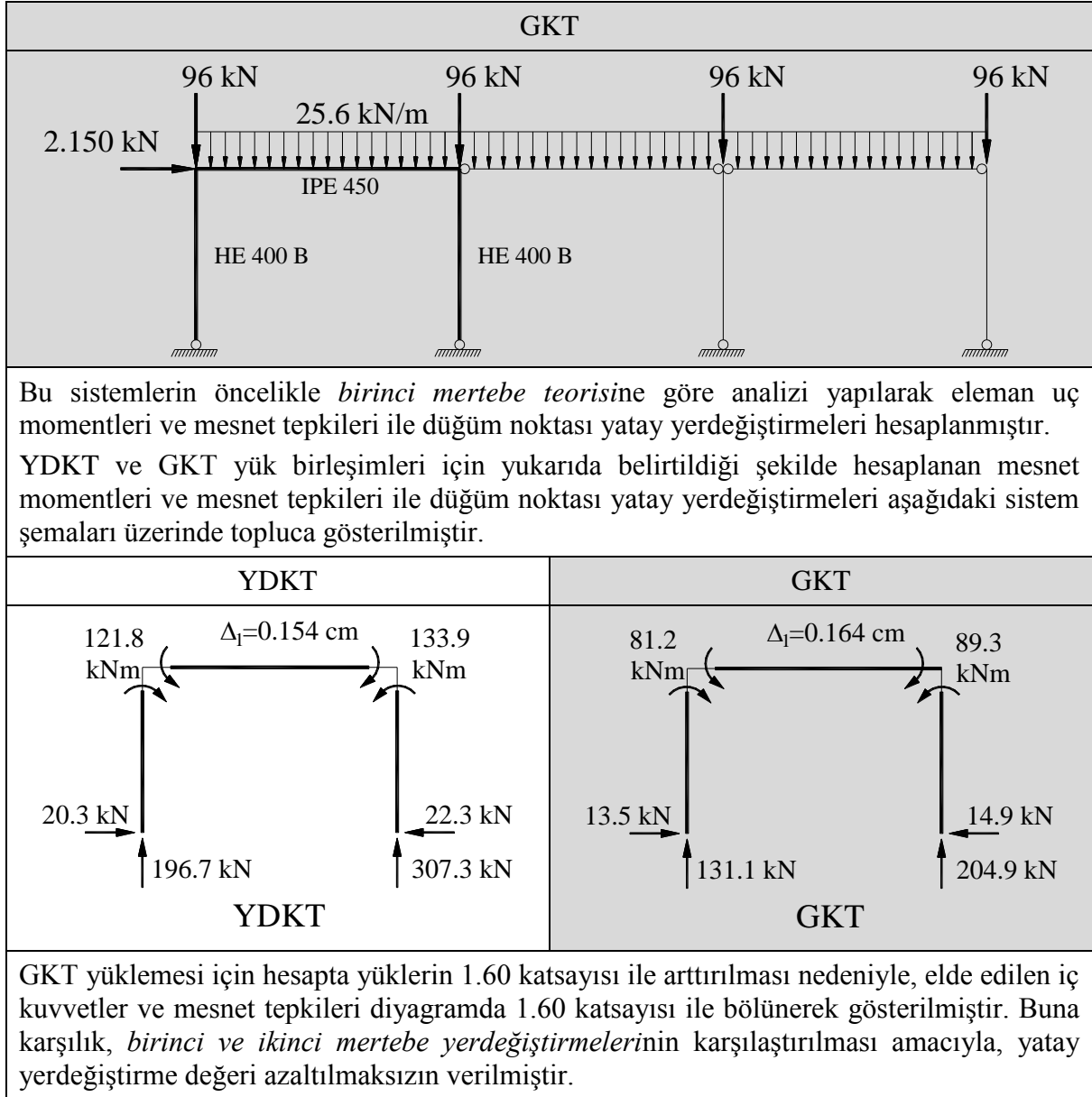
- Kiriş ve kolon elemanlarının gerekli dayanımlarının Genel Analiz Yöntemi ile belirlenmesi

Genel analiz yöntemi, sınırlama olmaksızın, tüm çelik yapı sistemlerinin stabilite tasarımına uygulanabilmektedir.

YDKT ve GKT yüklemeleri için (A – B), (B – C) ve (C – D) kirişlerindeki yayılı yükler ile (A), (B), (C) ve (D) aksları kolonlarına etkileyen düşey yükler aşağıdaki tablolarda hesaplanmıştır.

YDKT	GKT
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(4) + 1.6(12) = 24 \text{ kN/m}$ (5.3.1)	$w_a = w_G + w_Q$ $= 4 + 12 = 16 \text{ kN/m}$ (5.3.2)
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(15) + 1.6(45) = 90 \text{ kN}$ (5.3.1)	$P_a = P_G + P_Q$ $= 15 + 45 = 60 \text{ kN}$ (5.3.2)
<p>Bu yükler, sistem analizinde kullanılmak üzere, <i>Yönetmelik</i> 6.1 uyarınca YDKT için <math>\alpha = 1.0</math> katsayısı ile, GKT yüklemesi için <math>\alpha = 1.6</math> katsayısı ile çarpılacaktır.</p>	
$\alpha = 1.0$ $w_u = 1.0(24) = 24 \text{ kN/m}$ $P_u = 1.0(90) = 90 \text{ kN}$	$\alpha = 1.6$ $w_a = 1.6(16) = 25.6 \text{ kN/m}$ $P_a = 1.6(60) = 96 \text{ kN}$
<p><i>Yönetmelik</i> 6.2.2.2 uyarınca, geometrik önkusurların stabiliteye etkileri fiktif kuvvetler kullanılarak hesaba katılacaktır.</p> $N_i = 0.002\alpha Y_i \quad (6.1)$ <p>Sistemin düğüm noktalarının konumundaki geometrik ön kusurları temsil eden yatay fiktif yükler, YDKT ve GKT yük birleşimleri için ayrı ayrı olmak üzere, hesaplanacaktır.</p>	
$\alpha = 1.0$ $Y_i = 24(3)(9) + 90(4) = 1008 \text{ kN}$ $N_i = 0.002(1.0)(1008) = 2.016 \text{ kN}$	$\alpha = 1.6$ $Y_i = 16(3)(9) + 60(4) = 672 \text{ kN}$ $N_i = 0.002(1.6)(672) = 2.150 \text{ kN}$
<p>YDKT ve GKT yük birleşimleri için yukarıda hesaplanan düşey yükler ile yatay fiktif yükler aşağıdaki sistem şemaları üzerinde topluca gösterilmiştir.</p>	
YDKT	





YDKT ve GKT yük birleşimleri altındaki sistemlerin Genel Analiz Yöntemi ile sistemin ikinci merteye teorisine göre analizinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin etkisini yaklaşık olarak gözönüne almak üzere, eleman rijitliklerinin azaltılması gerekmektedir.

Başlangıçta, kolon aksenal kuvvetlerinin aksenal kuvvet kapasitelerine oranlarının  $\alpha P_r / P_{ns} \leq 0.5$  koşulunu sağladığı varsayımı ile, elemanların eğilme, kesme ve aksenal rijitlikleri 0.80 katsayısı ile çarpılarak azaltılmıştır.

Analizin sonunda, yukarıdaki koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilecek ve gerekli olması halinde eğilme rijitlikleri *Yönetmelik* Denk.(6.3) uyarınca yeniden azaltılarak analiz tekrarlanacaktır.

Bir bilgisayar yazılımından yararlanarak, bu şekilde tanımlanan sistemin P – Δ ve P – δ etkilerini içerecek şekilde *ikinci merteye teorisine* göre analizi yapılmış, YDKT ve GKT yük birleşimleri için elde edilen eğilme momentleri, mesnet tepkileri ve düğüm noktası yatay yerdeğiştirmeleri aşağıdaki diyagramlarda verilmiştir.

YDKT	GKT
$\Delta_2=0.225$ cm $\Delta_2/\Delta_1 = 0.225/0.154 = 1.46$	$\Delta_2=0.242$ cm $\Delta_2/\Delta_1 = 0.242/0.164 = 1.48$
YDKT	GKT
<p>GKT yüklemesi için hesapta yüklerin 1.60 katsayısı ile artırılması nedeniyle, elde edilen iç kuvvetler ve mesnet tepkileri diyagramda 1.60 katsayısı ile bölünerek gösterilmiştir. Buna karşılık, <i>birinci ve ikinci merteye yerdeğiştirmelerinin</i> karşılaştırılması amacıyla, yata y yerdeğiştirme değeri azaltılmaksızın verilmiştir.</p>	

Başlangıçta, kolon aksel kuvvetlerinin aksel kuvvet kapasitelerine oranlarının  $\alpha P_r / P_{ns} \leq 0.5$  koşulunu sağlayıp sağlamadığı, YDKT ve GKT yük birleşimleri için aşağıda kontrol edilecektir.

HE 400 B profilinin enkesit alanı,  $A_g = 19780 \text{ mm}^2$

YDKT	GKT
$P_{ns} = F_y A_g$ $P_{ns} = (275)(19780)10^{-3} = 5439.5 \text{ kN}$ $\alpha = 1.0$ $\frac{\alpha P_r}{P_y} = \frac{(1.0)(307.6)}{5439.5} = 0.057 \leq 0.5$	$P_{ns} = F_y A_g$ $P_{ns} = (275)(19780)10^{-3} = 5439.5 \text{ kN}$ $\alpha = 1.6$ $\frac{\alpha P_r}{P_y} = \frac{(1.6)(205.1)}{5439.5} = 0.060 \leq 0.5$

Görüldüğü gibi, seçilen eğilme rijitliklerinin ayrıca azaltılmasına gerek olmamaktadır.

Kolon enkesitinin tasarım veya güvenli dayanımlarının kontrolü, Genel Analiz Yöntemi ile hesaplanan kolon gerekli dayanımları kullanılarak ve kolon burkulma boyu katsayısı,

$K = 1.0$  alınarak yapılacaktır.

**b.** Kiriş ve kolon elemanlarının gerekli dayanımlarının Burkulma Boyu Yöntemi ile belirlenmesi

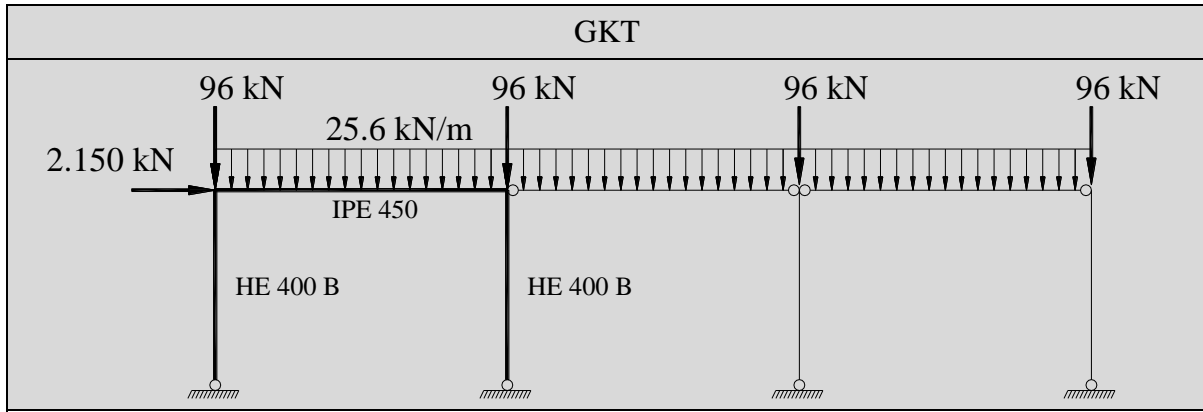
Burkulma Boyu Yöntemi aşağıdaki sınırlar içinde kullanılabilir.

(a) Yöntem, düşey yüklerin düşey çerçeveler, kolonlar ve perdeler tarafından taşındığı yapı sistemlerine uygulanabilir.

(b) Tüm katlarda, YDKT yük birleşimlerinden veya GKT yük birleşimlerinin 1.6 katına eşit yüklemelerden oluşan ikinci merteye görel kat ötelemelerinin birinci merteye görel kat ötelemelerine oranı olan  $B_2$  katsayısı 1.5 değerine eşit veya daha küçük olmalıdır.

YDKT ve GKT yüklemeleri için (A – B), (B – C) ve (C – D) kirişlerindeki yayılı yükler ile (A), (B), (C) ve (D) aksları kolonlarına etkileyen düşey yükler aşağıdaki tablolarda hesaplanmıştır.

YDKT	GKT
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(4) + 1.6(12) = 24 \text{ kN/m} \quad (5.3.1)$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 4 + 12 = 16 \text{ kN/m}$ $(5.3.2)$
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(15) + 1.6(45) = 90 \text{ kN} \quad (5.3.1)$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 15 + 45 = 60 \text{ kN}$ $(5.3.2)$
<p>Bu yükler, sistem analizinde kullanılmak üzere, <i>Yönetmelik 6.1</i> uyarınca YDKT için <math>\alpha = 1.0</math> katsayısı ile, GKT yüklemesi için <math>\alpha = 1.6</math> katsayısı ile çarpılacaktır.</p>	
$\alpha = 1.0$ $w_u = 1.0(24) = 24 \text{ kN/m} \quad P_u = 1.0(90) = 90 \text{ kN}$	$\alpha = 1.6$ $w_a = 1.6(16) = 25.6 \text{ kN/m}$ $P_a = 1.6(60) = 96 \text{ kN}$
<p><i>Yönetmelik 6.2.2.2</i> uyarınca, geometrik önkusurların stabiliteye etkileri fiktif kuvvetler kullanılarak hesaba katılacaktır.</p> $N_i = 0.002\alpha Y_i \quad (6.1)$ <p>Sistemin düğüm noktalarının konumundaki geometrik ön kusurları temsil eden yatay fiktif yükler, YDKT ve GKT yük birleşimleri için ayrı ayrı olmak üzere, hesaplanacaktır.</p>	
$\alpha = 1.0$ $Y_i = 24(3)(9) + 90(4) = 1008 \text{ kN}$ $N_i = 0.002(1.0)(1008) = 2.016 \text{ kN}$	$\alpha = 1.6$ $Y_i = 16(3)(9) + 60(4) = 672 \text{ kN}$ $N_i = 0.002(1.6)(672) = 2.150 \text{ kN}$
<p>YDKT ve GKT yük birleşimleri için yukarıda hesaplanan düşey yükler ile yatay fiktif yükler aşağıdaki sistem şemaları üzerinde topluca gösterilmiştir.</p>	
<p><b>YDKT</b></p>	

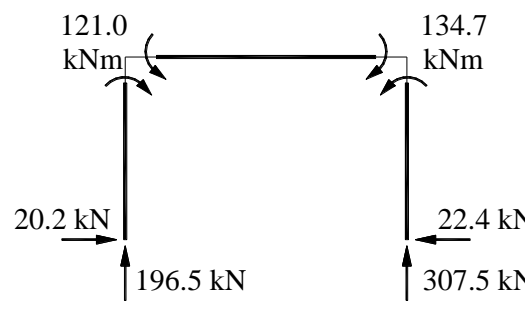
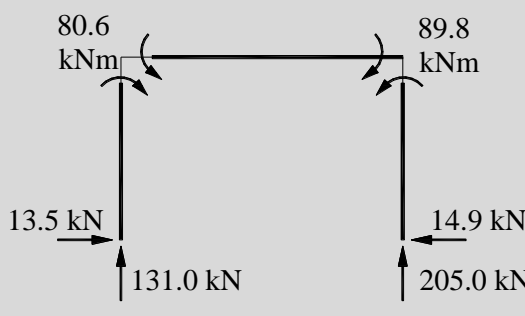


Bu sistemlerin öncelikle *birinci merteye teorisine* göre analizi yapılarak eleman uç momentleri ve mesnet tepkileri ile düğüm noktası yatay yerdeğiştirmeleri hesaplanmıştır. YDKT ve GKT yük birleşimleri için yukarıda belirtildiği şekilde hesaplanan mesnet momentleri ve mesnet tepkileri ile düğüm noktası yatay yerdeğiştirmeleri aşağıdaki sistem şemaları üzerinde topluca gösterilmiştir.

YDKT	GKT
<p style="text-align: center;"><b>YDKT</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>GKT</b></p>

GKT yüklemesi için hesapta yüklerin 1.60 katsayısı ile arttırılması nedeniyle, elde edilen iç kuvvetler ve mesnet tepkileri diyagramda 1.60 katsayısı ile bölünerek gösterilmiştir. Buna karşılık, *birinci ve ikinci merteye yerdeğiştirmelerinin* karşılaştırılması amacıyla, yatay yerdeğiştirme değeri azaltılmaksızın verilmiştir.

Bir bilgisayar yazılımından yararlanarak, bu şekilde tanımlanan sistemin  $P - \Delta$  ve  $P - \delta$  etkilerini içerecek şekilde *ikinci merteye teorisine* göre analizi yapılmış, YDKT ve GKT yük birleşimleri için elde edilen eğilme momentleri, mesnet tepkileri ve düğüm noktası yatay yerdeğiştirmeleri aşağıdaki diyagramlarda verilmiştir.

YDKT	GKT
$\Delta_2=0.175$ cm $\Delta_2/\Delta_1 = 0.175/0.154 = 1.14 \leq 1.50$	$\Delta_2=0.188$ cm $\Delta_2/\Delta_1 = 0.188/0.164 = 1.15 \leq 1.50$
	
YDKT	GKT

GKT yüklemesi için hesapta yüklerin 1.60 katsayısı ile artırılması nedeniyle, elde edilen iç kuvvetler ve mesnet tepkileri diyagramda 1.60 katsayısı ile bölünerek gösterilmiştir. Buna karşılık, *birinci ve ikinci mertebe yerdeğistirmelerinin* karşılaştırılması amacıyla, yatay yerdeğistirme değeri azaltılmaksızın verilmiştir.

(B) aksı kolonunun, sistem stabilitesine katkısı bulunmayan iki ucu mafsallı kolonların çerçeve düzlemi içindeki yanal stabilitesi de sağlanacak şekilde boyutlandırılabilmesi amacıyla, çerçeve düzlemi içindeki burkulma boyu katsayısı,  $K_x$ , kat rijitliği yöntemi kullanılarak aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$K_x = \sqrt{\frac{\Sigma P_r}{(0.85 + 0.15R_L)P_r} \left( \frac{\pi^2 EI}{L^2} \right) \left( \frac{\Delta_H}{\Sigma HL} \right)} \geq \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{L^2} \left( \frac{\Delta_H}{1.7HL} \right)}$$

YDKT	GKT
Tüm kolonlardaki toplam yük, $\Sigma P_r$ $\Sigma P_r = 24(3)(9) + 90(4) = 1008$ kN	Tüm kolonlardaki toplam yük, $\Sigma P_r$ $\Sigma P_r = 16(3)(9) + 60(4) = 672$ kN
İki ucu mafsallı kolonların toplam normal kuvvetlerinin toplam düşey yüke oranı, $R_L$ $R_L = \frac{\Sigma P_r - \Sigma P_{r, \text{mom. çerçev. kolonları}}}{\Sigma P_r}$ $R_L = \frac{1008 - (196.5 + 307.5)}{1008} = 0.500$	İki ucu mafsallı kolonların toplam normal kuvvetlerinin toplam düşey yüke oranı, $R_L$ $R_L = \frac{\Sigma P_r - \Sigma P_{r, \text{mom. çerçev. kolonları}}}{\Sigma P_r}$ $R_L = \frac{672 - (131.0 + 205.0)}{672} = 0.500$
(B) aksı kolonunun düzlem içindeki elastik burkulma dayanımı $\frac{\pi^2 EI_x}{L^2} = \frac{\pi^2 (200000)(576800000)}{6000^2} 10^{-3}$ $= 31626.60$ kN	(B) aksı kolonunun düzlem içindeki elastik burkulma dayanımı $\frac{\pi^2 EI_x}{L^2} = \frac{\pi^2 (200000)(576800000)}{6000^2} 10^{-3}$ $= 31626.60$ kN

Birinci merteye analiz sonuçları ile görece kat öteleme oranı	Birinci merteye analiz sonuçları ile görece kat öteleme oranı
$\frac{\Delta_H}{L} = \frac{\Delta_1}{L} = \frac{0.154}{600} = 0.000257 \text{ cm/cm}$	$\frac{\Delta_H}{L} = \frac{\Delta_1}{L} = \frac{0.164}{600} = 0.000273 \text{ cm/cm}$
<b>YDKT</b>	
$K_x = \sqrt{\frac{\Sigma P_r}{(0.85 + 0.15R_L)P_r} \left( \frac{\pi^2 EI}{L^2} \right) \left( \frac{\Delta_H}{\Sigma HL} \right)} \geq \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{L^2} \left( \frac{\Delta_H}{1.7HL} \right)}$ $K_x = \sqrt{\frac{1008}{(0.85 + 0.15(0.500))(307.5)} (31626.60) \left( \frac{0.000257}{2.016} \right)} \dots$ $\dots \geq \sqrt{(31626.60) \left( \frac{0.000257}{1.7(22.4)} \right)}$ $K_x = 3.780 \geq 0.462 \checkmark$	
<b>GKT</b>	
$K_x = \sqrt{\frac{\Sigma P_r}{(0.85 + 0.15R_L)P_r} \left( \frac{\pi^2 EI}{L^2} \right) \left( \frac{\Delta_H}{\Sigma HL} \right)} \geq \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{L^2} \left( \frac{\Delta_H}{1.7HL} \right)}$ $K_x = \sqrt{\frac{1.6(672)}{[0.85 + 0.15(0.500)](1.6)(205.0)} (31626.60) \left( \frac{0.000273}{2.150} \right)} \dots$ $\dots \geq \sqrt{(31626.60) \left( \frac{0.000273}{1.7(1.6)(14.9)} \right)}$ $K_x = 3.772 \geq 0.462 \checkmark$	

## BÖLÜM 7 EKSENEL ÇEKME KUVVETİ ETKİSİ

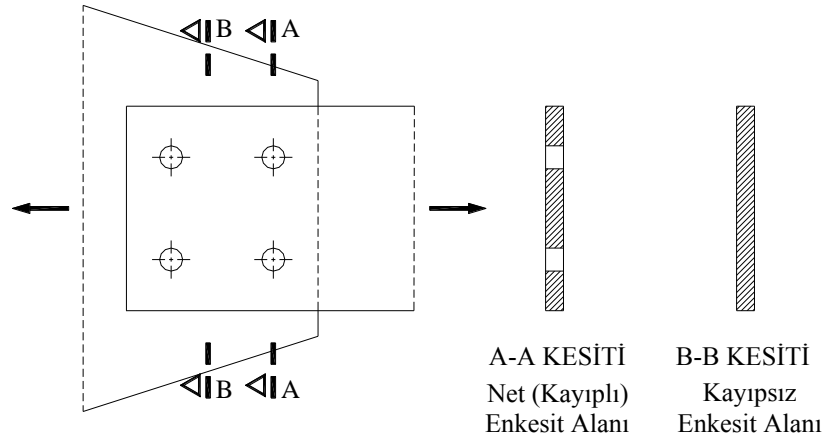
Eksenel (enkesit ağırlık merkezine uygulanan) çekme kuvveti etkisindeki elemanların tasarımı *Yönetmelik* Bölüm 7 de belirtilen kurallara göre yapılacaktır.

### Narinlik Oranı Sınırı

Çekme kuvveti etkisindeki elemanlarda stabilite bir tasarım kriteri olmamasına karşın, bu tür elemanlarda narinlik oranı,  $L/i \leq 300$  olmalıdır. Ancak, bu sınır çelik kablolar ve miller için geçerli değildir.

### Kayıpsız ve Net Enkesit Alanları

Çekme etkisi altındaki elemanların bu bölümde tanımlanacak olası göçme sınır durumları için, *kayıpsız enkesit alanı*,  $A_g$ , ve *net (kayıplı) enkesit alanı*,  $A_n$ , *Yönetmelik* 5.4.3 te verilen ilgili kurallar esas alınarak belirlenecektir (Şekil 7.1).



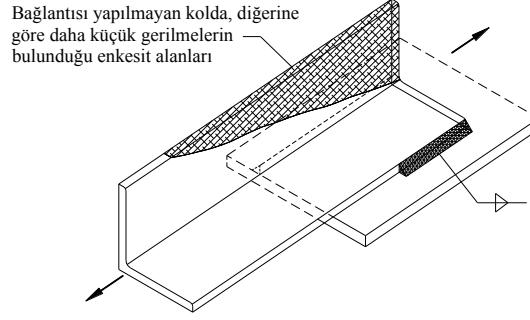
Şekil 7.1 – Net (kayıplı) enkesit alanı,  $A_n$  ve kayıpsız enkesit alanı,  $A_g$

### Etkin Net Enkesit Alanı

Çekme elemanının birleşim bölgesine tüm enkesit parçalarıyla bulonlu veya kaynaklı olarak bağlanmadığı durumda, gerilme yayılışındaki düzensizliğin hesaba katıldığı *etkin net enkesit alanı*,  $A_e$ , *Yönetmelik* 7.1.3 esas alınarak hesaplanacaktır.

$$A_e = UA_n \quad (7.1)$$

Korniyer enkesitli çekme elemanının sadece bir kolunun kaynaklı olarak bağlandığı Şekil 7.2 deki birleşim detayında, çekme elemanının bağlantısı yapılmayan koluna ait enkesitler daha küçük gerilme etkisinde kalmaları nedeniyle, birleşim bölgesinde ortaya çıkan *düzensiz gerilme dağılımı*, *gerilme düzensizliği etki katsayısı*,  $U$  ile gözönüne alınmaktadır.



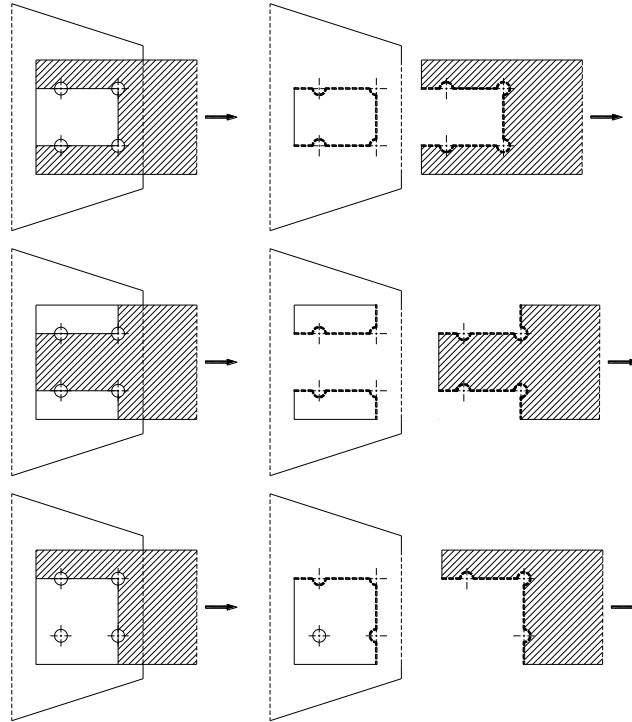
Şekil 7.2 – Düzensiz gerilme dağılımı

Burada, *gerilme düzensizliği etki katsayısı*,  $U$ , çekme elemanlarının tipik bulonlu ve kaynaklı birleşimleri için, *Yönetmelik* Tablo 7.1 de verilmektedir.

### Çekme Kuvveti Dayanımı

*Tasarım çekme kuvveti dayanımı*,  $\phi_t T_n$ , (YDKT) veya *güvenli çekme kuvveti dayanımı*,  $T_n/\Omega_t$ , (GKT), aksenal çekme kuvveti etkisindeki elemanın, *akma sınır durumu*, *kırılma sınır durumu* ve *blok kırılma sınır durumlarına* göre *Yönetmelik* 7.2 uyarınca hesaplanacak dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır.

Çekme elemanlarının bulonlu ve kaynaklı uç birleşimlerinde blok kırılma sınır durumu için karakteristik dayanım, *Yönetmelik* 7.2 ve 13.4.3 uyarınca, gözönüne alınacaktır. Şekil 7.3 te görüldüğü gibi belirli birleşim tiplerinde kırılmanın bulon deliklerinin oluşturduğu düzlemler boyunca ortaya çıkmasıyla elemanın bu parçası blok olarak ayrılabilir ve bu göçme durumu *blok kırılma* olarak isimlendirilir. Şekil 7.3 de tipik olarak çekme elemanının bulonlu birleşimlerinde sözkonusu blok kırılmayı belirleyen olası alanlar taralı olarak gösterilmektedir.



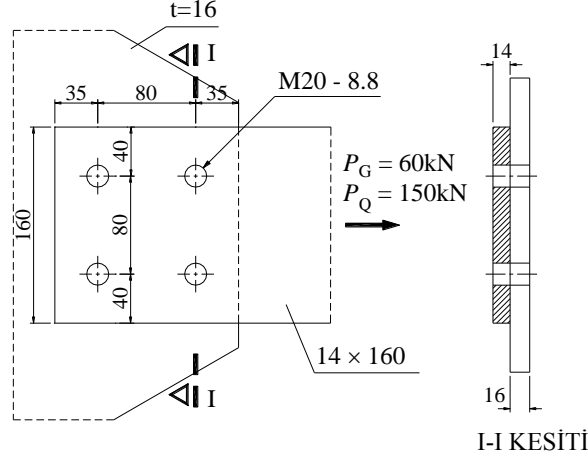
Şekil 7.3 – Elemanın belirli parçalar halinde ayrıldığı blok kırılma göçme durumları



### Örnek 7. 1

Aşağıdaki şekilde bulonlu birleşim detayı verilen Levha 14×160 enkesitli 1.20m uzunluğundaki eleman, sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla,  $P_G = 60\text{kN}$  ve  $P_Q = 150\text{kN}$  aksenal çekme kuvvetleri etkisindedir.

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 235  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

Levha 14×160

$t = 14.0 \text{ mm}$   $b = 160 \text{ mm}$

#### Bulonlar

M20 – 8.8 (Standart dairesel delik çapı kullanılacaktır)

#### Çözüm

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 7.2.1 uyarınca,

Akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_y A_g \quad (7.2)$$

$$T_n = F_y A_g = (235)(14 \times 160)10^{-3} = 526.40 \text{ kN}$$

Yönetmelik 7.2.2 uyarınca,

Kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_u A_e \quad (7.3)$$

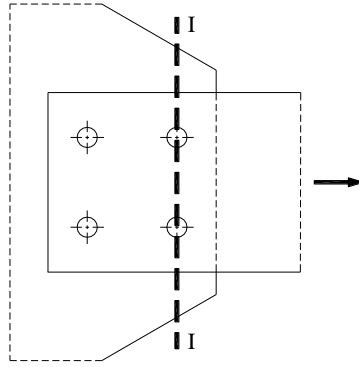
$$A_e = U A_n \quad (7.1)$$

Etkin net enkesit alanı,  $A_e$ .

Birleşim detayı incelendiğinde minimum net enkesit alanının bir adet kırılma çizgisi formu dikkate alınarak değerlendirilmesinin yeterli olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$d_n = 20 + 2.0 = 22 \text{ mm (Yönetmelik Tablo 13.8)}$$

$$d_e = 22 + 2.0 = 24 \text{ mm (Yönetmelik 5.4.3(b))}$$



$$A_n = A_g - \sum d_e t + \sum \frac{s^2 t}{4g} \quad (5.3)$$

$$A_n = (14)(160) - 2(24)(14) = 1568.0 \text{ mm}^2$$

$$U = 1.0 \text{ (Tablo 7.1, Durum 1)}$$

$$A_e = (1.0)(1568.0) = 1568.0 \text{ mm}^2$$

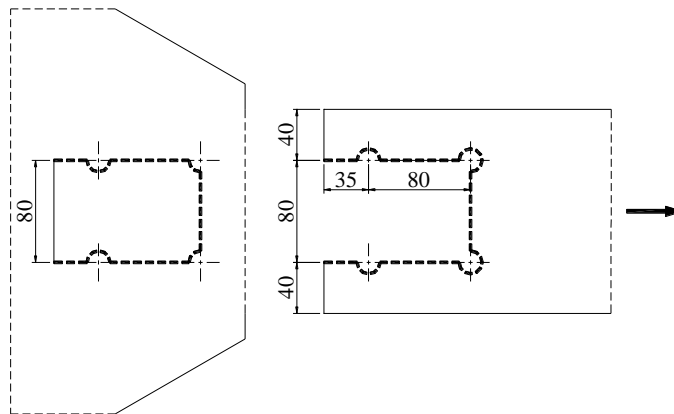
$$T_n = (360)(1568.0)10^{-3} = 564.48 \text{ kN}$$

*Yönetmelik 7.2 ve 13.4.3 uyarınca,*

Blok kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $R_n$ ,

Blok kırılma sınır durumunun değerlendirilmesinde aşağıdaki şekilde gösterilen olası göçme durumu öngörülebilir.

$$R_n = 0.60F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.60F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (13.19)$$



$$A_{gv} = 2(35 + 80)(14) = 3220.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 3220.0 - 2(24 + 24/2)(14) = 2212.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (80)(14) - (24/2 + 24/2)(14) = 784.0 \text{ mm}^2$$

$$U_{bs} = 1.0 \text{ (Yönetmelik 13.4.3)}$$

$$R_n = 0.60(360)(2212.0)10^{-3} + (1.0)(360)(784.0)10^{-3} = 760.03 \text{ kN}$$

$$0.60(235)(3220.0)10^{-3} + (1.0)(360)(784.0)10^{-3} = 736.26 \text{ kN}$$

$$R_n = 736.26 \text{ kN} < 760.03 \text{ kN}$$

$$R_n = 736.26 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(60) + 1.6(150) = 312 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 60 + 150 = 210 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü
$T_d = \phi_t T_n = 0.90(526.40) = 473.76 \text{ kN}$ $T_d = \phi_t T_n = 0.75(564.48) = 423.36 \text{ kN}$ $T_d = \phi R_n = 0.75(736.26) = 552.20 \text{ kN}$	$T_g = T_n / \Omega_t = 526.40 / 1.67 = 315.21 \text{ kN}$ $T_g = T_n / \Omega_t = 564.48 / 2.00 = 282.24 \text{ kN}$ $T_g = R_n / \Omega = 736.26 / 2.00 = 368.13 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{T_d} = \frac{312}{423.36} = 0.74 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{T_g} = \frac{210}{282.24} = 0.74 \leq 1.0 \checkmark$

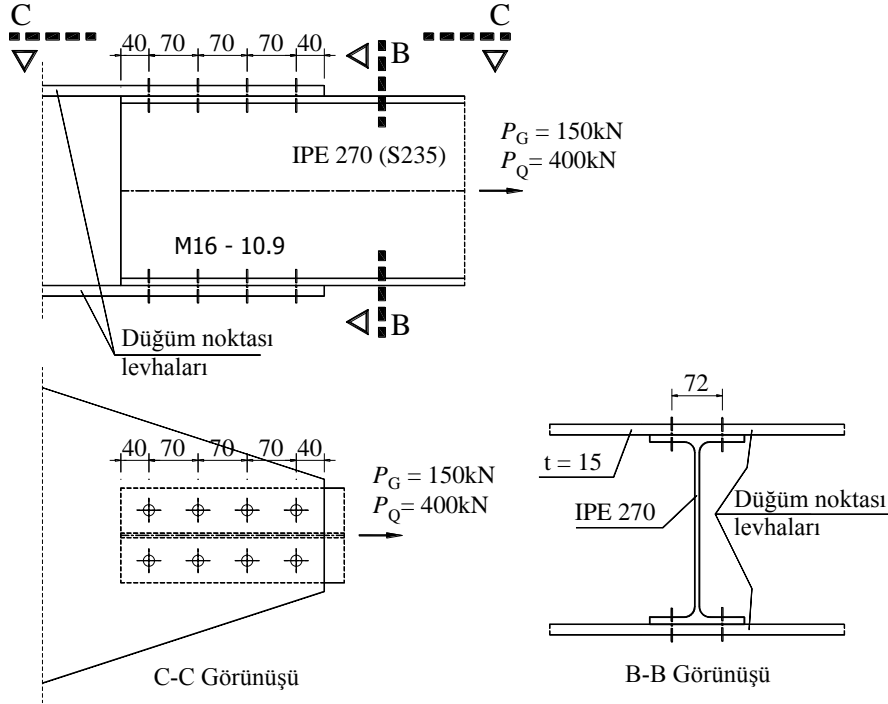
Çekme elemanı narinlik oranı kontrolü, *Yönetmelik 7.1.1* uyarınca,  $L/i \leq 300$

$$i_{\min} \cong 0.2887t \cong 4.04 \text{ mm alınarak, } 1200/4.04 = 297 \leq 300 \checkmark$$

## Örnek 7.2

Aşağıdaki şekilde bulonlu birleşim detayı verilen 5.0m uzunluğundaki IPE 270 profili ile boyutlandırılan eleman, sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla,  $P_G = 150\text{kN}$  ve  $P_Q = 400\text{kN}$  aksenal çekme kuvvetleri etkisindedir.

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 235  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

IPE 270

$A_g = 4590 \text{ mm}^2$   $d = 270 \text{ mm}$   $b_f = 135 \text{ mm}$   $t_f = 10.2 \text{ mm}$   $i_y = 30.2 \text{ mm}$

### Bulonlar

M16 – 10.9 (Standart dairesel delik çapı kullanılacaktır)

### Çözüm

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 7.2.1 uyarınca,

Akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_y A_g \quad (7.2)$$

$$T_n = F_y A_g = (235)(4590)10^{-3} = 1078.65 \text{ kN}$$

Yönetmelik 7.2.2 uyarınca,

Kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_u A_e \quad (7.3)$$

$$A_e = U A_n \quad (7.1)$$

Etkin net enkesit alanı,  $A_e$ ,

$$d_h = 16 + 2.0 = 18 \text{ mm (Yönetmelik Tablo 13.8)}$$

$$d_e = 18 + 2.0 = 20 \text{ mm (Yönetmelik 5.4.3(b))}$$

$$A_n = A_g - 4d_e t_f$$

$$A_n = 4590 - 4(20)(10.2) = 3774.0 \text{ mm}^2$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} \quad (\text{Tablo 7.1, Durum 2}) \quad \bar{x} = y_g = 29.7 \text{ mm} \quad l = 3(70) = 210 \text{ mm}$$

Sadece başlıklarından bağlanan I-enkesitli elemanlarda,  $\bar{x}$ , yarım I-enkesitin (burada  $\frac{1}{2}$  IPE 270 profilinin) ağırlık merkezinin birleşim yüzeyine uzaklığı olarak tanımlanır.

$$U = 1 - \frac{29.7}{210} = 0.859 \geq U_{\min} = \frac{2b_f t_f}{A_g} = \frac{2(135)(10.2)}{4590} = 0.60$$

**Not:** Gerilme düzensizliği etki katsayısının minimum değeri,  $U_{\min}$ , birleşen enkesit parçalarının toplam enkesit alanının eleman kayıpsız enkesit alanına oranı olarak hesaplanacaktır.

$$A_e = (0.859)(3774.0) = 3241.87 \text{ mm}^2$$

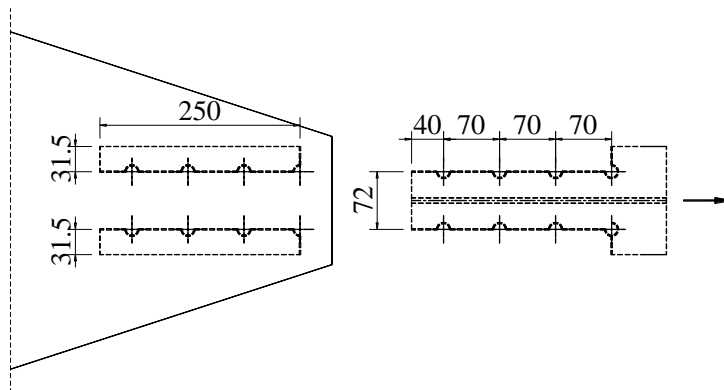
$$T_n = (360)(3241.87)10^{-3} = 1167.07 \text{ kN}$$

Yönetmelik 7.2 ve 13.4.3 uyarınca,

Blok kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $R_n$ ,

Blok kırılma sınır durumunun değerlendirilmesinde aşağıdaki şekilde gösterilen olası göçme durumu öngörülebilir.

$$R_n = 0.60 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.60 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (13.19)$$



$$A_{gv} = 4(40 + 70 + 70 + 70)(10.2) = 10200.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 10200.0 - 4(3.5)(20)(10.2) = 7344.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 4(31.5)(10.2) - 4(0.5)(20)(10.2) = 877.20 \text{ mm}^2$$

$$U_{bs} = 1.0$$

$$R_n = 0.60(360)(7344.0)10^{-3} + (1.0)(360)(877.20)10^{-3} = 1902.10 \text{ kN}$$

$$0.60(235)(10200.0)10^{-3} + (1.0)(360)(877.20)10^{-3} = 1753.99 \text{ kN}$$

$$R_n = 1902.10 \text{ kN} > 1753.99 \text{ kN}$$

$$R_n = 1753.99 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(150) + 1.6(400) = 820 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 150 + 400 = 550 \text{ kN}$
<b>b. Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü</b>
$T_d = \phi_t T_n = 0.90(1078.65) = 970.79 \text{ kN}$ $T_d = \phi_t T_n = 0.75(1167.07) = 875.30 \text{ kN}$ $T_d = \phi R_n = 0.75(1753.99) = 1315.49 \text{ kN}$	$T_g = T_n / \Omega_t = 1078.65 / 1.67 = 645.90 \text{ kN}$ $T_g = T_n / \Omega_t = 1167.07 / 2.00 = 583.54 \text{ kN}$ $T_g = R_n / \Omega = 1753.99 / 2.00 = 877.00 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{T_d} = \frac{820}{875.30} = 0.94 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{T_g} = \frac{550}{583.54} = 0.94 \leq 1.0 \checkmark$

Yönetmelik 7.1.1 uyarınca,

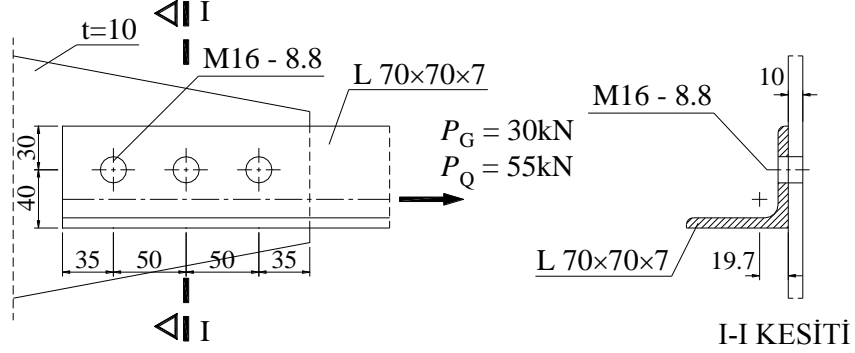
Çekme elemanı narinlik oranı kontrolü,  $L/i \leq 300$

$$i_{\min} = i_y = 30.2 \text{ mm alınarak, } 5000/30.2 = 166 \leq 300 \checkmark$$

### Örnek 7.3

Aşağıdaki şekilde bulonlu birleşim detayı verilen 3.5m uzunluğundaki L 70×70×7 enkesitli korniyer (köşebent) ile boyutlandırılan eleman sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 30\text{kN}$  ve  $P_Q = 55\text{kN}$  aksel çekme kuvvetleri etkisindedir.

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

L 70×70×7

$A_g = 940 \text{ mm}^2$   $d = 70 \text{ mm}$   $t = 7.0 \text{ mm}$   $x_g = 19.7 \text{ mm}$   $i_z = 13.6 \text{ mm}$

#### Bulonlar

M16 – 8.8 (Standart dairesel delik çapı kullanılacaktır)

#### Çözüm

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 7.2.1 uyarınca,

Akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_y A_g \quad (7.2)$$

$$T_n = F_y A_g = (275)(940)10^{-3} = 258.50 \text{ kN}$$

Yönetmelik 7.2.2 uyarınca,

Kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_u A_e \quad (7.3)$$

$$A_e = U A_n \quad (7.1)$$

Etkin net enkesit alanı,  $A_e$ ,

$$d_n = 16 + 2.0 = 18 \text{ mm (Yönetmelik Tablo 13.8)}$$

$$d_e = 18 + 2.0 = 20 \text{ mm (Yönetmelik 5.4.3(b))}$$

$$A_n = A_g - d_e t$$

$$A_n = 940 - (20)(7.0) = 800.0 \text{ mm}^2$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} \text{ (Yönetmelik Tablo 7.1, Durum 2)} \quad \bar{x} = x_g = 19.7 \text{ mm} \quad l = 2(50) = 100 \text{ mm}$$

$$U = 1 - \frac{19.7}{100} = 0.803 \geq U_{\min} = \frac{dt}{A_g} = \frac{(70)(7.0)}{940} = 0.521$$

Gerilme düzensizliği etki katsayısı,  $U$ , *Yönetmelik* Tablo 7.1 Durum 8 esas alınarak da değerlendirilebilir. Bu durumda, *Yönetmelik* Tablo 7.1<sup>[c]</sup> uyarınca, hesaplanan daha büyük  $U$  değerinin kullanılmasına izin verilmektedir.

**Not:** Gerilme düzensizliği etki katsayısının minimum değeri,  $U_{\min}$ , birleşen enkesit parçalarının toplam enkesit alanının eleman kayıpsız enkesit alanına oranı olarak hesaplanacaktır.

$$A_e = (0.803)(800.0) = 642.40 \text{ mm}^2$$

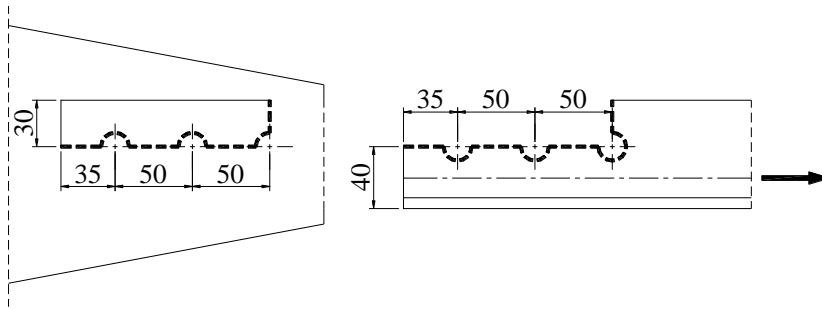
$$T_n = (430)(642.40)10^{-3} = 276.23 \text{ kN}$$

*Yönetmelik* 7.2 ve 13.4.3 uyarınca,

Blok kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $R_n$ ,

Blok kırılma sınır durumunun değerlendirilmesinde aşağıdaki şekilde gösterilen olası göçme durumu öngörülebilir.

$$R_n = 0.60F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.60F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (13.19)$$



$$A_{gv} = (35 + 50 + 50)(7.0) = 945.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 945.0 - (2.5)(20)(7.0) = 595.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (30)(7.0) - (0.5)(20)(7.0) = 140.0 \text{ mm}^2$$

$$U_{bs} = 1.0$$



$$R_n = 0.60(430)(595.0)10^{-3} + (1.0)(430)(140.0)10^{-3} = 213.71 \text{ kN}$$

$$0.60(275)(945.0)10^{-3} + (1.0)(430)(140.0)10^{-3} = 216.13 \text{ kN}$$

$$R_n = 213.71 \text{ kN} < 216.13 \text{ kN}$$

$$R_n = 213.71 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(30) + 1.6(55) = 124 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 30 + 55 = 85 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü
$T_d = \phi_t T_n = 0.90(258.50) = 232.65 \text{ kN}$ $T_d = \phi_t T_n = 0.75(276.23) = 207.17 \text{ kN}$ $T_d = \phi R_n = 0.75(213.71) = 160.28 \text{ kN}$	$T_g = T_n / \Omega_t = 258.50 / 1.67 = 154.79 \text{ kN}$ $T_g = T_n / \Omega_t = 276.23 / 2.00 = 138.12 \text{ kN}$ $T_g = R_n / \Omega = 213.71 / 2.00 = 106.86 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{T_d} = \frac{124}{160.28} = 0.77 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{T_g} = \frac{85}{106.86} = 0.80 \leq 1.0 \checkmark$

Yönetmelik 7.1.1 uyarınca,

Çekme elemanı narinlik oranı kontrolü,

$$L/i \leq 300$$

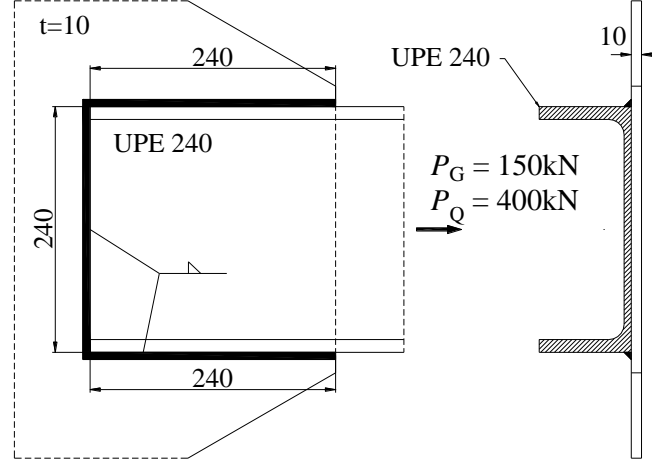
$$i_{\min} = i_z = 13.6 \text{ mm}$$

$$3500 / 13.6 = 257 \leq 300 \checkmark$$

## Örnek 7.4

Aşağıdaki şekilde kaynaklı birleşim detayı verilen 6.0m uzunluğundaki UPE 240 profili ile boyutlandırılan çekme elemanı sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla,  $P_G = 150\text{kN}$  ve  $P_Q = 400\text{kN}$  aksenal çekme kuvvetleri etkisindedir.

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

UPE 240

$A_g = 3850 \text{ mm}^2$   $d = 240 \text{ mm}$   $t_w = 7.0 \text{ mm}$   $x_g = 27.9 \text{ mm}$   $i_y = 28.4 \text{ mm}$

### Kaynaklar

Köşe kaynak

### Çözüm

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 7.2.1 uyarınca,

Akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_y A_g \quad (7.2)$$

$$T_n = F_y A_g = (275)(3850)10^{-3} = 1058.75 \text{ kN}$$

Yönetmelik 7.2.2 uyarınca,

Kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_u A_e \quad (7.3)$$

$$A_e = U A_n \quad (7.1)$$

Etkin net enkesit alanı,  $A_e$ ,

$$A_e = A_n = A_g$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} \quad (\text{Tablo 7.1, Durum 2}) \quad \bar{x} = x_g = 27.9 \text{ mm} \quad l = 240 \text{ mm}$$

$$U = 1 - \frac{27.9}{240} = 0.884 \geq U_{\min} = \frac{dt_w}{A_g} = \frac{(240)(7.0)}{3850} = 0.436$$

**Not:** Gerilme düzensizliği etki katsayısının minimum değeri,  $U_{\min}$ , birleşin enkesit parçalarının toplam enkesit alanının eleman kayıpsız enkesit alanına oranı olarak hesaplanacaktır.

$$A_e = (0.884)(3850) = 3403.40 \text{ mm}^2$$

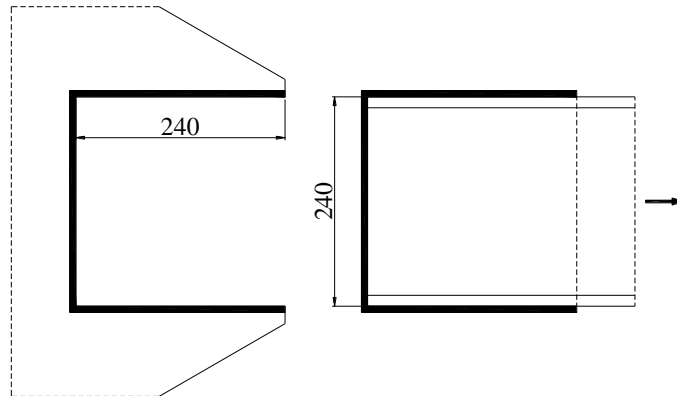
$$T_n = (430)(3403.40)10^{-3} = 1463.46 \text{ kN}$$

*Yönetmelik 7.2 ve 13.4.3 uyarınca,*

Blok kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $R_n$ ,

Blok kırılma sınır durumunun değerlendirilmesinde aşağıdaki şekilde gösterilen olası göçme durumu öngörülebilir.

$$R_n = 0.60F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.60F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (13.19)$$



$$A_{gv} = 2(240)(10.0) = 4800.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} = 4800.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (240)(10.0) = 2400.0 \text{ mm}^2$$

$$U_{bs} = 1.0$$

$$R_n = 0.60(430)(4800.0)10^{-3} + (1.0)(430)(2400.0)10^{-3} = 2270.40 \text{ kN}$$

$$0.60(275)(4800.0)10^{-3} + (1.0)(430)(2400.0)10^{-3} = 1824.00 \text{ kN}$$

$$R_n = 2270.40 \text{ kN} > 1824.00 \text{ kN}$$

$$R_n = 1824.00 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(150) + 1.6(400) = 820 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 150 + 400 = 550 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü
$T_d = \phi_t T_n = 0.90(1058.75) = 952.88 \text{ kN}$ $T_d = \phi_t T_n = 0.75(1463.46) = 1097.60 \text{ kN}$ $T_d = \phi R_n = 0.75(1824.00) = 1368.00 \text{ kN}$	$T_g = T_n / \Omega_t = 1058.75 / 1.67 = 633.98 \text{ kN}$ $T_g = T_n / \Omega_t = 1463.46 / 2.00 = 731.73 \text{ kN}$ $T_g = R_n / \Omega = 1824.00 / 2.00 = 912.00 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{T_d} = \frac{820}{952.88} = 0.86 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{T_g} = \frac{550}{633.98} = 0.87 \leq 1.0 \checkmark$

Yönetmelik 7.1.1 uyarınca,

Çekme elemanı narinlik oranı kontrolü,

$$L/i \leq 300$$

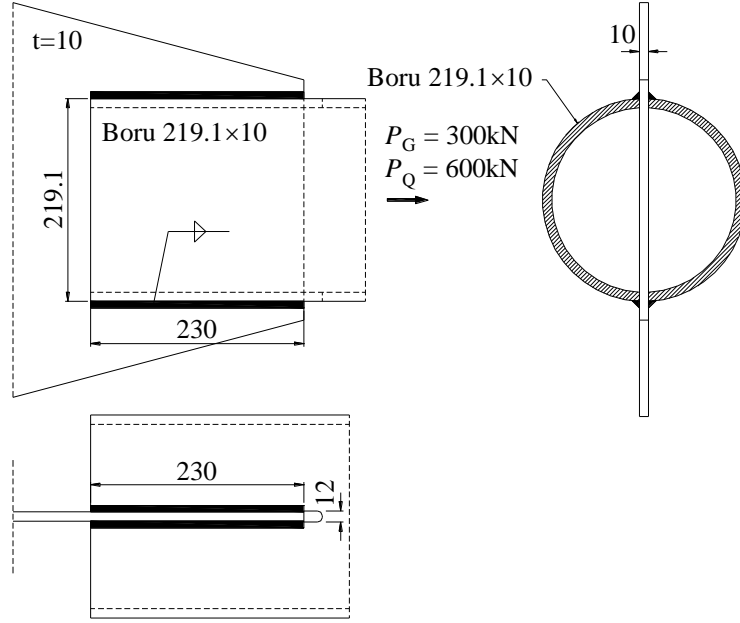
$$i_{\min} = i_y = 28.4 \text{ mm}$$

$$6000/28.4 = 211 \leq 300 \checkmark$$

## Örnek 7.5

Aşağıdaki şekilde kaynaklı birleşim detayı verilen 10m uzunluğundaki ve *elektrik direnç kaynağı* uygulanarak üretilen Boru 219.1×10 (Dış çap×cidar kalınlığı) enkesitli eleman, sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla,  $P_G = 300\text{kN}$  ve  $P_Q = 600\text{kN}$  aksenal çekme kuvvetleri etkisindedir.

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

Boru 219.1×10

$A_g = 6570 \text{ mm}^2$   $D = 219.1 \text{ mm}$   $t = 10 \text{ mm}$   $i = 74.0 \text{ mm}$

### Kaynaklar

Köşe kaynak

### Çözüm

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca, elektrik direnç kaynağı kullanılarak üretilen boru enkesitli elemanların kesit hesaplarında tasarım et (cidar) kalınlığı, karakteristik et kalınlığının 0.93 katına eşit olarak alınacaktır.

Tasarım et kalınlığına göre enkesit bilgileri,

Boru 219.1×10

$A_g = 6129.69 \text{ mm}^2$   $D = 219.1 \text{ mm}$   $t = 0.93 \times 10 = 9.3 \text{ mm}$   $i = 74.2 \text{ mm}$

a. Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 7.2.1* uyarınca,

Akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_y A_g \quad (7.2)$$

$$T_n = F_y A_g = (355)(6129.69)10^{-3} = 2176.04 \text{ kN}$$

*Yönetmelik 7.2.2* uyarınca,

Kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_u A_e \quad (7.3)$$

$$A_e = U A_n \quad (7.1)$$

Etkin net enkesit alanı,  $A_e$ ,

Net enkesit alanı, boru enkesitinde karşılıklı olarak oluşturulan iki adet kesim dikkate alınarak değerlendirilecektir.

$$A_n = 6129.69 - 2(9.3)(10 + 2.0) = 5906.49 \text{ mm}^2$$

**Not:** Boru enkesitli elemanda meydana gelen enkesit kaybının alanının hesabındaki ilave 2.0mm kalınlık, boru elemanın düğüm noktası levhasına montajını kolaylaştırmak amacıyla dikkate alınmaktadır.

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} \quad (\text{Tablo 7.1, Durum 5})$$

$$D \leq l < 1.3D \quad D = 219.1 \text{ mm} \quad l = 230 \text{ mm}$$

$$219.1 \leq 230 < 1.3(219.1) = 284.83$$

$$\bar{x} = D/\pi = 219.1/\pi = 69.74 \text{ mm}$$

$$U = 1 - \frac{69.74}{230} = 0.697$$

$$A_e = (0.697)(5906.49) = 4116.82 \text{ mm}^2$$

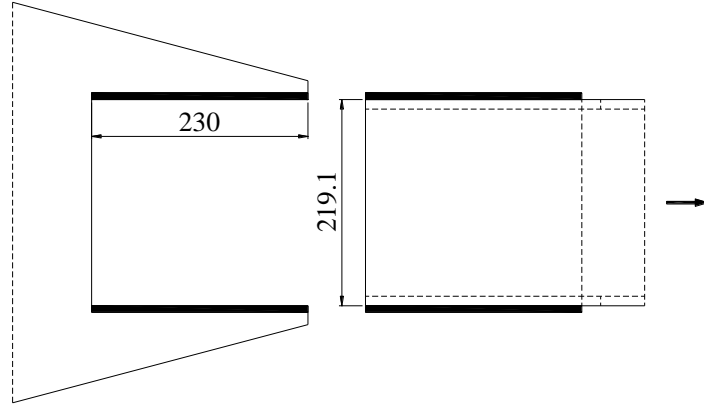
$$T_n = (510)(4116.82)10^{-3} = 2099.58 \text{ kN}$$

*Yönetmelik 7.2* ve *13.4.3* uyarınca,

Blok kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $R_n$ ,

Blok kırılma sınır durumunun değerlendirilmesinde aşağıdaki şekilde gösterilen olası göçme durumu öngörülebilir.

$$R_n = 0.60 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.60 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (13.19)$$



$$A_{gv} = 2(230)(10.0) = 4600.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} = 4600.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (219.1)(10.0) = 2191.0 \text{ mm}^2$$

$$U_{bs} = 1.0$$

$$R_n = 0.60(510)(4600.0)10^{-3} + (1.0)(510)(2191.0)10^{-3} = 2525.01 \text{ kN}$$

$$0.60(355)(4600.0)10^{-3} + (1.0)(510)(2191.0)10^{-3} = 2097.21 \text{ kN}$$

$$R_n = 2525.01 \text{ kN} > 2097.21 \text{ kN}$$

$$R_n = 2097.21 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(300) + 1.6(600) = 1320 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 300 + 600 = 900 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü
$T_d = \phi_t T_n = 0.90(2176.04) = 1958.44 \text{ kN}$ $T_d = \phi_t T_n = 0.75(2099.58) = 1574.69 \text{ kN}$ $T_d = \phi R_n = 0.75(2097.21) = 1572.91 \text{ kN}$	$T_g = T_n / \Omega_t = 2176.04 / 1.67 = 1303.02 \text{ kN}$ $T_g = T_n / \Omega_t = 2099.58 / 2.00 = 1049.79 \text{ kN}$ $T_g = R_n / \Omega = 2097.21 / 2.00 = 1048.61 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{T_d} = \frac{1320}{1572.91} = 0.84 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{T_g} = \frac{900}{1048.61} = 0.86 \leq 1.0 \checkmark$

Çekme elemanı narinlik oranı kontrolü,

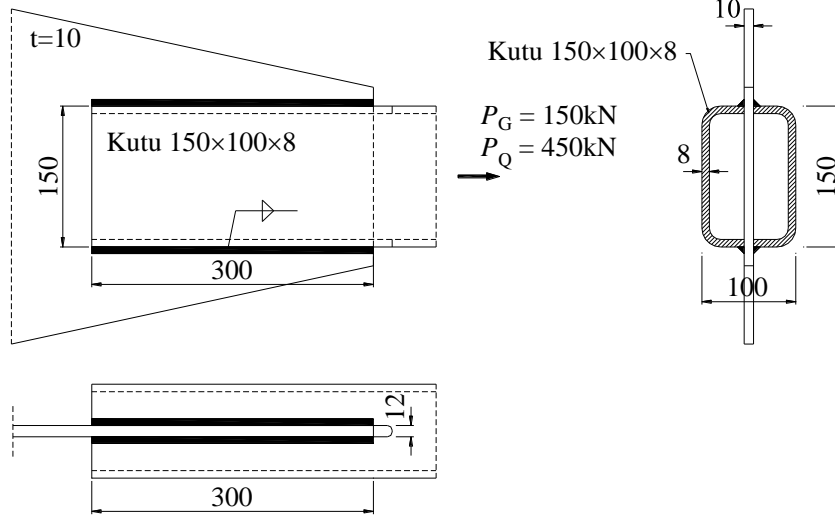
Yönetmelik 7.1.1 uyarınca,  $L/i \leq 300$

$$i_{\min} = i = 74.2 \text{ mm alınarak, } 10000/74.2 = 135 \leq 300 \checkmark$$

## Örnek 7.6

Aşağıdaki şekilde kaynaklı birleşim detayı verilen 8.0m uzunluğundaki, *elektrik direnç kaynağı* uygulanarak üretilen Kutu 150×100×8 enkesitli eleman, sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla,  $P_G = 150\text{kN}$  ve  $P_Q = 450\text{kN}$  eksenel çekme kuvvetleri etkisindedir.

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

Kutu 150×100×8

$A_g = 3524 \text{ mm}^2$   $H = 150 \text{ mm}$   $B = 100 \text{ mm}$   $t = 8.0 \text{ mm}$   $i_{\min} = 39 \text{ mm}$

### Kaynaklar

Köşe kaynak

### Çözüm

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca, elektrik direnç kaynağı kullanılarak üretilen kutu enkesitli elemanların kesit hesaplarında tasarım et (cidar) kalınlığı, karakteristik et kalınlığının 0.93 katına eşit olarak alınacaktır.

Tasarım et kalınlığına göre enkesit bilgileri,

Kutu 150×100×8

$A_g = 3356 \text{ mm}^2$   $H = 150 \text{ mm}$   $B = 100 \text{ mm}$

$t = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$   $i_{\min} = 39.85 \text{ mm}$



a. Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 7.2.1* uyarınca,

Akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_y A_g \quad (7.2)$$

$$T_n = F_y A_g = (355)(3356)10^{-3} = 1191.38 \text{ kN}$$

*Yönetmelik 7.2.2* uyarınca,

Kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_u A_e \quad (7.3)$$

$$A_e = U A_n \quad (7.1)$$

Etkin net enkesit alanı,  $A_e$ ,

Net enkesit alanı, kutu enkesitte karşılıklı olarak oluşturulan iki adet kesim dikkate alınarak değerlendirilecektir.

$$A_n = 3356 - 2(7.44)(10 + 2.0) = 3177.44 \text{ mm}^2$$

**Not:** Kutu enkesitli elemanda meydana gelen enkesit kaybının alanının hesabındaki ilave 2.0mm kalınlık, kutu elemanın düğüm noktası levhasına montajını kolaylaştırmak amacıyla dikkate alınmaktadır.

$$l = 300 \text{ mm} > H = 150 \text{ mm} \quad U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} \quad (\text{Tablo 7.1, Durum 6})$$

$$\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B + H)} = \frac{(100)^2 + 2(100)(150)}{4(100 + 150)} = 40 \text{ mm}$$

$$U = 1 - \frac{40}{300} = 0.867$$

$$A_e = (0.867)(3177.44) = 2754.84 \text{ mm}^2$$

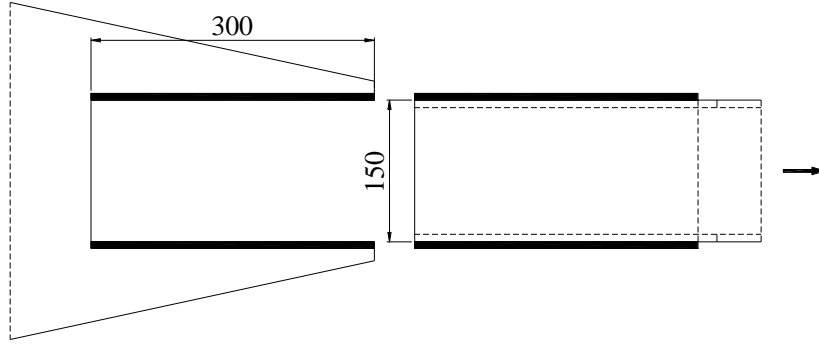
$$T_n = (510)(2754.84)10^{-3} = 1404.97 \text{ kN}$$

*Yönetmelik 7.2* ve *13.4.3* uyarınca,

Blok kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $R_n$ ,

Blok kırılma sınır durumunun değerlendirilmesinde aşağıdaki şekilde gösterilen olası göçme durumu öngörülebilir.

$$R_n = 0.60 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.60 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (13.19)$$



$$A_{gv} = 2(300)(10.0) = 6000.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} = 6000.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (150)(10.0) = 1500.0 \text{ mm}^2$$

$$U_{bs} = 1.0$$

$$R_n = 0.60(510)(6000.0)10^{-3} + (1.0)(510)(1500.0)10^{-3} = 2601.00 \text{ kN}$$

$$0.60(355)(6000.0)10^{-3} + (1.0)(510)(1500.0)10^{-3} = 2043.00 \text{ kN}$$

$$R_n = 2601.00 \text{ kN} > 2043.00 \text{ kN}$$

$$R_n = 2043.00 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(150) + 1.6(450) = 900 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 150 + 450 = 600 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü
$T_d = \phi_t T_n = 0.90(1191.38) = 1072.24 \text{ kN}$ $T_d = \phi_t T_n = 0.75(1404.97) = 1053.73 \text{ kN}$ $T_d = \phi R_n = 0.75(2043.00) = 1532.25 \text{ kN}$	$T_g = T_n / \Omega_t = 1191.38 / 1.67 = 713.40 \text{ kN}$ $T_g = T_n / \Omega_t = 1404.97 / 2.00 = 702.49 \text{ kN}$ $T_g = R_n / \Omega = 2043.00 / 2.00 = 1021.50 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{T_d} = \frac{900}{1053.73} = 0.85 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{T_g} = \frac{600}{702.49} = 0.85 \leq 1.0 \checkmark$

Çekme elemanı narinlik oranı kontrolü,

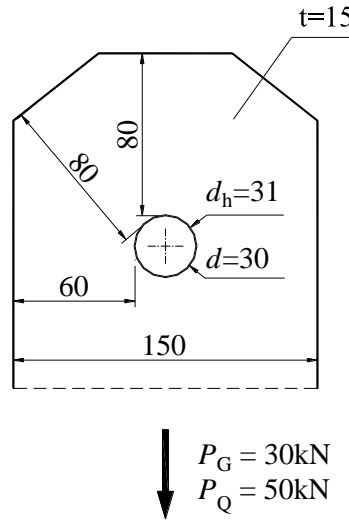
Yönetmelik 7.1.1 uyarınca,  $L/i \leq 300$

$$i_{\min} = i_y = 39.85 \text{ mm alınarak, } 8000/39.85 = 201 \leq 300 \checkmark$$

### Örnek 7.7

Aşağıdaki şekilde detayı verilen mil birleşimli 15×150 enkesit boyutlarına sahip çekme elemanı, sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla,  $P_G = 30\text{kN}$  ve  $P_Q = 50\text{kN}$  eksenel çekme kuvvetleri etkisindedir. Mil elemanı dayanımının yeterli olduğu varsayılacaktır.

- Geometrik koşulların kontrol edilmesi
- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın karakteristik ezilme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

Levha 15×150

$t = 15.0 \text{ mm}$   $b = 150 \text{ mm}$

#### Mil

$\phi 30$   $d = 30 \text{ mm}$   $d_h = 31 \text{ mm}$

#### Çözüm

- Mil birleşimi geometrik koşullarının kontrol edilmesi

Yönetmelik 13.10.2 uyarınca,

$$b_e = 2t + 16\text{mm} \quad t = 15\text{mm} \quad b = 60\text{mm}$$

$$b_e = 2(15) + 16\text{mm} = 46\text{mm} \leq b = 60\text{mm} \quad \text{olduğundan } b_e \text{ dikkate alınacaktır.}$$

$$a \geq \frac{4}{3}b_e \quad a = 80\text{mm} \quad 80\text{mm} \geq 61.3\text{mm} \checkmark$$

$$w \geq 2b_e + d \quad w = 150\text{mm} \quad 150\text{mm} \geq 122\text{mm} \checkmark$$

$$c \geq a \quad c = 80\text{mm} \quad 80\text{mm} \geq 80\text{mm} \checkmark$$

**b.** Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 7.2.1* uyarınca,

Akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_y A_g \quad (7.2)$$

$$A_g = wt \quad A_g = (150)(15) = 2250 \text{ mm}^2$$

$$T_n = F_y A_g = (275)(2250)10^{-3} = 618.75 \text{ kN}$$

*Yönetmelik 13.10.1* uyarınca,

Çekme kırılması sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_u (2tb_e) \quad (13.30)$$

$$T_n = 430(2)(15)(46)10^{-3} = 593.40 \text{ kN}$$

**c.** Elemanın karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 13.10.1* uyarınca,

Kesme kırılması sınır durumunda karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = 0.6F_u A_{sf} \quad (13.31)$$

$$A_{sf} = 2t(a + d/2) \quad (13.32)$$

$$A_{sf} = 2(15)(80 + 30/2) = 2850 \text{ mm}^2$$

$$T_n = 0.6(430)(2850)10^{-3} = 735.30 \text{ kN}$$

**d.** Elemanın karakteristik ezilme kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 13.6* uyarınca,

Ezilme sınır durumunda karakteristik ezilme dayanımı,  $R_n$ ,

$$R_n = 1.8F_y A_{pb} \quad (13.21a)$$

$$A_{pb} = (15)(30) = 450 \text{ mm}^2$$

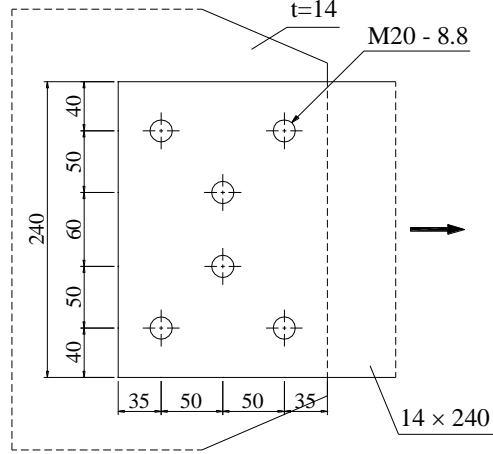
$$R_n = 1.8(275)(450)10^{-3} = 222.75 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(30) + 1.6(50) = 116 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 30 + 50 = 80 \text{ kN}$
<b>e.</b> Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>f.</b> Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü
$T_d = \phi_t T_n = 0.90(618.75) = 556.88 \text{ kN}$ $T_d = \phi_t T_n = 0.75(593.40) = 445.05 \text{ kN}$ $T_d = \phi_t T_n = 0.75(735.30) = 551.48 \text{ kN}$ $T_d = \phi R_n = 0.75(222.75) = 167.06 \text{ kN}$	$T_g = T_n / \Omega_t = 618.75 / 1.67 = 370.51 \text{ kN}$ $T_g = T_n / \Omega_t = 593.40 / 2.00 = 296.70 \text{ kN}$ $T_g = T_n / \Omega_t = 735.30 / 2.00 = 367.65 \text{ kN}$ $T_g = R_n / \Omega = 222.75 / 2.00 = 111.38 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{T_d} = \frac{116}{167.06} = 0.69 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{T_g} = \frac{80}{111.38} = 0.72 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 7.8

Aşağıdaki şekilde bulonlu birleşim detayı verilen 14×240 enkesit boyutlarına sahip eleman aksenal çekme kuvveti etkisindedir.

- Çekme elemanının olası net enkesit alanlarının hesaplanması
- Çekme elemanının etkin net enkesit alanının hesaplanması



### Enkesit

Levha 14×240

$t = 14.0 \text{ mm}$      $b = 240 \text{ mm}$

### Bulonlar

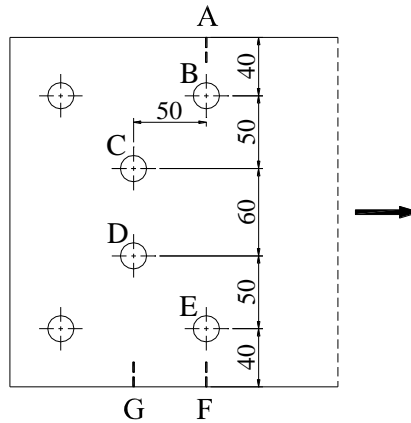
M20 – 8.8 (Standart dairesel delik çapı kullanılacaktır)

### Çözüm

- Çekme elemanının olası net enkesit alanlarının hesaplanması

$$d_h = 20 + 2.0 = 22 \text{ mm (Yönetmelik Tablo 13.8)}$$

$$d_e = 22 + 2.0 = 24 \text{ mm (Yönetmelik 5.4.3(b))}$$



$$A_n = A_g - \sum d_e t + \sum \frac{s^2 t}{4g} \quad (5.3)$$

A-B-E-F kırılma çizgisi

$$A_n = (14)(240) - (2)(24)(14) = 2688.00 \text{ mm}^2$$

A-B-C-D-G kırılma çizgisi

$$s = 50 \text{ mm} \quad g = 50 \text{ mm}$$

$$A_n = (14)(240) - (3)(24)(14) + \frac{(50)^2(14)}{4(50)} = 2527.00 \text{ mm}^2$$

A-B-D-E-F kırılma çizgisi

$$s = 50 \text{ mm} \quad g_1 = 50 + 60 = 110 \text{ mm} \quad g_2 = 50 \text{ mm}$$

$$A_n = (14)(240) - (3)(24)(14) + \frac{(50)^2(14)}{4(110)} + \frac{(50)^2(14)}{4(50)} = 2606.55 \text{ mm}^2$$

A-B-C-D-E-F kırılma çizgisi

$$s = 50 \text{ mm} \quad g_1 = 50 \text{ mm} \quad g_2 = 50 \text{ mm}$$

$$A_n = (14)(240) - (4)(24)(14) + \frac{(50)^2(14)}{4(50)} + \frac{(50)^2(14)}{4(50)} = 2366.00 \text{ mm}^2$$

Kırılma sınır durumunda belirleyici net enkesit alanı,  $A_n$ , minimum net enkesit alanını veren A-B-C-D-E-F kırılma çizgisi formunun belirlediği net enkesit alanıdır. Bu durumda,

$$A_n = 2366.00 \text{ mm}^2$$

**b. Çekme elemanının etkin net enkesit alanının hesaplanması**

$$A_e = UA_n \tag{7.1}$$

$$U = 1.0 \text{ (Tablo 7.1, Durum 1)}$$

$$A_e = (1.0)(2366.00) = 2366.00 \text{ mm}^2$$





## BÖLÜM 8 EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİ

Eksenel (enkesit ağırlık merkezine uygulanan) basınç kuvveti etkisindeki elemanların tasarımı *Yönetmelik* Bölüm 8 de belirtilen kurallara göre yapılacaktır.

### Narinlik Oranı Sınırı

Basınç elemanlarının *Yönetmelik* Bölüm 6 veya Bölüm 16 esasları uyarınca belirlenen burkulma boyu ( $L_c = KL$ ) kullanılarak hesaplanan narinlik oranı,  $L_c / i \leq 200$  olmalıdır.

### Karakteristik Basınç Kuvveti Dayanımı

Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ , eksenel basınç etkisindeki elemanın enkesit asal eksenlerinden herhangi biri etrafında *eğilmeli burkulma*, *burulmalı burkulma* ve/veya *eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumlarına* göre hesaplanan dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır.

*Narin olmayan enkesitli* (*Yönetmelik* Tablo 5.1A ya göre narin enkesit parçası içermeyen) elemanların eksenel basınç kuvveti altında *karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı*,  $P_n$ , *Yönetmelik* 8.2 esas alınarak hesaplanacaktır.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (8.1)$$

Burada, *kritik burkulma gerilmesi*,  $F_{cr}$ , basınç elemanında burkulma sınır durumuna elastik bölge aşıldıktan sonra veya elastik bölgede ulaşılması durumları için sırasıyla, *Yönetmelik* Denk.(8.2) ve (8.3) ile hesaplanmaktadır.

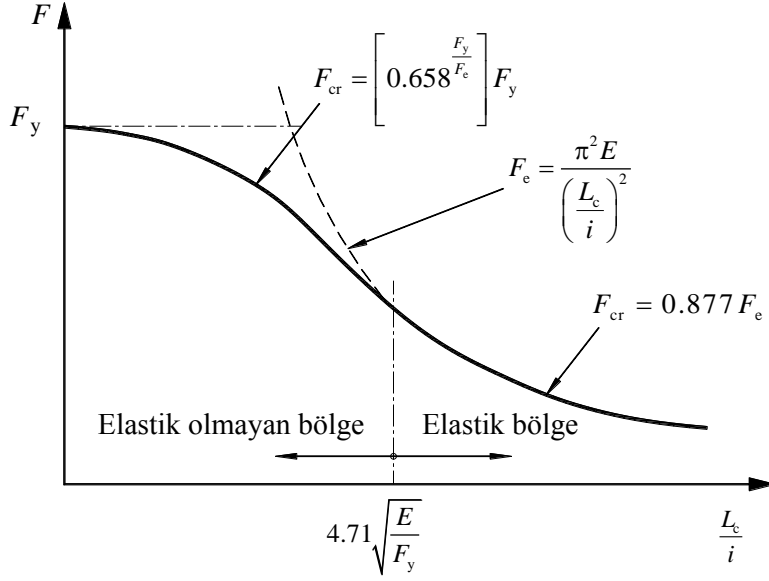
$$\frac{L_c}{i} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{veya } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25) \text{ için}$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (8.2)$$

$$\frac{L_c}{i} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{veya } \frac{F_y}{F_e} > 2.25) \text{ için}$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (8.3)$$

Basınç elemanının narinlik oranı,  $L_c / i$ , ile kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , arasındaki ilişki Şekil 8.1 de görülmektedir.



**Şekil 8.1** Eksenel basınç kuvveti etkisindeki çelik eleman için dayanım eğrisi

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanın enkesit asal eksenlerinden herhangi biri etrafında eğilmeli burkulma, burulmalı burkulma ve/veya eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumları için *elastik burkulma gerilmesi*,  $F_e$ , *Yönetmelik 8.2* de verilen esaslara göre belirlenecektir.

### Yapma Enkesitli Basınç Elemanları

Çok parçalı basınç elemanlarında uç noktalar arasında en az iki adet ara bağlantı teşkil edilecek ve kayma şekildeğiştirmelerinin karakteristik basınç kuvveti dayanımına etkisi gözönüne alınacaktır. Bu etki, *etkin narinlik oranı*,  $(L_c/i)_m$ , ile hesaba katılacaktır. Bu durumda, elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $(L_c/i)$  narinlik oranı yerine, *Yönetmelik 8.4* te tanımlanan etkin narinlik oranı kullanılarak belirlenecektir.

### Narin Enkesitli Basınç Elemanları

Eksenel basınç kuvveti altında, *Yönetmelik* Tablo 5.1A ya göre *narin* enkesit parçalarına sahip basınç elemanlarında *karakteristik basınç kuvveti dayanımı*,  $P_n$ , *Yönetmelik 8.5* te verilen esaslar doğrultusunda,

$$P_n = F_{cr} A_e \quad (8.23)$$

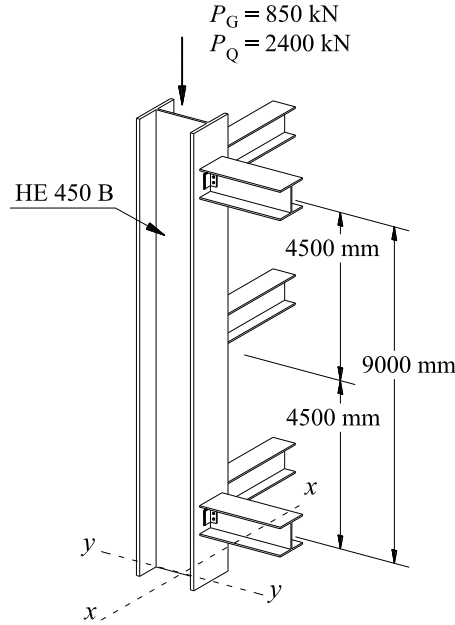
ile belirlenecektir.

Enkesit parçalarında yerel burkulma etkilerinin hesaba katıldığı *etkin net enkesit alanı*,  $A_e$ , *Yönetmelik 8.5* te açıklanmaktadır.

### Örnek 8.1

Her iki asal eksenini etrafında iki ucu mafsallı HE 450 B enkesitli  $L = 9.0\text{m}$  boyundaki eleman, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 850\text{kN}$  ve  $P_Q = 2400\text{kN}$  aksel basınç kuvvetleri etkisindedir. Eleman, boyunun orta noktasında, enkesitinin  $y$ -eksenine (zayıf eksenine) dik doğrultusunda yanal yerdeğiştirmeye ve burulmaya karşı desteklenmiştir.

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

HE 450 B

$A_g = 21800 \text{ mm}^2$   $h = 344 \text{ mm}$   $b = 300 \text{ mm}$

$t_w = 14 \text{ mm}$   $t_f = 26 \text{ mm}$   $i_x = 191.40 \text{ mm}$   $i_y = 73.30 \text{ mm}$

### Çözüm

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1A, Durum 1)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2(26)} = 5.77 \leq \lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 13.29$$

Gövde parçası (Tablo 5.1A, Durum 5)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{344}{14} = 24.57 \leq \lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.28$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından *narin olmayan enkesit* olarak değerlendirilir.

*Yönetmelik* 8.2.1 uyarınca, elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, x- ve y-asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda asal eksenlere göre eleman burkulma boyları

*Yönetmelik* 6.4.3(a) uyarınca, burkulma boyu katsayısı,  $K=1.0$  olarak alınır. Buna göre,

$$L_{cx} = K_x L_x = 1.0(9000) = 9000 \text{ mm}$$

$$L_{cy} = [K_{y1} L_{y1}; K_{y2} L_{y2}]_{\text{maks}} = [(1.0 \times 4500); (1.0 \times 4500)]_{\text{maks}} = 4500 \text{ mm}$$

Narinlik oranları,

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{9000}{191.40} = 47.02 \leq 200 \checkmark$$

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{4500}{73.30} = 61.39 \leq 200 \checkmark$$

*Yönetmelik* 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları  $L_c/i \leq 200$  koşulunu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$(L_c/i)_{\text{maks}} = (L_{cx}/i_x; L_{cy}/i_y)_{\text{maks}} = (47.02; 61.39)_{\text{maks}} = 61.39$$

olduğundan, elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, y-asal ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu belirleyecektir. Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , için elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(61.39)^2} = 524 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

*Yönetmelik* 8.2 uyarınca,

$$61.39 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 111.79$$

olduğundan,

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y = \left[0.658^{\frac{355}{524}}\right] 355 = 267.35 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

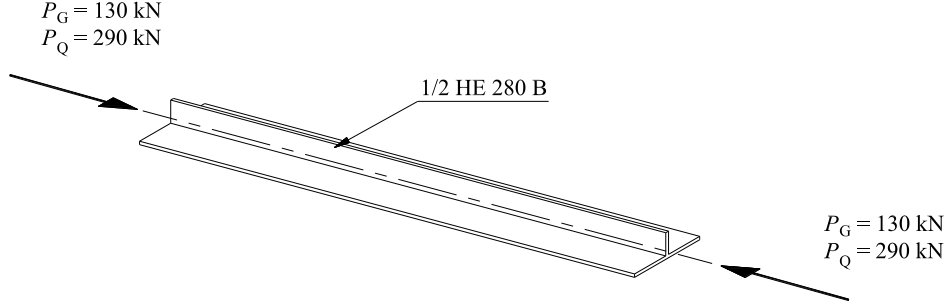
$$P_n = F_{cr} A_g = 267.35(21800)10^{-3} = 5828.23 \text{ kN} \quad (8.1)$$

YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(850) + 1.6(2400) = 4860 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 850 + 2400 = 3250 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(5828.23) = 5245.41 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 5828.23 / 1.67 = 3489.96 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{4860.00}{5245.41} = 0.93 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{3250.00}{3489.96} = 0.93 \leq 1.0 \checkmark$

## Örnek 8.2

Her iki asal eksenini etrafında iki ucu mafsallı 1/2 HE 280 B enkesitli  $L = 4.0\text{m}$  boyundaki eleman, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 130\text{kN}$  ve  $P_Q = 290\text{kN}$  eksenel basınç kuvvetleri etkisindedir.

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

1/2 HE 280 B

$A_g = 6570 \text{ mm}^2$	$I_x = 673 \text{ cm}^4$	$I_y = 3297 \text{ cm}^4$	
$J = 71.85 \text{ cm}^4$	$d = 140 \text{ mm}$	$b = 280 \text{ mm}$	$t_f = 18\text{mm}$
$t_w = 10.5 \text{ mm}$	$i_x = 32 \text{ mm}$	$i_y = 71 \text{ mm}$	$y_g = 22.31\text{mm}$

### Çözüm

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

#### Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1A, Durum 1)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{280}{2(18)} = 7.78 \leq \lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 13.29$$

Gövde parçası (Tablo 5.1A, Durum 4)

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{140}{10.5} = 13.33 \leq \lambda_r = 0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.75 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 17.80$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından ( $\lambda \leq \lambda_r$ ) *narin olmayan enkesit* olarak tanımlanır.

*Yönetmelik* 8.2.2 uyarınca, basınç elemanı enkesiti tek simetri eksenine sahip olduğundan, basınç kuvveti dayanımını x- ve y-asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma ve simetri eksenini olan y-asal eksenini etrafında eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumları için hesaplanan dayanımların küçüğü belirleyecektir.

#### Narinlik oranları

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{(1.0)4000}{32} = 125 \leq 200 \checkmark$$

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{1.0(4000)}{71} = 56.34 \leq 200 \checkmark$$

*Yönetmelik* 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları  $L_c/i \leq 200$  koşulunu sağlamaktadır.

#### Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, $P_n$ ,

$$(L_c/i)_{\text{maks}} = (L_{cx}/i_x ; L_{cy}/i_y)_{\text{maks}} = (125; 56.34)_{\text{maks}} = 125$$

olduğundan, eğilmeli burkulma sınır durumunda dayanımı, x-asal eksenini belirleyecektir.

*Yönetmelik* 8.2.1 uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , için elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cx}}{i_x}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(125)^2} = 126.33 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

$$\lambda_x = 125 > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 111.79 \quad \text{veya} \quad \frac{F_y}{F_e} = \frac{355}{126.33} = 2.81 > 2.25$$

olduğundan, *Yönetmelik* 8.2 uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda,

$$F_{cr} = 0.877 F_e = 0.877(126.33) = 110.79 \text{ N/mm}^2 \quad (8.3)$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 110.79(6570)10^{-3} = 728 \text{ kN} \quad (8.1)$$

#### Eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, $P_n$

*Yönetmelik* 8.2.2(b) uyarınca, y-eksenini etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_{ey}$ ,

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(56.34)^2} = 622 \text{ N/mm}^2 \quad (8.9)$$

½ HEB 280 enkesitin kayma merkezi, simetri eksenini üzerinde başlık kalınlığının orta noktası olduğundan,  $x_o = 0$  ve  $y_o = 22.31 - 18 / 2 = 13.31 \text{ mm}$  olur.

Kayma merkezine göre hesaplanan polar atalet yarıçapı,  $\bar{i}_o$ ,

$$\bar{i}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} = 0 + (13.31)^2 + \frac{673(10)^4 + 3297(10)^4}{6570} = 6219 \text{ mm}^2 \quad (8.12)$$

Burulmalı burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_{ez}$ ,

$$F_{ez} = \frac{GJ}{A_g i_o^2} = \frac{77200(718500)}{6570(6219)} = 1358 \text{ N/mm}^2 \quad (8.14)$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{i_o^2} = 1 - \frac{0 + (13.31)^2}{6219} = 0.971 \quad (8.11)$$

*Yönetmelik 8.2.2(b)* uyarınca, Denk.(8.6) ile,

y-asal eksenini etrafında eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu için elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \left( \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right]$$

$$F_e = \left( \frac{622 + 1358}{2(0.971)} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4(622)(1358)(0.971)}{(622 + 1358)^2}} \right] = 608 \text{ N/mm}^2$$

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{355}{608} = 0.58 \leq 2.25$$

olduğundan, eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumunda,

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[ 0.658 \frac{355}{608} \right] 355 = 0.784(355) = 278 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 278(6570)10^{-3} = 1826 \text{ kN} \quad (8.1)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$

*Yönetmelik 8.1.2* uyarınca,

$$P_n = (728\text{kN}; 1826\text{kN})_{\min} = 728 \text{ kN}$$

olduğundan, elemanın aksel basınç kuvveti dayanımını x-ekseni etrafında eğilmeli burkulma sınır durumu belirleyecektir.

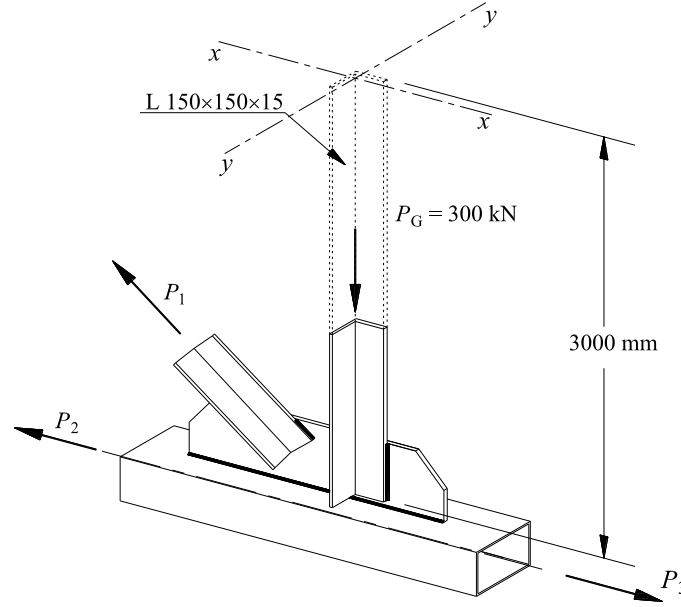


YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(130) + 1.6(290) = 620 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 130 + 290 = 420 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(728) = 655.20 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 728 / 1.67 = 436 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{620}{655.20} = 0.95 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{420}{436} = 0.96 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 8.3

Bir düzlem kafes sistemin örgü elemanı olarak kullanılan L 150×150×15 enkesitli ve  $L=3.0\text{m}$  boyundaki iki ucu mafsallı dikme elemanı, komşu örgü elemanı ile birlikte her iki uçtaki düğüm levhalarının aynı yüzüne kaynaklı uç birleşimi ile bağlanmaktadır. Dikme elemanı sabit yükler altında,  $P_G = 300\text{ kN}$  aksenal basınç kuvveti etkisindedir.

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275\text{ N/mm}^2$   $F_u = 430\text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

L 150×150×15

$A_g = 4302\text{ mm}^2$   $i_x = i_y = 45.70\text{ mm}$   $i_w = 57.57\text{ mm}$   $i_z = 29.33\text{ mm}$

#### Çözüm

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Korniyer kolu (Tablo 5.1A, Durum 3)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{150}{15} = 10 \leq \lambda_r = 0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.45 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 12.13$$

Yerel burkulma sınır durumu için korniyer kollarının genişlik/kalınlık oranları  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından *narin olmayan enkesit* olarak tanımlanır.

Yönetmelik 8.3 uyarınca,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{150}{15} = 10 \leq 0.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 19.14$$

olduğundan, tek korniyerden oluşan basınç elemanının karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ , eğilmeli burkulma sınır durumu esas alınarak Yönetmelik 8.2.1 uyarınca belirlenir.

Yönetmelik 8.3 uyarınca, tek korniyerden oluşan basınç elemanlarında, dışmerkezlik etkisinin ihmal edilmesine ve tanımlanan *etkin narinlik oranları* ( $L_c / i$ ) kullanılarak aksel basınç kuvveti dayanımının hesaplanmasına izin verilmektedir. Bunun için esas alınacak koşulların kontrolü aşağıda verilmiştir.

(a) Korniyer, her iki ucunda aynı kolundan basınç kuvveti etkisinde olmalıdır. ✓

(b) Korniyer uçları, en az 2 bulon ile veya kaynakla bağlanmalıdır. ✓

(c) Korniyerin boyuna eksenine dik yük bulunmamalıdır. ✓

(d)  $L_c/i$  oranı 200 sınırını aşmamalıdır.

Bu durumda etkin narinlik oranı, ( $L_c / i$ ), Yönetmelik Denk.(8.15) ile,

$$\frac{L}{i_a} = \frac{(1.0)3000}{45.70} = 65.65 \leq 80 \quad \text{için} \quad \frac{L_c}{i} = 72 + 0.75 \frac{L}{i_a} = 72 + 0.75(65.65) = 121.23 \leq 200 \quad \checkmark$$

olduğundan tek korniyerden oluşan basınç elemanı için Yönetmelik 8.3 te tanımlanan tüm koşullar sağlanmaktadır. Böylece, dışmerkezlik etkisi ihmal edilerek aksel basınç kuvveti dayanımı etkin narinlik oranı,  $L_c / i = 121.23$  ile belirlenir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

Yönetmelik 8.2.1 uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(121.23)^2} = 134 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

Yönetmelik 8.2 uyarınca,

$$\frac{L_c}{i} = 121.23 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127$$

olduğundan,

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[ 0.658 \frac{275}{134} \right] 275 = 116.60 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

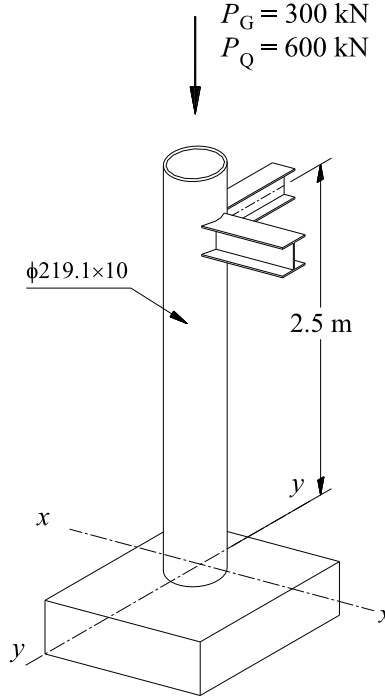
$$P_n = F_{cr} A_g = 116.60 (4302) 10^{-3} = 501.61 \text{ kN} \quad (8.1)$$

YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.4P_G$ $= 1.4(300) = 420 \text{ kN}$	$P_a = P_G$ $= 300 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(501.61) = 451.45 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 501.61 / 1.67 = 300.36 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{420}{451.45} = 0.93 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{300}{300.36} \cong 1.0 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 8.4

Elektrik direnç kaynağı uygulanarak üretilen Boru 219.1×10 enkesitli  $L = 2.5\text{m}$  boyundaki iki ucu mafsallı eleman, sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla,  $P_G = 300\text{ kN}$  ve  $P_Q = 700\text{ kN}$  eksenel basınç kuvvetleri etkisindedir.

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355\text{ N/mm}^2$   $F_u = 510\text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1B)

### Enkesit

Boru 219.1×10

$A_g = 6570\text{ mm}^2$   $D = 219.1\text{ mm}$   $t = 10\text{ mm}$   $i = 74\text{ mm}$

### Çözüm

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca, elektrik direnç kaynağı kullanılarak üretilen boru enkesitli elemanların kesit hesaplarında tasarım et (cidar) kalınlığı, karakteristik et kalınlığının 0.93 katına eşit olarak alınacaktır.

### Tasarım et kalınlığına göre enkesit bilgileri

Boru 219.1×10

$t = 0.93 \times 10 = 9.3\text{ mm}$   $A_g = 6129.69\text{ mm}^2$   $D = 219.1\text{ mm}$   $i = 74.2\text{ mm}$

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

(Tablo 5.1A, Durum 9)

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{219.1}{9.3} = 23.56 \leq \lambda_r = 0.11 \frac{E}{F_y} = 0.11 \frac{200000}{275} = 80$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, çap/kalınlık oranı Tablo 5.1A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından *narın olmayan enkesit* olarak sınıflandırılır.

Kolon burkulma boyu,

$$L_c = KL = 1.0(2500) = 2500 \text{ mm}$$

Narinlik oranı,

$$\frac{L_c}{i} = \frac{2500}{74} = 33.78 \leq 200 \checkmark$$

Yönetmelik 8.1.1 uyarınca, narinlik oranı  $L_c/i \leq 200$  koşulunu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

Yönetmelik 8.2.1 uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(33.78)^2} = 1729.80 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

Yönetmelik 8.2 uyarınca,

$$\frac{L_c}{i} = 33.78 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 111.79$$

olduğundan,

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[ 0.658 \frac{355}{1729.8} \right] 355 = 0.918(355) = 325.81 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

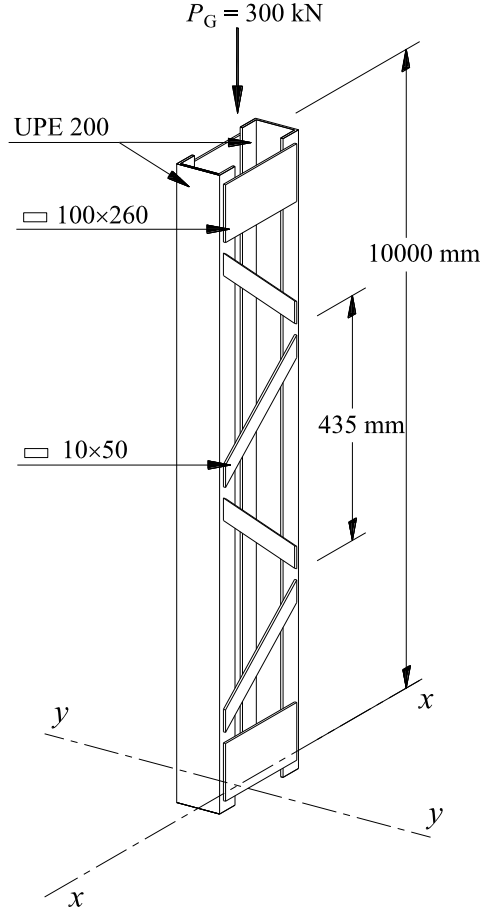
Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$P_n = F_{cr} A_g = 325.81(6129.69)10^{-3} = 1997.12 \text{ kN} \quad (8.1)$$

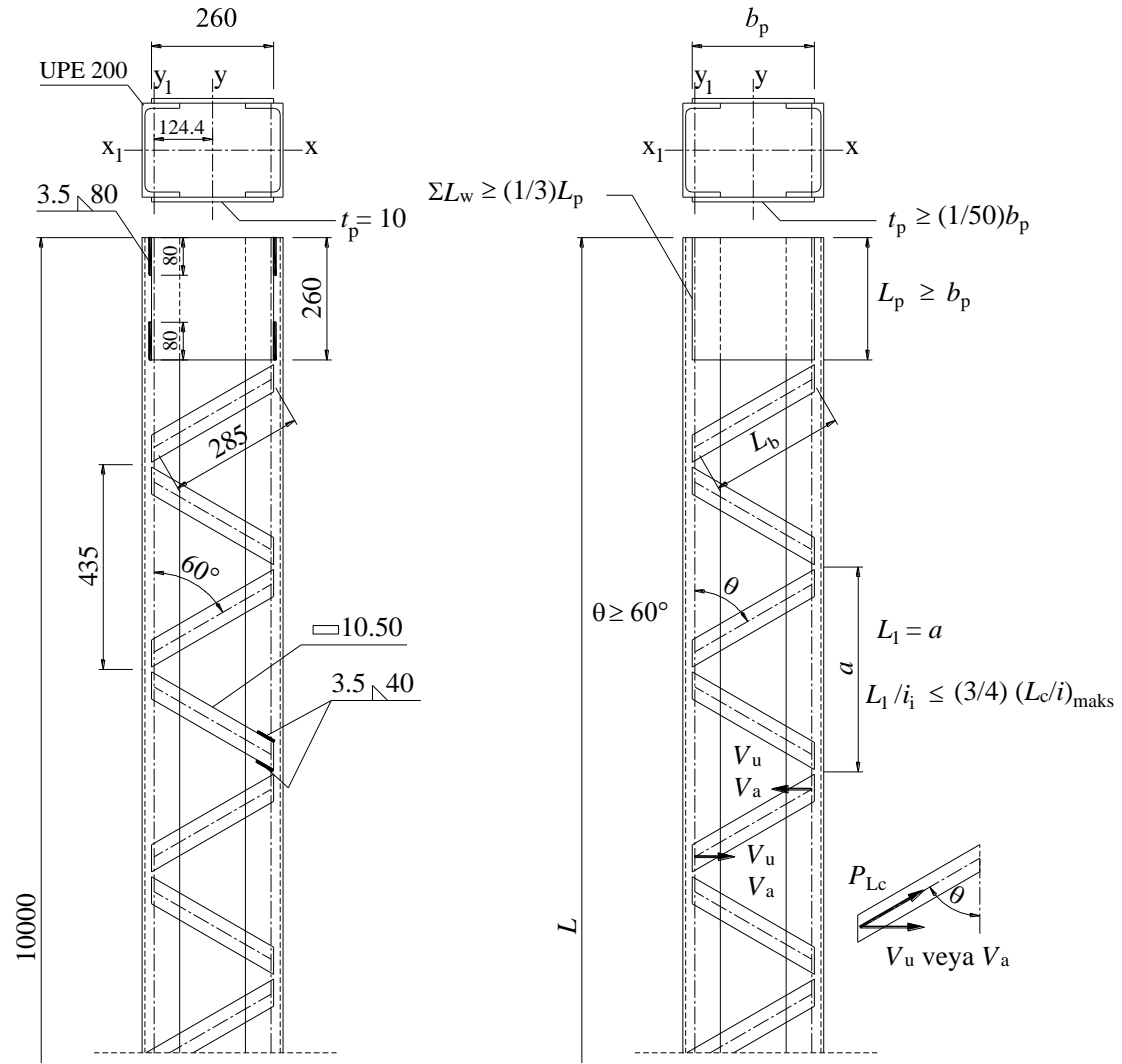
YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(300) + 1.6(700) = 1480 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 300 + 700 = 1000 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(1997.12) = 1797.40 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 1997.12 / 1.67 = 1195.88 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{1480}{1797.40} = 0.82 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{1000}{1195.88} = 0.84 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 8.5

İki adet UPE 200 (2UPE 200) profili ve uç bağlantı levhaları ile örgü elemanlarından oluşan,  $L=10\text{m}$  boyundaki çok parçalı yapma enkesitli eleman, sabit yükler altında,  $P_G = 300\text{ kN}$  aksenal basınç kuvveti etkisindedir. Eleman uç bağlantıları, her iki asal eksen etrafında olmak üzere, mafsallı olarak teşkil edilmiştir. Uç bağlantı levhaları  $\Lambda 10 \times 260$  enkesit boyutlarına, eleman boyunca  $a = 435\text{ mm}$  aralıklı olarak düzenlenen örgü elemanları da  $\Lambda 10 \times 50$  enkesit boyutlarına sahiptir. Ara bağlantı sistemini oluşturan örgü elemanları ile uç bağlantı levhalarının detayları aşağıdaki şekilde verilmektedir.







- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)
- Ara bağlantı elemanlarında (örgü çubukları) dayanım kontrolü (YDKT ve GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Kaynak

$$F_E = 460 \text{ N/mm}^2 > F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik 2.4})$$

#### Enkesit

UPE 200			
$A_g = 2901 \text{ mm}^2$	$I_x = 1909 \text{ cm}^4$	$I_y = 187.3 \text{ cm}^4$	$C_w = 1188 \text{ cm}^6$
$d = 200 \text{ mm}$	$h = 152 \text{ mm}$	$b_f = 80 \text{ mm}$	$J = 8.88 \text{ cm}^4$
$t_w = 6 \text{ mm}$	$t_f = 11 \text{ mm}$	$i_x = 81.13 \text{ mm}$	$i_y = 25.41 \text{ mm}$

## Çözüm

a. Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

### Yerel burkulma sınır durumu için sınıflandırma

Başlık parçası (Tablo 5.1A, Durum 1)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{t_f} = \frac{80}{11} = 7.27 \leq \lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 15.10$$

Gövde parçası (Tablo 5.1A, Durum 5)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{152}{6} = 25.33 \leq \lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 40.18$$

Yerel burkulma sınır durumu için UPE 200 enkesitli basınç elemanı, başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından *narın olmayan enkesit* olarak tanımlanır.

### Örgü çubuğu yerleşim aralığı kontrolü,

Kolon burkulma boyları,

$$L_{cx} = L_{cy} = KL = 1.0(10000) = 10000 \text{ mm}$$

2UPE 200 den teşkil edilmiş çok parçalı yapma enkesit için,

$$i_x = 81.13 \text{ mm}$$

$$I_y = 2(I_{y,1} + A_1 e^2) = 2[187.3(10)^4 + 2901(124.4)^2] = 9353(10)^4 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{9353(10)^4}{5802}} = 127 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{L_c}{i}\right)_{\text{maks}} = \left[ \left(\frac{L_{cx}}{i_x}\right)_o ; \left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)_o \right]_{\text{maks}}$$

$$\left(\frac{L_c}{i}\right)_{\text{maks}} = \left[ \left(\frac{10000}{81.13}\right) ; \left(\frac{10000}{127}\right) \right]_{\text{maks}} = [123.26; 78.74]_{\text{maks}} = 123.26 \leq 200 \checkmark$$

Yönetmelik 8.4(b) uyarınca,

$$\frac{a}{i_1} \leq \frac{3}{4} \left(\frac{L_c}{i}\right)_{\text{maks}}$$

$$\frac{435}{25.41} = 17.12 \leq 0.75(123.26) = 92.45 \checkmark \quad (8.22)$$

### Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi, $F_{cr}$

y-ekseni etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda kayma şekildeğiştirmelerinin etkisini hesaba katan etkin narınlık oranı gözönüne alınacaktır.

*Yönetmelik 8.4* uyarınca, etkin narinlik oranı,  $(L_c/i)_m$ ,

$$\left(\frac{a}{i_1}\right) = \frac{435}{25.41} = 17.12 \leq 40$$

$$\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)_m = \left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)_o = \frac{10000}{127} = 78.74 \quad (8.20)$$

$$\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)_m = 78.74 \leq \left(\frac{L_{cx}}{i_x}\right) = 123.26$$

olduğundan, eğilmeli burkulma sınır durumunda kolon dayanımını, x-asal eksenini belirleyecektir.

*Yönetmelik 8.2.1* uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_{ex}$ ,

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cx}}{i_x}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(123.26)^2} = 129.92 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$\frac{L_c}{i} = 123.26 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127 \quad \text{veya} \quad \frac{F_y}{F_e} = \frac{275}{129.92} = 2.12 \leq 2.25$$

olduğundan, eğilmeli burkulma sınır durumunda,  $F_{cr}$ ,

$$F_{cr} = \left[ 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y = \left[ 0.658^{\frac{275}{129.92}} \right] 275 = 113.39 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Burulmalı burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$

*Yönetmelik 8.2.2(a)* uyarınca Denk.(8.5) ile burulmalı burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 EC_w}{(L_{cz})^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad (8.5)$$

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 200000(2 \times 1188)10^7}{(1.0 \times 10000)^2} + 77200(2 \times 88840) \right] \times \dots$$

$$\dots \times \frac{1}{2 \times 1909(10)^4 + 9353(10)^4} = 107.70 \text{ N/mm}^2$$

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{275}{107.7} = 2.55 > 2.25$$

olduğundan, burulmalı burkulma sınır durumunda,  $F_{cr}$ ,

$$F_{cr} = 0.877F_e = 0.877(107.70) = 94.45 \text{ N/mm}^2 \quad (8.3)$$

olarak belirlenir.

$$F_{cr} = (113.39 \text{ N/mm}^2; 94.45 \text{ N/mm}^2)_{\min} = 94.45 \text{ N/mm}^2$$

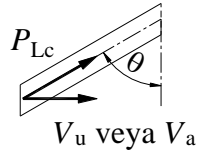
*Yönetmelik* 8.1.2 uyarınca, karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ , elemanın enkesit asal eksenlerinden herhangi biri etrafında *eğilmeli burkulma, burulmalı burkulma ve/veya eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumlarına* göre hesaplanacak dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır. Bu durumda, karakteristik basınç kuvveti dayanımını burulmalı burkulma sınır durumu belirler.

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$P_n = F_{cr} A_g = 94.45(2 \times 2901)10^{-3} = 548 \text{ kN} \quad (8.1)$$

YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.4P_G$ $= 1.4(300) = 420 \text{ kN}$	$P_a = P_G$ $= 300 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(548) = 493 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 548 / 1.67 = 328.14 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{420}{493} = 0.85 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{300}{328.14} = 0.91 > 1.0 \checkmark$

**d.**  $\times 10 \times 50$  enkesitli ara bağlantı elemanlarının (örgü çubuklarının) dayanım kontrolü



*Yönetmelik* 8.4(f) uyarınca, bir tarafta tek örgü elemanı kullanılması durumunda narinlik kontrolü

$$I_{\min} = \frac{t^3 b}{12} = \frac{10^3 (50)}{12} = 4166.67 \text{ mm}^4$$

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{4166.67}{10(50)}} = 2.89 \text{ mm} \quad (i_{\min} \approx 0.2887t)$$

$$\lambda_{\text{maks}} = \frac{L_b}{i_{\min}} \leq 140 \Rightarrow \lambda_{\text{maks}} = \frac{285}{2.89} = 98.62 \leq 140 \checkmark$$

*Yönetmelik 8.4(h)* uyarınca, örgü elemanlarının dayanım kontrolü,

YDKT	GKT
Örgü çubukları için toplam gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$V_u = 0.02P_d$ $= 0.02(493) = 9.86 \text{ kN}$	$V_a = 0.02P_g$ $= 0.02(328.14) = 6.56 \text{ kN}$
Bir taraftaki örgü elemanına etkiyen aksel basınç kuvveti, $P_{Lc}$	
$P_{Lc} = \frac{V_u / 2}{\sin\theta} = \frac{9.86 / 2}{\sin 60^\circ} = 5.69 \text{ kN}$	$P_{Lc} = \frac{V_a / 2}{\sin\theta} = \frac{6.56 / 2}{\sin 60^\circ} = 3.79 \text{ kN}$

Kafes sistemde örgü elemanlarının basınç elemanı parçalarına bağlantısı kaynaklı birleşim ile enkesit kaybı olmadan sağlandığından, dayanım kontrolünün sadece aksel basınç kuvveti altında yapılması yeterlidir.

#### Örgü elemanının aksel basınç kuvveti altında kontrolü

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$\frac{L_b}{i_{\min}} = 98.62 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 127$$

*Yönetmelik 8.2.1* uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{i_{\min}}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{98.62^2} = 203 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[ 0.658 \frac{275}{203} \right] (275) = 156 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

#### Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,

$$P_n = F_{cr} A_g = 156(10 \times 50)10^{-3} = 78.0 \text{ kN} \quad (8.1)$$

Örgü elemanının mevcut basınç kuvveti dayanımının kontrolü,

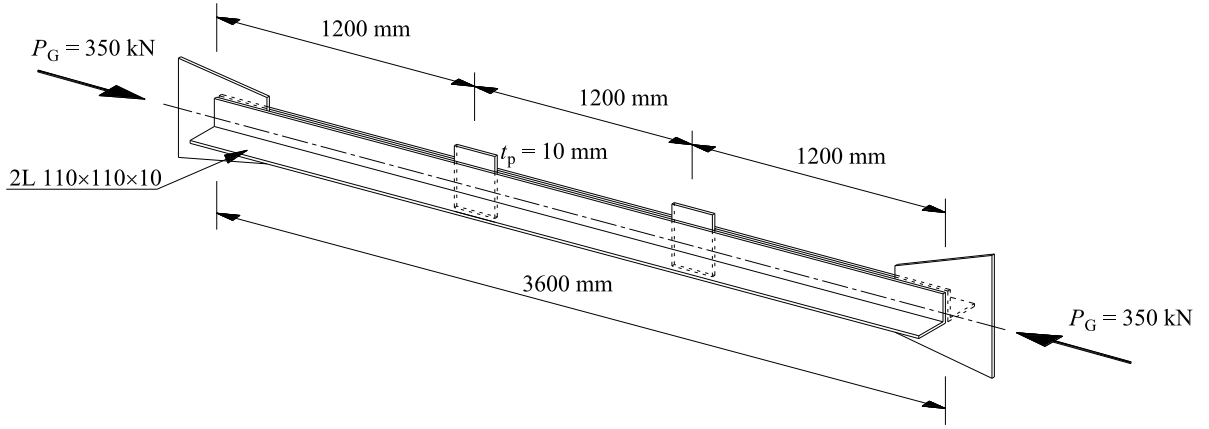
YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 5.69 \text{ kN}$	$P_a = 3.79 \text{ kN}$
Örgü elemanının tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	Örgü elemanının güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.9(78.0) = 70.2 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 78.0 / 1.67 = 46.71 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{5.69}{70.2} = 0.08 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{3.79}{46.71} = 0.08 \leq 1.0 \checkmark$

Ayrıca, örgü çubuğu kaynaklı uç birleşiminin dayanım kontrolü de *Yönetmelik* Bölüm 13 esas alınarak yapılmalıdır.

### Örnek 8.6

Sırt sırta yerleştirilerek 2L 110×110×10 ile teşkil edilen  $L=3.6\text{m}$  boyundaki çok parçalı yapma enkesitli eleman, sabit yükler altında,  $P_G = 350\text{kN}$  aksenal basınç kuvveti etkisindedir. Eleman uç bağlantıları, her iki asal eksen etrafında olmak üzere, mafsallı olarak teşkil edilmiştir. Eleman boyunca  $a = 1200\text{mm}$  aralıklı ve kaynaklı olarak düzenlenen ara bağlantı levhaları,  $t_p = 10\text{mm}$  kalınlığındadır.

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)
- Bağ levhaları için gerekli kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi, (YDKT ve GKT)



### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

L 110×110×10

$A_g = 2120 \text{ mm}^2$   $I_x = 238 \text{ cm}^4$   $I_y = 238 \text{ cm}^4$   $J = 7 \text{ cm}^4$

$i_x = 33.5 \text{ mm}$   $i_y = 33.5 \text{ mm}$   $i_z = 21.5 \text{ mm}$   $x_g = y_g = 30.6 \text{ mm}$

### Çözüm

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için sınıflandırma

Korniyer kolu, (Tablo 5.1A, Durum 3)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{110}{10} = 11 \leq \lambda_r = 0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.45 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 12.13$$

Yerel burkulma sınır durumu için L 110×110×10 korniyer kolları, genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından *narin olmayan enkesit* olarak tanımlanır.

Bağ levhası yerleşim aralığı kontrolü.

Burkulma boyları,

$$L_{cx} = L_{cy} = KL = 1.0(3600) = 3600 \text{ mm}$$

2L 110×110×10 ile teşkil edilmiş çok parçalı yapma enkesitli basınç elemanında,

$$i_x = 33.5 \text{ mm}$$

$$I_y = 2(I_{y,1} + A_1 e^2) = 2 \left[ 238(10)^4 + 2120(30.6 + 5)^2 \right] = 1013.36(10)^4 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{1013.36(10)^4}{2 \times 2120}} = 48.89 \text{ mm}$$

*Yönetmelik 8.4(b)* uyarınca,

$$\left( \frac{L_c}{i} \right)_{\text{maks}} = \left[ \left( \frac{L_{cx}}{i_x} \right)_o ; \left( \frac{L_{cy}}{i_y} \right)_o \right]_{\text{maks}}$$

$$\left( \frac{L_c}{i} \right)_{\text{maks}} = \left[ \left( \frac{3600}{33.5} \right)_o ; \left( \frac{3600}{48.89} \right)_o \right]_{\text{maks}} = [107.46; 73.63]_{\text{maks}} = 107.46 \leq 200 \checkmark$$

$$\frac{a}{i_i} \leq \frac{3}{4} \left( \frac{L_c}{i} \right)_{\text{maks}}$$

$$\frac{1200}{21.50} = 55.81 \leq 0.75(107.46) = 80.59 \checkmark \quad (8.22)$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$

y-ekseni etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi, kayma şekildeğiştirmelerinin etkisini hesaba katan etkin narinlik oranı gözönüne alınarak belirlenir.

*Yönetmelik 8.4* uyarınca, etkin narinlik oranı,  $(L_c/i)_m$ ,

$$\left( \frac{a}{i_i} \right) = \frac{1200}{21.5} = 55.81 > 40$$

olduğundan,

$$\left( \frac{L_c}{i} \right)_m = \sqrt{\left( \frac{L_c}{i} \right)_o^2 + \left( \frac{K_i a}{i_i} \right)^2} = \sqrt{(73.63)^2 + \left( \frac{0.5(1200)}{21.50} \right)^2} = 78.74 \quad (8.21)$$

$$\left( \frac{L_{cy}}{i_y} \right)_m = 78.74 \leq \left( \frac{L_{cx}}{i_x} \right) = 107.46$$

eğilmeli burkulma sınır durumunda dayanımı x-asal eksenini belirleyecektir.

*Yönetmelik 8.2.1* uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_{ex}$ ,

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cx}}{i_x}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(107.46)^2} = 171 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{275}{171} = 1.61 \leq 2.25$$

olduğundan, eğilmeli burkulma sınır durumunda,  $F_{cr}$ ,

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[ 0.658 \frac{275}{171} \right] 275 = 140.17 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Burulmalı burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$

Çift korniyer enkesitin kayma merkezi, simetri ekseninde başlık kalınlığının orta noktası olduğundan,  $x_o = 0$  ve  $y_o = 30.60 - 10/2 = 25.60 \text{ mm}$  olarak hesaplanır.

$$\bar{i}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + i_x^2 + i_y^2 = 0 + (25.60)^2 + (33.50)^2 + (48.89)^2 = 4167 \text{ mm}^2$$

Burulmalı burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_{ez}$ ,

$$F_{ez} = \frac{GJ}{A_g \bar{i}_o^2} = \frac{77200(2 \times 70000)}{(2 \times 2120)(4167)} = 612 \text{ N/mm}^2 \quad (8.14)$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{i}_o^2} = 1 - \frac{0 + (25.60)^2}{4167} = 0.843 \quad (8.11)$$

*Yönetmelik 8.2.2(b)* uyarınca, Denk.(8.6) kullanılarak y-asal ekseninde eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu için elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \left( \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \quad (8.6)$$

$$F_e = \left( \frac{318 + 612}{2 \times 0.843} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4(318)(612)(0.843)}{(318 + 612)^2}} \right] = 281 \text{ N/mm}^2$$

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{275}{281} = 0.979 \leq 2.25 \text{ olduğundan,}$$

eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumunda,  $F_{cr}$ ,



$$F_{cr} = \left[ 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y = \left[ 0.658^{\frac{275}{281}} \right] 275 = 182.55 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

*Yönetmelik* 8.2.1 uyarınca, karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ , hesaplanan burkulma dayanımlarının en küçüğü olarak alınacaktır.

$$F_{cr} = (140.17 \text{ N/mm}^2; 182.55 \text{ N/mm}^2)_{\min} = 140.17 \text{ N/mm}^2$$

Bu durumda, karakteristik basınç kuvveti dayanımını eğilmeli burkulma sınır durumu belirler.

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$P_n = F_{cr} A_g = 140.17 (2 \times 2120) 10^{-3} = 594.32 \text{ kN} \quad (8.1)$$

YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.4P_G$ $= 1.4(350) = 490 \text{ kN}$	$P_a = P_G$ $= 350 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(594.32) = 534.89 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 594.32 / 1.67 = 355.88 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{490}{534.89} = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{350}{355.88} = 0.98 < 1.0 \checkmark$

**d.** Bağ levhaları için gerekli kesme kuvveti dayanımı, *Yönetmelik* 8.4(h) uyarınca,

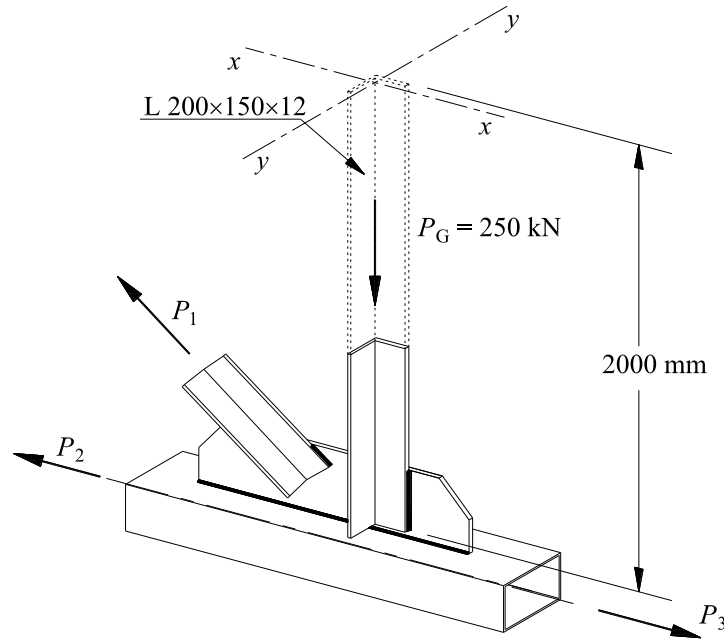
YDKT	GKT
Bağ levhaları için gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$V_u = 0.02P_d$ $= 0.02(534.89) = 10.70 \text{ kN}$	$V_a = 0.02P_g$ $= 0.02(355.88) = 7.12 \text{ kN}$

Bağ levhaları ve birleşim elemanları basınç elemanı boyuna eksenine dik olarak gözönüne alınan  $V_u$  (YDKT) veya  $V_a$  (GKT) kesme kuvveti altında boyutlandırılmalıdır.

### Örnek 8.7

Bir düzlem kafes sistemin örgü elemanı olarak kullanılan L 200×150×12 enkesitli ve  $L=2.0\text{m}$  boyundaki iki ucu mafsallı dikme elemanı, komşu örgü elemanı ile birlikte düğüm levhasının aynı yüzüne kısa kollarından kaynaklı uç birleşimi ile bağlanmaktadır. Dikme elemanı sabit yükler altında,  $P_G = 350\text{kN}$  eksenel basınç kuvveti etkisindedir.

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 235  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

L 200×150×12

$A_g = 4080 \text{ mm}^2$   $i_x = 63.60\text{mm}$   $i_y = 44.40 \text{ mm}$   $i_w = 70.40 \text{ mm}$   $i_z = 32.50 \text{ mm}$

#### Çözüm

- Elemanın karakteristik basınç kuvvetinin belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Korniyer kolları (Tablo 5.1A, Durum 3)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{200}{12} = 16.67 > \lambda_r = 0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.45 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 13.13$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{150}{12} = 12.50 \leq \lambda_r = 0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.45 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 13.13$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre korniyer, uzun kolunun genişlik/kalınlık oranı  $\lambda_r$  sınır değerini aşması nedeniyle, *narin enkesit* olarak sınıflandırılır.

Ayrıca, *Yönetmelik 8.3* uyarınca,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{200}{12} = 16.67 \leq 0.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.71 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 20.71$$

olduğundan, karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ , *Yönetmelik 8.5* uyarınca, *Yönetmelik 8.2.1* ile sadece eğilmeli burkulma sınır durumu esas alınarak belirlenir.

Etkin alan hesabı.

*Yönetmelik 8.2.1* uyarınca,

$$\left( \frac{L_c}{i} \right)_{\text{maks}} = \frac{L_c}{i_z} = \frac{2000}{32.50} = 61.54 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 137.40$$

olduğundan *Yönetmelik 8.5* uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , için elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{L_c}{i_z} \right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(61.54)^2} = 521.21 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[ 0.658 \frac{235}{521.21} \right] 235 = 103.73 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{200}{12} = 16.67 \leq \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 13.13 \sqrt{\frac{235}{103.73}} = 19.76 \quad (8.24a)$$

olduğundan etkin genişlik,  $b_e = b$  ve etkin alan,  $A_e = A_g$  olur.

*Yönetmelik 8.3* uyarınca, tek korniyerden oluşan basınç elemanlarında, dışmerkezlik etkisinin ihmal edilmesine ve tanımlanan *etkin narinlik oranları* ( $L_c / i$ ) kullanılarak eksenel basınç kuvveti dayanımının hesaplanmasına izin verilmektedir. Bunun için esas alınacak koşulların kontrolü aşağıda verilmiştir.

- (a) Korniyer, her iki ucunda aynı kolundan basınç kuvveti etkisinde olmalıdır ✓
- (b) Korniyer uçları, en az 2 bulon ile veya kaynakla bağlanmalıdır ✓
- (c) Korniyerin boyuna eksenine dik yük bulunmamalıdır ✓
- (d)  $L_c/i$  oranı 200 sınırını aşmamalıdır.

Farklı kollu korniyer kısa kolu ile bağılı olduğundan, etkin narinlik oranı,  $(L_c / i)$ , *Yönetmelik* 8.3(1) uyarınca,  $4[(b_1 / b_s)^2 - 1]$  ile elde edilen değer kadar arttırılacaktır.

$$\frac{L}{i_a} = \frac{(1.0)2000}{63.60} = 31.45 \leq 80 \text{ için,}$$

$$\frac{L_c}{i} = 72 + 0.75 \frac{L}{i_a} + 4[(b_1 / b_s)^2 - 1] \quad (8.15)$$

$$\frac{L_c}{i} = 72 + 0.75(31.45) + 4[(200 / 150)^2 - 1] = 98.67 \leq 200 \checkmark$$

$$\frac{L_c}{i} = 98.67 \geq 0.95 \frac{L}{i_z} = 0.95 \frac{2000}{32.50} = 58.46 \checkmark$$

$$(e) b_1 / b_s = 200 / 150 = 1.67 \leq 1.7 \checkmark$$

olmak üzere tüm koşullar sağlanmaktadır. Bu durumda, tek korniyerden oluşan basınç elemanında dışmerkezlik etkisi ihmal edilerek, eksenel basınç kuvveti dayanımı,  $(L_c / i=98.67)$  olarak hesaplanan etkin narinlik oranı ile belirlenir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$

*Yönetmelik* 8.5 uyarınca, tek korniyer enkesitlerde, kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , eğilmeli burkulma sınır durumuna göre hesaplanacağından, elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(98.67)^2} = 202.75 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

*Yönetmelik* 8.2 uyarınca,

$$\frac{L_c}{i} = 98.67 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 137.40$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[ 0.658 \frac{235}{202.75} \right] 235 = 145 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$P_n = F_{cr} A_e = 145(4080)10^{-3} = 591.60 \text{ kN} \quad (8.23)$$

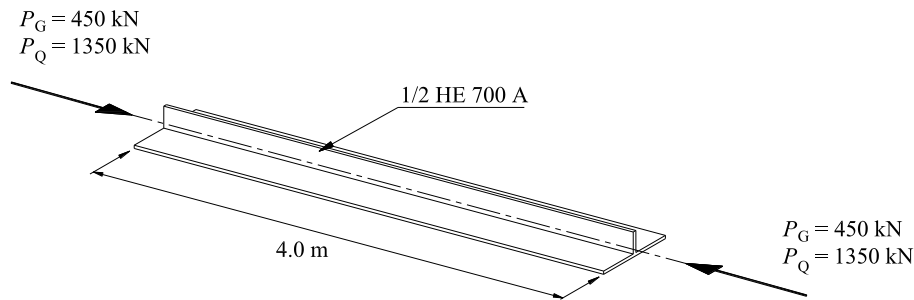
YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.4P_G$ $= 1.4(350) = 490 \text{ kN}$	$P_a = P_G$ $= 350 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(591.60) = 532.44 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 591.60 / 1.67 = 354.25 \text{ kN}$

$\frac{P_u}{P_d} = \frac{490}{532.44} = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{350}{354.25} = 0.99 \leq 1.0 \checkmark$
---	---

### Örnek 8.8

Her iki asal eksenini etrafında da iki ucu mafsallı,  $L= 4.0\text{m}$  boyundaki 1/2 HE 700 A enkesitli eleman, sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla,  $P_G = 450 \text{ kN}$  ve  $P_Q = 1350 \text{ kN}$  aksel basınç kuvveti etkisindedir.

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

1/2 HE 700 A

$A_g = 13024 \text{ mm}^2$	$I_x = 12736 \text{ cm}^4$	$I_y = 6089 \text{ cm}^4$	
$J = 256.95 \text{ cm}^4$	$d = 345 \text{ mm}$	$b = 300 \text{ mm}$	$t_f = 27 \text{ mm}$
$t_w = 14.5 \text{ mm}$	$i_x = 99 \text{ mm}$	$i_y = 68.4 \text{ mm}$	$y_g = 76 \text{ mm}$

### Çözüm

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1A, Durum 1)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2(27)} = 5.55 \leq \lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 13.29$$

Gövde parçası (Tablo 5.1A, Durum 4)

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{345}{14.5} = 23.79 > \lambda_r = 0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.75 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 17.80$$

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin gövde parçasının genişlik/kalınlık oranı  $\lambda_r$  sınır değerini aştığından ( $\lambda > \lambda_r$ ), basınç elemanı *narin enkesit* olarak tanımlanır.

*Yönetmelik 8.2.2* uyarınca, basınç elemanı enkesiti tek simetri eksenine sahip olduğundan, basınç dayanımını x- ve y-asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma veya simetri eksenine olan y-asal ekseninde eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumları ile belirlenen dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

#### Narinlik oranları

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{(1.0)4000}{99} = 40.40 \leq 200 \checkmark$$

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{1.0(4000)}{68.4} = 58.48 \leq 200 \checkmark$$

*Yönetmelik 8.1.1* uyarınca, narinlik oranları  $L_c/i \leq 200$  koşulunu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$(L_c/i)_{\text{maks}} = (L_{cx}/i_x ; L_{cy}/i_y)_{\text{maks}} = (40.40; 58.48)_{\text{maks}} = 58.48$$

olduğundan, eğilmeli burkulma sınır durumunda eksenel basınç kuvveti dayanımını y-asal eksenine etrafında hesaplanan narinlik oranı belirleyecektir. *Yönetmelik 8.2.1* uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(58.48)^2} = 577 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$\lambda_y = 58.48 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 111.79 \quad \text{veya} \quad \frac{F_y}{F_e} = \frac{355}{577} = 0.61 \leq 2.25$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[ 0.658 \frac{355}{577} \right] 355 = 0.77(355) = 275 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

#### Etkin alanın belirlenmesi

*Yönetmelik 8.5.1* uyarınca,

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{345}{14.5} = 23.79 > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 17.80 \sqrt{\frac{355}{275}} = 20.22 \quad (8.24b)$$

olduğundan, etkin genişlik,  $b_e$  için, *Yönetmelik* Tablo 8.2 den etkin genişlik hata düzeltme katsayıları,  $c_1=0.22$  ve  $c_2=1.49$  olarak belirlenir. Buna göre,

$$F_{el} = \left( c_2 \frac{\lambda_r}{\lambda} \right) F_y = \left( 1.49 \frac{17.80}{23.79} \right) 355 = 396 \text{ N/mm}^2 \quad (8.25)$$

$$b_e = b \left( 1 - c_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} = 345 \left( 1 - 0.22 \sqrt{\frac{396}{275}} \right) \sqrt{\frac{396}{275}} = 305 \text{ mm} \quad (8.24b)$$

Etkin alan,  $A_e$ ,

$$A_e = A_g - (b - b_e)t = 13024 - (345 - 305)14.5 = 13024 - 580 = 12444 \text{ mm}^2$$

$$P_n = F_{cr} A_e = 275(12444)10^{-3} = 3422 \text{ kN} \quad (8.1)$$

Eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$

*Yönetmelik 8.2.2(b)* uyarınca, y-ekseni etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_{ey}$ ,

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(58.48)^2} = 577 \text{ N/mm}^2 \quad (8.9)$$

½ HEA 700 enkesitin kayma merkezinin yeri, simetri eksenini üzerinde başlık kalınlığının orta noktasında olduğundan,  $x_o = 0$  ve  $y_o = 76 - 27 / 2 = 62.5 \text{ mm}$  olur.

Kayma merkezine göre hesaplanan polar atalet yarıçapı,  $\bar{i}_o$ ,

$$\bar{i}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} = 0 + (62.5)^2 + \frac{12735(10)^4 + 6089(10)^4}{13023} = 18361 \text{ mm}^2 \quad (8.12)$$

Burulmalı burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_{ez}$ ,

$$F_{ez} = \frac{GJ}{A_g \bar{i}_o^2} = \frac{77200(2569500)}{13023(18361)} = 830 \text{ N/mm}^2 \quad (8.14)$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{i}_o^2} = 1 - \frac{0 + (62.5)^2}{18361} = 0.787 \quad (8.11)$$

*Yönetmelik 8.2.2(b)* uyarınca, Denk.(8.6) ile, y-asal eksenine göre eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \left( \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey} F_{ez} H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right]$$

$$F_e = \left( \frac{577 + 830}{2(0.787)} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4(577)(830)(0.787)}{(577 + 830)^2}} \right] = 458 \text{ N/mm}^2$$

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{355}{458} = 0.78 \leq 2.25$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[ 0.658 \frac{355}{458} \right] 355 = 0.72(355) = 256 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Etkin alanın belirlenmesi

Yönetmelik 8.5.1 uyarınca,

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{345}{14.5} = 23.79 > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 17.80 \sqrt{\frac{355}{256}} = 20.96 \quad (8.24b)$$

olduğundan etkin genişlik,  $b_e$ , hesabı,

$$F_{el} = \left( c_2 \frac{\lambda_r}{\lambda} \right) F_y = \left( 1.49 \frac{17.80}{23.79} \right) 355 = 396 \text{ N/mm}^2 \quad (8.25)$$

$$b_e = b \left( 1 - c_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} = 345 \left( 1 - 0.22 \sqrt{\frac{396}{256}} \right) \sqrt{\frac{396}{256}} = 312 \text{ mm} \quad (8.24b)$$

Etkin alan,  $A_e$ ,

$$A_e = A_g - (b - b_e)t = 13024 - (345 - 312)14.5 = 13024 - 478.5 = 12545 \text{ mm}^2$$

$$P_n = F_{cr} A_e = 256(12545)10^{-3} = 3211 \text{ kN} \quad (8.23)$$

Basınç elemanının karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$P_n = (3422 \text{ kN}; 3211 \text{ kN})_{\min} = 3211 \text{ kN}$$

olduğundan, Yönetmelik 8.1.2 uyarınca, elemanının aksenal basınç kuvveti dayanımını eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumu belirleyecektir.

YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(450) + 1.6(1350) = 2700 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 450 + 1350 = 1800 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(3211) = 2890 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 3211 / 1.67 = 1923 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{2700}{2890} = 0.93 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{1800}{1923} = 0.94 \leq 1.0 \checkmark$



## BÖLÜM 9 EĞİLME MOMENTİ ETKİSİ

Asal eksenlerinden herhangi biri etrafında basit eğilme etkisindeki elemanların tasarımı *Yönetmelik* Bölüm 9 da belirtilen kurallara göre yapılacaktır. Basit eğilme etkisindeki elemanlarda, yükler kayma merkezinden geçen asal eksene paralel olan düzlemde etkimeli veya eleman, yük etkime noktalarında ve mesnetlerde burulmaya karşı desteklenmelidir. Bu bölümde verilen kurallar, elemanın asal eksenlerine paralel düzlemlerden birinde yük etkisinde olması ve boyuna eksenleri etrafında burulmasının mesnetlerde ve yük etkime noktalarında önlendiği varsayımına dayanmaktadır.

Eleman enkesit parçaları eğilme etkisi altında *Yönetmelik* Tablo 5.1B de verilen enkesit koşullarına göre *kompakt*, *kompakt olmayan* veya *narin* olarak sınıflandırılacaktır.

### Karakteristik eğilme momenti dayanımı

Eğilme etkisindeki elemanın *karakteristik eğilme momenti dayanımı*,  $M_n$ , olası her bir göçme sınır durumu için belirlenecek dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır.

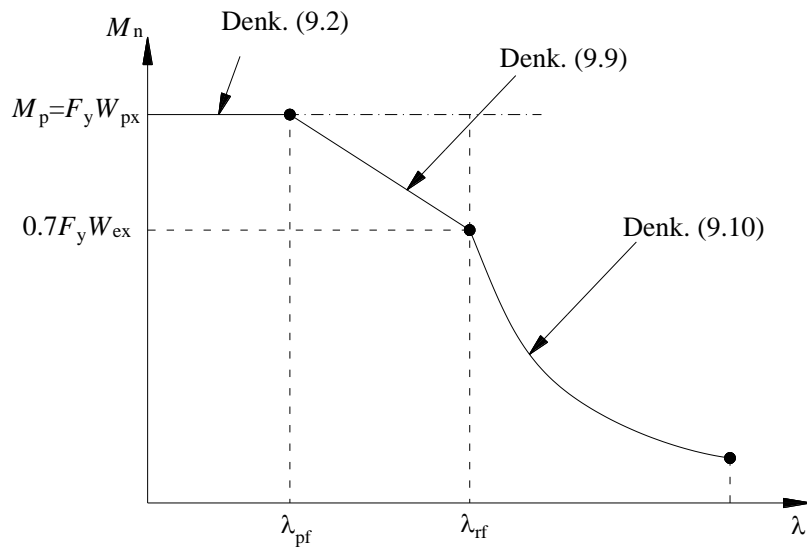
Eğilme etkisindeki elemanın enkesit özelliklerine bağlı olarak, *karakteristik eğilme momenti dayanımı*,  $M_n$ , için *Yönetmelikte* tanımlanan olası göçme sınır durumları aşağıda tablo halinde özetlenmiştir.

Tanım	Karakteristik eğilme momenti dayanımı için sınır durumlar
Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, gövde ve başlık parçaları <i>kompakt</i> sınıfında olan U-enkesitli ve çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar	Akma sınır durumu Yanal burulmalı burkulma sınır durumu
Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, enkesitin gövde parçası <i>kompakt</i> ve başlık parçaları <i>kompakt olmayan</i> veya <i>narin</i> sınıfında olan çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar	Yanal burulmalı burkulma sınır durumu Yerel burkulma sınır durumu
Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, enkesitin gövde parçası <i>kompakt olmayan</i> çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar ile gövde parçası <i>kompakt</i> veya <i>kompakt olmayan</i> , gövde düzlemine göre tek simetri eksenli I-enkesitli (farklı başlık enkesitine sahip) elemanlar	Yanal burulmalı burkulma sınır durumu Basınç başlığı yerel burkulma sınır durumu Basınç başlığı akma sınır durumu Çekme başlığı akma sınır durumu
Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, <i>narin</i> gövde parçasına sahip, çift simetri eksenli elemanlar ve gövde düzlemine göre tek simetri eksenli I-enkesitli elemanlar	Yanal burulmalı burkulma sınır durumu Basınç başlığı yerel burkulma sınır durumu Basınç başlığı akma sınır durumu

	Çekme başlığı akma sınır durumu
Zayıf asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, U-enkesitli ve I-enkesitli elemanlar	Akma sınır durumu Yerel burkulma sınır durumu

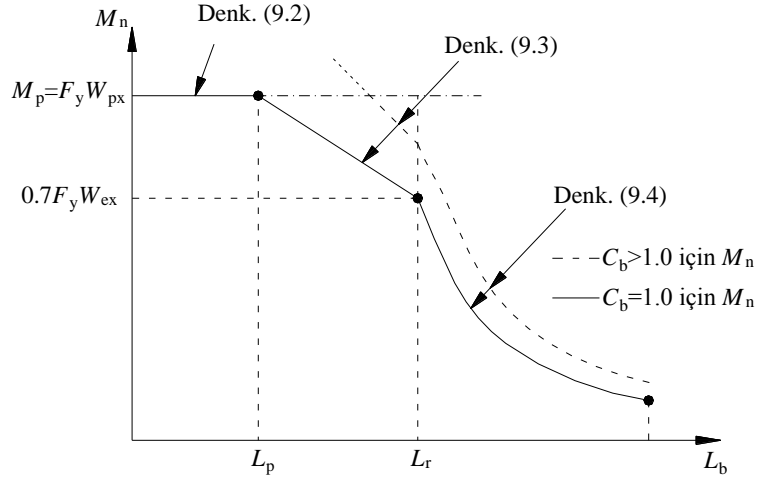
Kutu enkesitli elemanlar	Akma sınır durumu Başlığın yerel burkulma sınır durumu Gövdenin yerel burkulma sınır durumu
Boru enkesitli elemanlar	Akma sınır durumu Yerel burkulma sınır durumu
Simetri düzleminde yük etkisindeki çift korniyer ve T-enkesitli elemanlar	Akma sınır durumu Yanal burulmalı burkulma sınır durumu Başlığın yerel burkulma sınır durumu Gövdenin yerel burkulma sınır durumu
Tek korniyerler	Akma sınır durumu Yanal burulmalı burkulma sınır durumu Yerel burkulma sınır durumu
Dolu enkesitli elemanlar	Akma sınır durumu Yanal burulmalı burkulma sınır durumu
Simetri enkesiti olmayan enkesite sahip elemanlar	Akma sınır durumu Yanal burulmalı burkulma sınır durumu Yerel burkulma sınır durumu

Kuvvetli eksen etrafında eğilme etkisindeki çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar için yerel burkulma sınır durumunda, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$  nin, enkesitin başlık parçası narinliği,  $\lambda_f$  e bağlı olarak değişimi **Şekil 9.1** de gösterilmiştir.



**Şekil 9.1** – Enkesitin başlık parçası narinliği,  $\lambda_f$  e bağlı olarak  $M_n$ , karakteristik eğilme momenti dayanımının değişim

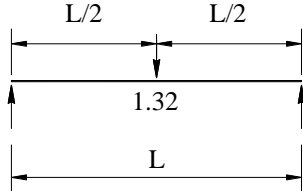
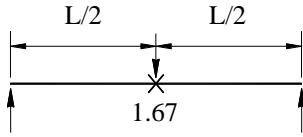
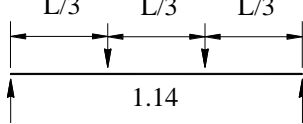
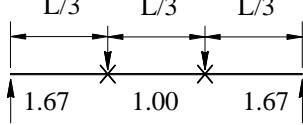
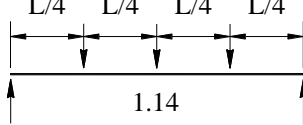
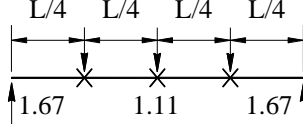
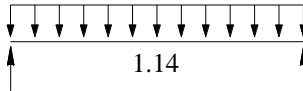
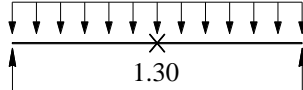
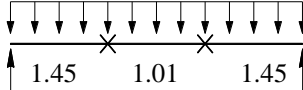
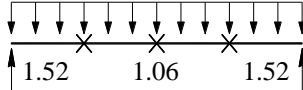
Kuvvetli eksen etrafında eğilme etkisindeki çift simetri eksenli I-enkesitli elemanların yanal burulmalı burkulma sınır durumunda, *Yönetmelikte* tanımlanan göçme sınır durumları için karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$  nin, basınç başlığının yanal olarak desteklenmeyen uzunluğu,  $L_b$  ye bağlı olarak değişimi ve moment düzeltme katsayısı,  $C_b$  nin etkisi **Şekil 9.2** de gösterilmiştir.



**Şekil 9.2** – Basınç başlığının yanal olarak desteklenmeyen uzunluğuna bağlı olarak karakteristik eğilme momenti dayanımı

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda, yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki uzunluk boyunca, eğilme momenti yayılışının olumlu katkısı *Yönetmelik* Denk.(9.1) ile tanımlanan *moment düzeltme katsayısı*,  $C_b$ , ile hesaba katılabilir. Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda, *moment düzeltme katsayısı*,  $C_b$ , değerleri, tipik basit kirişte çeşitli yükleme durumları ve farklı aralıklı yanal destek düzenlemelerine göre Tablo 9.1 de verilmiştir.

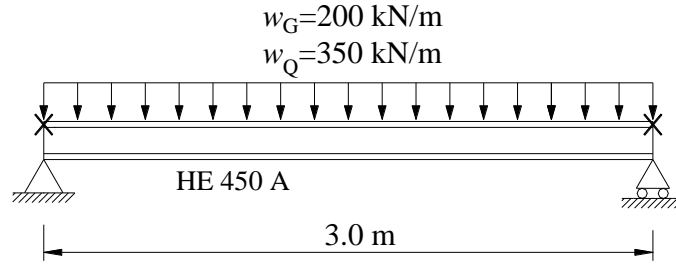
**TABLO 9.1.** Farklı aralıklı yanal destek düzenlemelerine göre  $C_b$  moment düzeltme katsayısı değerleri

Yükleme Durumu	Yanal Destek Düzeni	$C_b$
Kiriş ortasında tekil yük	Açıklıkta yanal destek yok	
Kiriş ortasında tekil yük	Açıklık ortasında yanal destek var	
Kiriş açıklığının 1/3 noktalarında tekil yük	Açıklıkta yanal destek yok	
Kiriş açıklığının 1/3 noktalarında tekil yük	Açıklığın 1/3 noktalarında yanal destek var	
Kiriş açıklığının 1/4 noktalarında tekil yük	Açıklıkta yanal destek yok	
Kiriş açıklığının 1/4 noktalarında tekil yük	Açıklığın 1/4 noktalarında yanal destek var	
Kiriş boyunca düzgün yayılı yük	Açıklıkta yanal destek yok	
Kiriş boyunca düzgün yayılı yük	Açıklık ortasında yanal destek var	
Kiriş boyunca düzgün yayılı yük	Açıklığın 1/3 noktalarında yanal destek var	
Kiriş boyunca düzgün yayılı yük	Açıklığın 1/4 noktalarında yanal destek var	

**Not:** Yukarıdaki tüm düzenlemelerde mesnetlerde de yanal destek sağlanmaktadır.

### Örnek 9.1

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen HE 450 A enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında kuvvetli eksenine dik olmak üzere, sırasıyla,  $w_G = 200$  kN/m ve  $w_Q = 350$  kN/m üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş başlıkları sadece mesnetlerde yanal olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355$  N/mm<sup>2</sup>  $F_u = 510$  N/mm<sup>2</sup> (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

HE 450 A			
$I_x = 63720$ cm <sup>4</sup>	$W_{ex} = 2896$ cm <sup>3</sup>	$W_{px} = 3216$ cm <sup>3</sup>	$J = 243.8$ cm <sup>4</sup>
$d = 440$ mm	$h = 344$ mm	$b_f = 300$ mm	$t_f = 21$ mm
$t_w = 11.5$ mm	$i_y = 72.9$ mm		

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

#### Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2(21)} = 7.14 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{344}{11.5} = 29.91 \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.24$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit (HEA 450) *kompakt* olarak değerlendirilir.

Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.2 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = 355(3216)10^{-3} = 1141.68 \text{ kNm} \quad (9.2)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$L_p = 1.76i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(72.9) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 3045.38 \text{ mm} \geq L_b = 3000 \text{ mm} \quad (9.6a)$$

olduğundan, *Yönetmelik* 9.2.2(a) uyarınca, yanal burulmalı burkulma sınır durumunun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

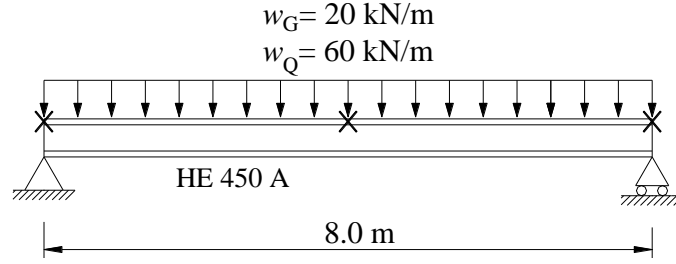
Bu durumda, karakteristik eğilme momenti dayanımı akma sınır durumu ile belirlenen değere eşit olur.

$$M_n = M_p = 1141.68 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(200) + 1.6(350) = 800 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{800(3)^2}{8} = 900 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 200 + 350 = 550 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{550(3)^2}{8} = 618.75 \text{ kNm}$
<b>b.</b> Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n$ $M_d = 0.90(1141.68) = 1028 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b$ $M_g = 1141.68 / 1.67 = 683.64 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{900}{1028} = 0.88 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{618.75}{683.64} = 0.91 < 1.0 \checkmark$

## Örnek 9.2

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen HE 450 A enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında kuvvetli eksenine dik olmak üzere, sırasıyla,  $w_G = 20 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 60 \text{ kN/m}$  üniform yayılı yük etkisindedir. Basınç etkisindeki kiriş başlığı mesnetlerde ve açıklıkta yanal olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

HE 450 A

$$I_x = 63720 \text{ cm}^4 \quad W_{ex} = 2896 \text{ cm}^3 \quad W_{px} = 3216 \text{ cm}^3 \quad J = 243.8 \text{ cm}^4$$

$$d = 440 \text{ mm} \quad h = 344 \text{ mm} \quad b_f = 300 \text{ mm} \quad t_f = 21 \text{ mm}$$

$$t_w = 11.5 \text{ mm} \quad i_y = 72.9 \text{ mm}$$

### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2(21)} = 7.14 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{344}{11.5} = 29.91 \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.24$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit *kompakt* olarak değerlendirilir.

Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.2 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = 355(3216)10^{-3} = 1141.68 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kiriş başlığı mesnet noktaları ve açıklık ortasında yanal olarak desteklendiğinden,  $L_b = 4000\text{mm}$  olarak belirlenir.

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(72.9) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 3045.38 \text{ mm} < L_b = 4000 \text{ mm} \quad (9.6a)$$

$$c = 1.0 \quad (9.7a)$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{1}{6} \frac{h t_w}{b_f t_f} \right)}} = \frac{300}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{1}{6} \frac{344(11.5)}{300(21)} \right)}} = 82.40 \text{ mm} \quad (9.8b)$$

$$h_o = d - t_f = 440 - 21 = 419 \text{ mm}$$

değerleri ile elastik olmayan yanal burkulma sınır uzunluk değeri,  $L_r$ , hesaplanır.

$$L_r = 1.95 i_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J c}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left( \frac{J c}{W_{ex} h_o} \right)^2 + 6.76 \left( \frac{0.7 F_y}{E} \right)^2}} \quad (9.6b)$$

$$L_r = 1.95(82.40) \frac{200000}{0.7(355)} \times \dots$$

$$\dots \times \sqrt{\frac{243.8(10)^4 (1.0)}{2896(10)^3 (419)} + \sqrt{\left( \frac{243.8(10)^4 (1.0)}{2896(10)^3 (419)} \right)^2 + 6.76 \left( \frac{0.7(355)}{200000} \right)^2}} = 9860 \text{ mm}$$

$$L_p = 3045.38 \text{ mm} < L_b = 4000 \text{ mm} \leq L_r = 9860 \text{ mm}$$

olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.2.2(b) uyarınca belirlenir.

Moment düzeltme katsayısı,  $C_b$

Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki kiriş uzunluğu boyunca en büyük eğilme momenti  $M_{maks}=1.0$  olarak alındığında,  $M_A=0.438$ ,  $M_B=0.751$   $M_C=0.938$  olarak elde edilir. *Yönetmelik* 9.1(c) uyarınca,



$$C_b = \frac{12.5M_{\text{maks}}}{2.5M_{\text{maks}} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (9.1)$$

$$C_b = \frac{12.5(1.00)}{2.5(1.00) + 3(0.438) + 4(0.751) + 3(0.938)} = 1.30$$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (9.3)$$

$$M_n = 1.30 \left[ 1141.68 - (1141.68 - 0.7(355)(2896)10^{-3}) \left( \frac{4000 - 3045.38}{9860 - 3045.38} \right) \right]$$

$$M_n = 1407.33 \text{ kNm} \leq M_p = 1141.68 \text{ kNm} \times$$

olduğundan, yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik moment dayanımı,  $M_n$

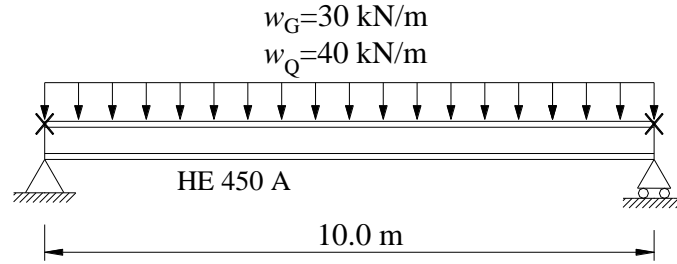
$$M_n = M_p = 1141.68 \text{ kNm}$$

*Yönetmelik 9.2* uyarınca, en küçük eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , akma sınır durumunda elde edildiğinden, dayanım hesabında bu sınır durum belirleyicidir.

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(20) + 1.6(60) = 120 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{120(8)^2}{8} = 960 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 20 + 60 = 80 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{80(8)^2}{8} = 640 \text{ kNm}$
<b>b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>
$M_d = \phi_b M_n$ $M_d = 0.90(1141.68) = 1027.51 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b$ $M_g = 1141.68 / 1.67 = 683.64 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{960}{1027.51} = 0.93 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{640}{683.64} = 0.94 < 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.3

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen HE 450 A enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında kuvvetli eksenine dik olmak üzere, sırasıyla,  $w_G = 30$  kN/m ve  $w_Q = 40$  kN/m üniform yayılı yük etkisindedir. Basınç etkisindeki kiriş başlığı sadece mesnetlerde yanal olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355$  N/mm<sup>2</sup>  $F_u = 510$  N/mm<sup>2</sup> (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

HE 450 A			
$I_x = 63720$ cm <sup>4</sup>	$W_{ex} = 2896$ cm <sup>3</sup>	$W_{px} = 3216$ cm <sup>3</sup>	$J = 243.8$ cm <sup>4</sup>
$d = 440$ mm	$h = 344$ mm	$b_f = 300$ mm	$t_f = 21$ mm
$t_w = 11.5$ mm	$i_y = 72.9$ mm		

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

#### Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2(21)} = 7.14 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{344}{11.5} = 29.91 \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.24$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, başlık ve gövde parçaları genişlik/kalınlık oranı Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, *kompakt* olarak değerlendirilir.

Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.2 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = 355(3216)10^{-3} = 1141.68 \text{ kNm} \quad (9.2)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kiriş basınç başlığı mesnet noktalarında yanal olarak desteklendiğinden,  $L_b=10000\text{mm}$  olarak belirlenir.

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(72.9) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 3045.38 \text{ mm} < L_b = 10000 \text{ mm} \quad (9.6a)$$

$$c = 1.0 \quad (9.7a)$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{1}{6} \frac{h t_w}{b_f t_f} \right)}} = \frac{300}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{1}{6} \frac{344(11.5)}{300(21)} \right)}} = 82.40 \text{ mm} \quad (9.8b)$$

$$h_o = d - t_f = 440 - 21 = 419 \text{ mm}$$

değerleri ile elastik olmayan yanal burkulmada sınır uzunluk,  $L_r$

$$L_r = 1.95 i_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J c}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left( \frac{J c}{W_{ex} h_o} \right)^2 + 6.76 \left( \frac{0.7 F_y}{E} \right)^2}} \quad (9.6b)$$

$$L_r = 1.95(82.40) \frac{200000}{0.7(355)} \times \dots$$

$$\dots \times \sqrt{\frac{243.8(10)^4 (1.0)}{2896(10)^3 (419)} + \sqrt{\left( \frac{243.8(10)^4 (1.0)}{2896(10)^3 (419)} \right)^2 + 6.76 \left( \frac{0.7(355)}{200000} \right)^2}} = 9860 \text{ mm}$$

$$L_b = 10000 \text{ mm} > L_r = 9860 \text{ mm}$$

olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.2.2(c) uyarınca hesaplanacaktır.

Moment düzeltme katsayısı,  $C_b$

Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki kiriş uzunluğu boyunca en büyük eğilme momenti  $M_{maks}=1.0$  olarak alındığında,  $M_A=0.75$ ,  $M_B=1.0$   $M_C=0.75$  olarak elde edilir. *Yönetmelik* 9.1(c) uyarınca,

$$C_b = \frac{12.5M_{\text{maks}}}{2.5M_{\text{maks}} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$C_b = \frac{12.5(1.00)}{2.5(1.00) + 3(0.75) + 4(1.0) + 3(0.75)} = 1.14 \quad (9.1)$$

$$F_{\text{cr}} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{i_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{W_{\text{ex}} h_o} \left(\frac{L_b}{i_{ts}}\right)^2} \quad (9.5)$$

$$F_{\text{cr}} = \frac{1.14 \pi^2 (200000)}{\left(\frac{10000}{82.40}\right)^2} \times \dots$$

$$\dots \times \sqrt{1 + 0.078 \frac{243.8(10)^4 (1.0)}{2896(10)^3 (419)} \left(\frac{10000}{82.40}\right)^2} = 174.36(1.819) = 277.91 \text{ N/mm}^2$$

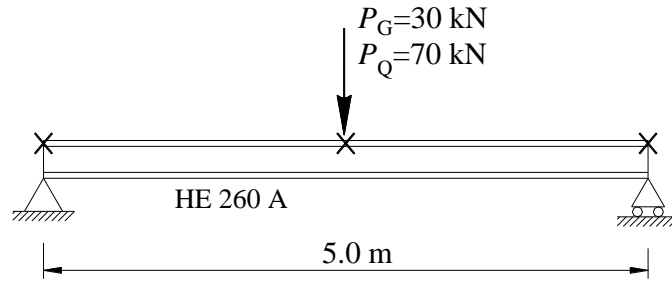
$$M_n = F_{\text{cr}} W_{\text{ex}} = 277.91(2896)(10)^{-3} = 804.83 \text{ kNm} \leq M_p = 1141.68 \text{ kNm} \checkmark \quad (9.4)$$

*Yönetmelik 9.2* uyarınca, en küçük eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , yanal burulmalı burkulma sınır durumunda elde edildiğinden, dayanım hesabında bu sınır durum belirleyicidir.

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(30) + 1.6(40) = 100 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{100(8)^2}{8} = 800 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 30 + 40 = 70 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{70(8)^2}{8} = 560 \text{ kNm}$
<b>b.</b> Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n$ $M_d = 0.90(804.83) = 724.35 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b$ $M_g = 804.83 / 1.67 = 481.93 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{800}{724.35} = 1.10 > 1.0 \times$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{560}{481.93} = 1.16 > 1.0 \times$

### Örnek 9.4

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen HE 260 A enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında kuvvetli eksenine dik olmak üzere, sırasıyla,  $P_G = 30$  kN ve  $P_Q = 70$  kN olan tekil yüklerin etkisindedir. Basınç etkisindeki kiriş başlığı mesnetlerde ve açıklık ortasında yanal olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit

HE 260 A			
$W_{ex} = 836.4 \text{ cm}^3$	$W_{px} = 919.8 \text{ cm}^3$	$d = 250 \text{ mm}$	$h = 177 \text{ mm}$
$b_f = 260 \text{ mm}$	$t_f = 12.5 \text{ mm}$	$t_w = 7.5 \text{ mm}$	$i_y = 65 \text{ mm}$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{260}{2(12.5)} = 10.4 > \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{260}{2(12.5)} = 10.4 \leq \lambda_r = 1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.0 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 23.73$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{177}{7.5} = 23.6 \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.24$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre, genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  ve  $\lambda_r$  sınır değeri arasında kalan başlık parçaları *kompakt olmayan* enkesit parçaları olarak, enkesitin gövde parçasının genişlik/kalınlık oranı ise Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından *kompakt* enkesit parçası olarak değerlendirilir.

Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanın başlık elemanı *kompakt olmayan*, gövde elemanı ise *kompakt* sınıfta olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.3 uyarınca değerlendirilerek, hesaplanan değerlerin küçüğü olarak alınacaktır.

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kiriş başlığı mesnet noktaları ve açıklık ortasında yanal olarak desteklendiğinden,  $L_b = 2500\text{mm}$  olarak belirlenir.

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(65) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 2715 \text{ mm} \geq L_b = 2500 \text{ mm} \quad (9.6a)$$

olduğundan, *Yönetmelik* 9.2.2(a) uyarınca, yanal burulmalı burkulma sınır durumunun gözönüne alınmasına gerek yoktur. Bu durumda, karakteristik eğilme momenti dayanımı akma sınır durumu ile belirlenen değere eşit olur.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = 355(919.8)10^{-3} = 326.53 \text{ kNm} \quad (9.2)$$

Yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

I-enkesitli elemanın başlık elemanı *kompakt olmayan*, gövde elemanı da *kompakt* sınıfta olduğundan, yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.3.2(a) uyarınca belirlenir.

$$M_n = M_p - \left( M_p - 0.7 F_y W_{ex} \right) \left( \frac{\lambda_r - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad (9.9)$$

$$M_n = 326.53 - \left( 326.53 - 0.7(355)836.4(10)^{-3} \right) \times \dots$$

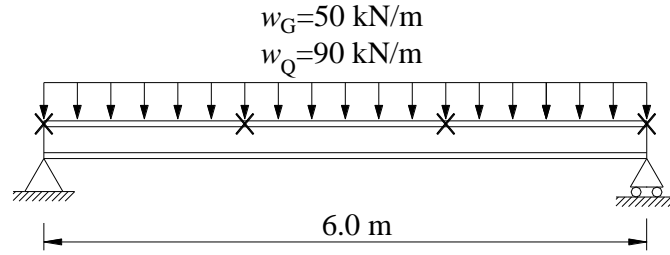
$$\dots \times \left( \frac{10.4 - 9.02}{23.73 - 9.02} \right) = 315.39 \text{ kNm} \leq M_p = 326.53 \text{ kNm} \checkmark$$

*Yönetmelik* 9.3 uyarınca, en küçük eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , yerel burkulma sınır durumunda elde edildiğinden, dayanım hesabında bu sınır durum belirleyicidir.

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(30) + 1.6(70) = 148 \text{ kN}$ $M_u = \frac{P_u L}{4} = \frac{148(5)}{4} = 185 \text{ kNm}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 30 + 70 = 100 \text{ kN}$ $M_a = \frac{P_a L}{4} = \frac{100(5)}{4} = 125 \text{ kNm}$
<b>b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(315.39) = 284 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 315.39 / 1.67 = 189 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{185}{284} = 0.65 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{125}{189} = 0.66 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.5

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen yapma enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında kuvvetli eksenine dik olmak üzere, sırasıyla,  $w_G = 50 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 90 \text{ kN/m}$  üniform yayılı yük etkisindedir. Basınç etkisindeki kiriş başlığı mesnetlerde ve açıklıklığının 1/3 noktalarında yanal olarak desteklenmiştir.

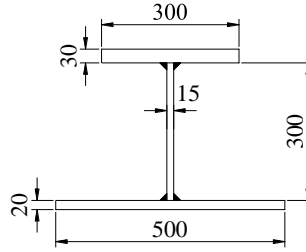


- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit



Kaynaklı yapma enkesit

$W_{exc} = 2893 \text{ cm}^3$	$W_{ext} = 3244 \text{ cm}^3$	$W_{px} = 3406 \text{ cm}^3$	$I_y = 27592 \text{ cm}^4$
$d = 350 \text{ mm}$	$h_p = 367 \text{ mm}$	$h_c = 310 \text{ mm}$	$i_y = 108.35 \text{ mm}$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 9.13.2 uyarınca,

$$I_{yc} = \frac{(30)(300)^3}{12} = 67500000 \text{ mm}^4$$



$$0.1 \leq \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.9 \quad (9.82)$$

$$0.1 \leq \frac{6750}{27592} = 0.245 \leq 0.9 \checkmark$$

*Yönetmelik 5.4* uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 11)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2(30)} = 5.0 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 16)

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_p = \frac{\frac{h_c}{h_p} \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2} \leq \lambda_r$$

$$\lambda = \frac{310}{15} = 20.67 \leq \lambda_p = \frac{\frac{310}{367} \sqrt{\frac{200000}{355}}}{\left(0.54 \frac{1209}{1027} - 0.09\right)^2} = 67.34 \leq \lambda_r = 5.70 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 135.29 \checkmark$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit parçaları *kompakt* enkesit parçası olarak değerlendirilir.

Bu durumda, kuvvetli asal eksenini etrafında eğilme etkisindeki, tek simetri eksenli yapma I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik 9.4* uyarınca belirlenecektir.

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kiriş başlığı mesnet noktaları ve açıklığın 1/3 noktalarında yanal olarak desteklendiğinden,  $L_b = 2000\text{mm}$  olarak belirlenir.

$$i_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}\right)}} = \frac{300}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{(310 \times 15)}{(300 \times 30)}\right)}} = 83.10 \text{ mm} \quad (9.20)$$

$$L_p = 1.1 i_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.1 (83.10) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 2169.67 \text{ mm} \geq L_b = 2000 \text{ mm} \quad (9.18)$$

olduğundan, *Yönetmelik 9.4.1(a)* uyarınca, yanal burulmalı burkulma sınır durumunun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Basınç başlığı yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı

Başlık parçaları *kompakt* olarak sınıflandırıldığından, *Yönetmelik* 9.4.2(a) uyarınca, bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Basınç başlığı akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$\frac{I_{yc}}{I_y} = \frac{6750}{27592} = 0.245 > 0.23$$

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w} = \frac{310}{15} = 20.67 \leq \lambda_{pw} = \frac{310 \sqrt{200000}}{367 \sqrt{\frac{355}{\left(0.54 \frac{1209}{1027} - 0.09\right)^2}}} = 67.34$$

olduğundan, *gövde plastikleşme katsayısı*,  $R_{pc}$ , gövde narinliğine bağlı olarak Denk(9.16a) ile belirlenir.

$$R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}} = \frac{F_y W_{px}}{F_y W_{exc}} = \frac{(355)3406}{(355)2893} = 1.177 \quad (9.16a)$$

*Yönetmelik* 9.4.1 uyarınca,

$$M_p = F_y W_{px} \leq 1.6 F_y W_{exc}$$

$$M_p = 355(3406)10^{-3} = 1209 \text{ kNm} \leq 1.6(355)2893(10)^{-3} = 1643 \text{ kNm} \checkmark \quad (9.17)$$

olduğundan, Denk.(9.17) ile verilen koşul sağlanmaktadır. *Yönetmelik* 9.4.3 uyarınca, basınç başlığı akma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = R_{pc} M_{yc} = R_{pc} F_y W_{exc} = 1.177(355)2893(10)^{-3} = 1209 \text{ kNm} \quad (9.23)$$

Çekme başlığı akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

*Yönetmelik* 9.4.4(a) uyarınca,

$$W_{ext} = 3244(10)^3 \text{ mm}^3 \geq W_{exc} = 2893(10)^3 \text{ mm}^3$$

olduğundan bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Bu durumda, *Yönetmelik* 9.4 uyarınca, basınç başlığı akma sınır durumu için

$$M_n = 1209 \text{ kNm} \leq M_p = 1209 \text{ kNm}$$

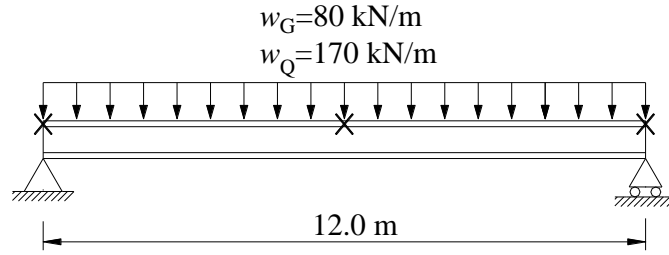
olduğundan karakteristik eğilme momenti dayanımını bu sınır durum belirler.

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(50) + 1.6(90) = 204 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{204(6)^2}{8} = 918 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 50 + 90 = 140 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{140(6)^2}{8} = 630 \text{ kNm}$
<b>b.</b> Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü

$M_d = \phi_b M_n$ $M_d = 0.90(1209) = 1088.10 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b$ $M_g = 1209 / 1.67 = 723.95 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{918}{1088.10} = 0.84 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{630}{723.95} = 0.87 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.6

Aşağıdaki şekilde taşıyıcı sistem şeması ve yükleme durumu verilen yapma enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında kuvvetli eksenine dik olmak üzere, sırasıyla,  $w_G = 80 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 170 \text{ kN/m}$  üniform yayılı yük etkisindedir. Basınç etkisindeki kiriş başlığı mesnetlerde ve açıklık ortasında yanal olarak desteklenmiştir.

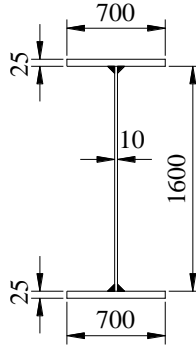


- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit



#### Kaynaklı yapma enkesit

$d = 1650 \text{ mm}$	$h = 1600 \text{ mm}$	$t_w = 10 \text{ mm}$	$b_{fc} = 700 \text{ mm}$
$t_{fc} = 25 \text{ mm}$	$b_{ft} = 700 \text{ mm}$	$t_{ft} = 25 \text{ mm}$	
$W_{exc} = 32146 \text{ cm}^3$	$W_{ext} = 32146 \text{ cm}^3$	$W_{px} = 34837 \text{ cm}^3$	

#### Çözüm

a. Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 5.4* uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{1600}{10} = 160 > \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.25$$

$$\lambda = \frac{1600}{10} = 160 > \lambda_r = 5.70 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 135.29$$

Enkesitin gövde parçasının genişlik/kalınlık oranı Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aştığından, gövde parçası *narin* olarak değerlendirilir.

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 11)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{700}{2(25)} = 14 > \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

Tablo 5.1B (a) ve (b) ile,  $k_c = 4 / \sqrt{h/t_w} = 4 / \sqrt{1600/10} = 0.316 < 0.35$  ve gövde parçası narin olduğundan  $k_c = 0.35$  ve  $F_L = 0.7F_y$  alınarak,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{700}{2(25)} = 14 \leq \lambda_r = 0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}} = 0.95 \sqrt{\frac{0.35(200000)}{0.7(355)}} = 15.94$$

Enkesitin başlık parçasının genişlik/kalınlık oranı Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  ve  $\lambda_r$  sınır değeri arasında kaldığından başlık parçası *kompakt olmayan* enkesit parçası olarak sınıflandırılır.

Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanın başlık elemanı *kompakt olmayan*, gövde elemanı ise *narin* sınıfında olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik 9.5* uyarınca değerlendirilerek, hesaplanan değerlerin küçüğü olarak alınacaktır.

Enkesitin gövde parçası narin olarak sınıflandırıldığından ve kiriş gövdesinde rijitlik levhalarının kullanılmadığı varsayımıyla *Yönetmelik 9.13.2* uyarınca,

$$(h / t_w) = 160 \leq 260 \checkmark$$

$$A_g = ht_w = (1600)(10) = 16000 \text{ mm}^2 \leq 10b_{fc}t_{fc} = 10(700)(25) = 175000 \text{ mm}^2 \checkmark$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kiriş başlığı mesnet noktaları ve açıklık orta noktasında yanal olarak desteklendiğinden,  $L_b = 6000$  mm olarak belirlenir.

*Yönetmelik 9.5.1* uyarınca,

$$i_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{1}{6} \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \right)}} = \frac{700}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{1}{6} \frac{(1600 \times 10)}{(700 \times 25)} \right)}} = 188 \text{ mm} \quad (9.20)$$

$$L_b = 6000 \text{ mm} > L_p = 1.1i_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.1(188) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 4908.53 \text{ mm} \quad (9.30a)$$

$$L_b = 6000 \text{ mm} \leq L_r = \pi i_t \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} = \pi(188) \sqrt{\frac{200000}{0.7(355)}} = 16755.58 \text{ mm} \quad (9.30b)$$

$$L_p = 4908.53 \text{ mm} < L_b = 6000 \text{ mm} \leq L_r = 16755.58 \text{ mm}$$

olduğundan, yanal burulmalı burkulma sınır durumu *Yönetmelik* 9.5.1(b) uyarınca gözönüne alınır.

#### Moment düzeltme katsayısı, $C_b$

Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki kiriş uzunluğu boyunca en büyük eğilme momenti  $M_{\text{maks}}=1.0$  olarak alındığında,  $M_A=0.438$ ,  $M_B=0.751$   $M_C=0.938$  olarak elde edilir. *Yönetmelik* 9.1(c) uyarınca,

$$C_b = \frac{12.5M_{\text{maks}}}{2.5M_{\text{maks}} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (9.1)$$

$$C_b = \frac{12.5(1.00)}{2.5(1.00) + 3(0.438) + 4(0.751) + 3(0.938)} = 1.30$$

$$F_{cr} = C_b \left[ F_y - (0.3F_y) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y \quad (9.28)$$

$$F_{cr} = 1.30 \left[ 355 - 0.3(355) \left( \frac{6000 - 4909}{16756 - 4909} \right) \right] = 448 \text{ N/mm}^2 \leq 355 \text{ N/mm}^2 \quad \star$$

olduğundan  $F_{cr} = 355 \text{ N/mm}^2$  olarak alınır.

#### Eğilme dayanımı azaltma katsayısı, $R_{pg}$

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} = \frac{1600(10)}{700(25)} = 0.91 \leq 1.0 \quad \checkmark \quad (9.32)$$

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w} \left( \frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0 \quad \checkmark \quad (9.31)$$

$$R_{pg} = 1 - \frac{0.91}{1200 + 300(0.91)} \left( \frac{1600}{10} - 5.7 \sqrt{\frac{200000}{355}} \right) = 0.985 \leq 1.0 \quad \checkmark$$

Basınç başlığının yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_p = R_{pg} F_{cr} W_{exc} = 0.985(355)32146(10)^{-3} = 11241 \text{ kNm} \quad (9.27)$$

#### Basınç başlığı yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı

Başlık parçası *kompakt olmayan* olarak sınıflandırıldığından, *Yönetmelik* 9.5.2(b) uyarınca,

$$F_{cr} = \left[ F_y - (0.3F_y) \left( \frac{\lambda_r - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (9.34)$$

$$F_{cr} = \left[ 355 - 0.3(355) \left( \frac{14 - 9.02}{15.94 - 9.02} \right) \right] = 268.34 \text{ N/mm}^2$$

Basınç başlığının yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = R_{pg} F_{cr} W_{exc} = 0.985(268.34)32146(10)^{-3} = 8497 \text{ kNm} \quad (9.33)$$

Basınç başlığı akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = R_{pg} F_y W_{exc} = 0.985(355)32146(10)^{-3} = 11241 \text{ kNm} \quad (9.37)$$

Çekme başlığı akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

*Yönetmelik 9.5.4(a)* uyarınca,

$$W_{ext} \geq W_{exc}$$

olduğundan bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Bu durumda, *Yönetmelik 9.5* uyarınca, en küçük karakteristik eğilme momenti dayanımını basınç başlığı yerel burkulma sınır durumu belirlediğinden,

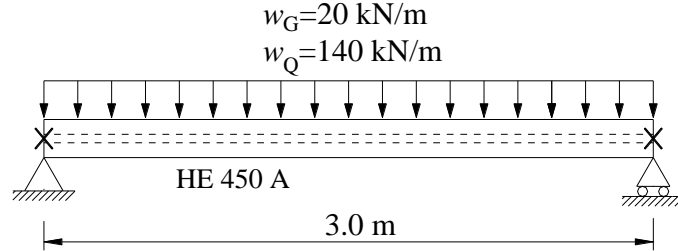
$$M_n = 8497 \text{ kNm}$$

olarak alınır.

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(80) + 1.6(170) = 368 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{368(12)^2}{8} = 6624 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 80 + 170 = 250 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{250(12)^2}{8} = 4500 \text{ kNm}$
<b>b.</b> Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(8497) = 7647 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 8497 / 1.67 = 5088 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{6624}{7647} = 0.87 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{4500}{5088} = 0.88 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.7

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen HE 450 A enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında zayıf eksenine dik olmak üzere, sırasıyla,  $w_G = 20 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 140 \text{ kN/m}$  üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş enkesiti mesnetlerde yanal olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit

HE 450 A

$$W_{ey} = 631 \text{ cm}^3 \quad W_{py} = 965.5 \text{ cm}^3 \quad b_f = 300 \text{ mm} \quad t_f = 21 \text{ mm}$$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

#### Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 13)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2(21)} = 7.14 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, başlık parçaları *kompakt* olarak sınıflandırılır.

Zayıf asal eksenini etrafında eğilme etkisindeki, I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik 9.6* uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = W_{py} F_y \leq 1.6 W_{ey} F_y \quad (9.39)$$

$$M_n = 965.5(355)10^{-3} = 342.75 \text{ kNm} \leq 1.6(631)355(10)^{-3} = 358.41 \text{ kNm} \checkmark$$

Yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Enkesitin başlık parçaları *kompakt* olarak sınıflandırıldığından, *Yönetmelik 9.6.2(a)* uyarınca, bu sınır durumunun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Bu durumda, karakteristik eğilme momenti dayanımı akma sınır durumu ile belirlenen değere eşit olur.

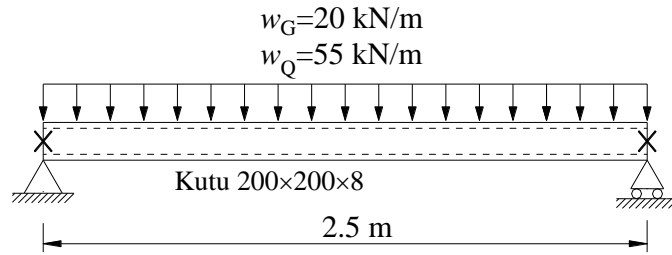
$$M_n = M_p = 342.75 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(20) + 1.6(140) = 248 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{248(3)^2}{8} = 279 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 20 + 140 = 160 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{160(3)^2}{8} = 180 \text{ kNm}$
<b>b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>
$M_d = \phi_b M_n$ $M_d = 0.90(342.75) = 308.48 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b$ $M_g = 342.75 / 1.67 = 205.24 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{279}{308.48} = 0.90 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{180}{205.24} = 0.88 \leq 1.0 \checkmark$



### Örnek 9.8

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen Kutu 200×200×8 enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 20 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 55 \text{ kN/m}$  üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş enkesiti mesnetlerde yanal olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1B})$$

#### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(8.0) = 7.44 \text{ mm}$  için

Kutu 200×200×8

$$W_e = 341 \text{ cm}^3 \quad W_p = 400 \text{ cm}^3$$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 17)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{200 - 3(0.93 \times 8.0)}{(0.93 \times 8.0)} = 23.88 \leq \lambda_p = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.12 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 30.20$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 19)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{200 - 3(0.93 \times 8.0)}{(0.93 \times 8.0)} = 23.88 \leq \lambda_p = 2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.42 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 65.26$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları *Yönetmelik* Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit parçaları *kompakt* olarak değerlendirilir.

Eğilme etkisindeki, kutu enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.7 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = F_y W_p = 275(400)10^{-3} = 110.0 \text{ kNm} \quad (9.43)$$

Kutu 200×200×8 enkesitli eğilme elemanının enkesit parçaları *kompakt* olarak sınıflandırıldığından, elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesinde, *Yönetmelik* 9.7.2(a) ve 9.7.3(a) uyarınca başlık ve gövde yerel burkulma sınır durumlarının gözönüne alınmasına gerek yoktur.

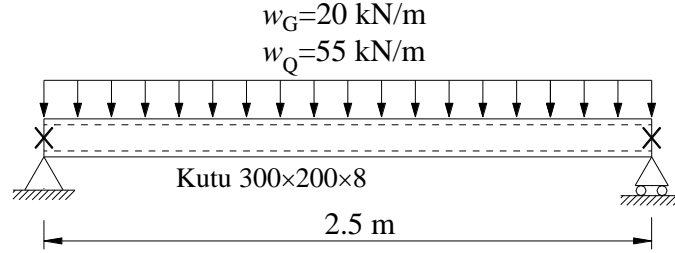
Bu durumda, karakteristik eğilme momenti dayanımı akma sınır durumu ile belirlenen değere eşit olur.

$$M_n = M_p = 110.0 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(20) + 1.6(55) = 112 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{112(2.5)^2}{8} = 87.5 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 20 + 55 = 75 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{75(2.5)^2}{8} = 58.60 \text{ kNm}$
<b>b.</b> Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n$ $M_d = 0.90(110.0) = 99.0 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b$ $M_g = 110.0 / 1.67 = 65.87 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{87.50}{99.0} = 0.88 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{58.60}{65.87} = 0.89 < 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.9

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen Kutu 300×200×8 enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında zayıf eksenine dik doğrultuda olmak üzere sırasıyla,  $w_G = 20$  kN/m ve  $w_Q = 55$  kN/m üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş enkesiti mesnetlerde yanall olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 235 \quad F_y = 235 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 360 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1B})$$

#### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(8.0) = 7.44$  mm için

Kutu 300×200×8

$$W_{ey} = 478.8 \text{ cm}^3 \quad W_{py} = 543.2 \text{ cm}^3$$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 17)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{300 - 3(0.93 \times 8.0)}{(0.93 \times 8.0)} = 37.32 > \lambda_p = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.12 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 32.67$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{300 - 3(0.93 \times 8.0)}{(0.93 \times 8.0)} = 37.32 \leq \lambda_r = 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.40 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 40.84$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 19)

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{200 - 3(0.93 \times 8.0)}{(0.93 \times 8.0)} = 23.88 \leq \lambda_p = 2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.42 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 70.60$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  ve  $\lambda_r$  sınır değerleri arasında kaldığından, başlık parçaları *kompakt olmayan* enkesit parçası olarak sınıflandırılır.

Enkesitin gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, gövde parçaları *kompakt* enkesit parçası olarak değerlendirilir.

Eğilme etkisindeki kutu enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik 9.7* uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = F_y W_{py} = 235(543.2)10^{-3} = 127.65 \text{ kNm} \quad (9.43)$$

Başlık yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Enkesitin başlığı *kompakt olmayan* enkesit parçası olarak sınıflandırıldığından, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , bu sınır durum için *Yönetmelik 9.7.2(b)* uyarınca belirlenecektir.

$$M_n = M_p - (M_p - F_y W_{ey}) \left( 3.57 \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4.0 \right) \leq M_p \quad (9.44)$$

$$M_n = 127.65 - (127.65 - (235)478.8(10)^{-3}) \left( 3.57(37.32) \sqrt{\frac{235}{200000}} - 4.0 \right)$$

$$M_n = 119.07 \text{ kNm} \leq M_p = 127.65 \text{ kNm} \checkmark$$

Gövde yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kutu enkesitli eğilme elemanının gövde parçaları *kompakt* olarak sınıflandırıldığından, elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesinde, *Yönetmelik 9.7.3(a)* uyarınca gövde yerel burkulma sınır durumlarının gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Bu durumda, *Yönetmelik 9.7* uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımı başlık yerel burkulma sınır durumu ile belirlenen değere eşit olur.

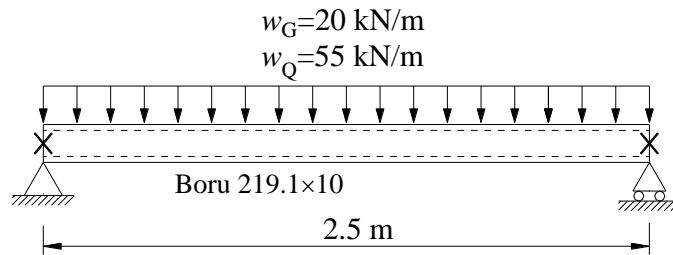
$$M_n = 119.07 \text{ kNm} \leq M_p = 127.65 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	

$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(20) + 1.6(55) = 112 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{112(2.5)^2}{8} = 87.5 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 20 + 55 = 75 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{75(2.5)^2}{8} = 58.60 \text{ kNm}$
<b>b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(119.07) = 107.16 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 119.07 / 1.67 = 71.30 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{87.50}{107.16} = 0.82 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{58.60}{71.30} = 0.82 < 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.10

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen Boru 219.1×10 enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 20 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 55 \text{ kN/m}$  üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş enkesiti mesnetlerde yanal olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1B})$$

### Enkesit

TS EN10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(10.0) = 9.3 \text{ mm}$  için

Boru 219.1×10

$W_p = 410 \text{ cm}^3$

### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 9.8 uyarınca,

### Boru enkesitin çap/ kalınlık oranı kontrolü

$$\frac{D}{t} = \frac{219.1}{(0.93 \times 10)} = 25.56 \leq 0.45 \frac{E}{F_y} = 0.45 \frac{200000}{275} = 327.27 \checkmark$$

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

### Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

(Tablo 5.1B, Durum 20)

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{219.1}{(0.93 \times 10)} = 25.56 \leq \lambda_p = 0.07 \frac{E}{F_y} = 0.07 \frac{200000}{275} = 50.91$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin çap/kalınlık oranı Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit *kompakt* olarak değerlendirilir.

Eğilme etkisindeki, boru enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , Yönetmelik 9.8 uyarınca belirlenecektir.

### Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, $M_n$

$$M_n = M_p = F_y W_p = 275(410)10^{-3} = 112.75 \text{ kNm} \quad (9.43)$$

Enkesit *kompakt* olarak sınıflandırıldığından, elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesinde, Yönetmelik 9.8.2(a) uyarınca yerel burkulma sınır durumunun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

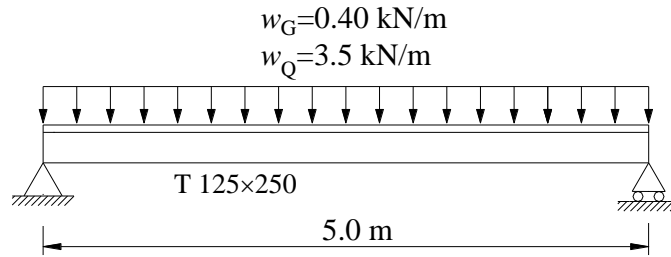
Bu durumda, karakteristik eğilme momenti dayanımı akma sınır durumu ile belirlenen değere eşit olur.

$$M_n = M_p = 112.75 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(20) + 1.6(55) = 112 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{112(2.5)^2}{8} = 87.5 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 20 + 55 = 75 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{75(2.5)^2}{8} = 58.60 \text{ kNm}$
<b>b.</b> Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n$ $M_d = 0.90(112.75) = 101.47 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b$ $M_g = 112.75 / 1.67 = 67.51 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{87.50}{101.47} = 0.86 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{58.60}{67.51} = 0.87 < 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.11

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen T 125×250 enkesitli basit kiriş, simetri düzlemi içinde ve gövde parçasının serbest ucu çekme etkisinde olacak şekilde, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 0.40$  kN/m ve  $w_Q = 3.5$  kN/m üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş başlığı açıklıkta yanal burulmalı burkulmaya karşı sürekli olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355$  N/mm<sup>2</sup>  $F_u = 510$  N/mm<sup>2</sup> (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

T 125×250

$W_{ex} = 39.6$  cm<sup>3</sup>  $W_{px} = 74.3$  cm<sup>3</sup>  $I_y = 1824$  cm<sup>4</sup>  $J = 27.9$  cm<sup>4</sup>  $i_y = 63.2$  mm

$d = 125$  mm  $b_f = 250$  mm  $t_f = 14$  mm  $t_w = 9$  mm

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

#### Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{250}{2(14)} = 8.929 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık parçasının genişlik/kalınlık oranı Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, başlık parçası *kompakt* olarak değerlendirilir.

Simetri düzlemi içindeki yükleme durumu ile x-ekseni etrafında eğilme etkisindeki, tek simetri eksenli T 125×250 enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik 9.9* uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Akma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik 9.9.1* uyarınca,

$$M_n = M_p \quad (9.52)$$

T-enkesitin gövdesi çekme etkisinde olduğundan *Yönetmelik 9.9.1(a)* uyarınca,

$$M_p = F_y W_{px} \leq 1.6 M_y = 1.6 (F_y W_{ex}) \quad (9.53a)$$

$$M_p = F_y W_{px} = 355(74.3)10^{-3} = 26.38 \text{ kNm}$$

$$1.6 M_y = 1.6 (F_y W_{ex}) = 1.6(355)(39.6)(10)^{-3} = 22.49 \text{ kNm}$$

$$M_p = 26.38 \text{ kNm} > 1.6 M_y = 22.49 \text{ kNm}$$

olduğundan, bu sınır durum için karakteristik eğilme momenti dayanımı,

$$M_n = 22.49 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kiriş başlığı açıklıkta yanal burulmalı burkulmaya karşı sürekli olarak desteklendiğinden, diğer bir deyişle,

$L_b \leq L_p$  olduğundan, *Yönetmelik 9.9.2(a)* uyarınca, bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Başlığın yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kiriş başlık parçası *kompakt* olarak sınıflandırıldığından, *Yönetmelik 9.9.3(a)* uyarınca, bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Gövdenin yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kiriş gövde parçası çekme etkisinde olduğundan, *Yönetmelik 9.9.4(a)* uyarınca, bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Bu durumda, *Yönetmelik 9.9* uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımı, akma sınır durumu ile belirlenen değere eşit olur.

$$M_n = 22.49 \text{ kNm}$$

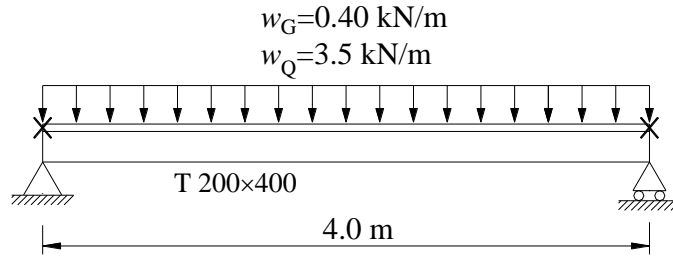
YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	



$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(0.40) + 1.6(3.5) = 6.08 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{6.08(5)^2}{8} = 19 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 0.40 + 3.50 = 3.90 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{3.90(5)^2}{8} = 12.19 \text{ kNm}$
<b>b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(22.49) = 20.24 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 22.49 / 1.67 = 13.47 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{19}{20.24} = 0.94 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{12.19}{13.47} = 0.91 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.12

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen T 200×400 enkesitli basit kiriş, simetri düzlemi içinde ve gövde parçasının serbest ucu çekme etkisinde olacak şekilde, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 0.40 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 3.5 \text{ kN/m}$  üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş başlığı mesnetlerde yanıl burulmalı burkulmaya karşı desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit

T 200×400

$$W_{ext} = 148 \text{ cm}^3 \quad W_{exc} = 772 \text{ cm}^3 \quad W_{px} = 276 \text{ cm}^3 \quad I_y = 11210 \text{ cm}^4 \quad J = 151 \text{ cm}^4$$

$$i_y = 101 \text{ mm} \quad d = 200 \text{ mm} \quad b_f = 400 \text{ mm} \quad t_f = 21 \text{ mm} \quad t_w = 13 \text{ mm}$$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{400}{2(21)} = 9.52 > \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{400}{2(21)} = 9.52 < \lambda_r = 1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.00 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 23.73$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık parçasının genişlik/kalınlık oranı *Yönetmelik* Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değeri ile  $\lambda_r$  sınır değeri arasında kaldığından, başlık parçası *kompakt olmayan* enkesit parçası olarak sınıflandırılır.

Simetri düzlemi içindeki yükleme durumu ile x-ekseni etrafında eğilme etkisindeki, tek simetri eksenli T 200×400 enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.9 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p \quad (9.52)$$

T-enkesitin gövdesi çekme etkisinde olduğundan *Yönetmelik* 9.9.1(a) uyarınca,

$$M_p = F_y W_{px} \leq 1.6 M_y = 1.6 (F_y W_{ex}) \quad (9.53a)$$

$$M_p = F_y W_{px} = 355 (276) 10^{-3} = 97.98 \text{ kNm}$$

$$1.6 M_y = 1.6 (F_y W_{ex}) = 1.6 (355) (148) 10^{-3} = 84.06 \text{ kNm}$$

$$M_p = 97.98 \text{ kNm} \leq 1.6 M_y = 84.06 \text{ kNm} \quad \times$$

olduğundan, bu sınır durum için karakteristik eğilme momenti dayanımı,

$$M_n = 84.06 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kiriş başlığı mesnet noktalarından yanal olarak desteklendiğinden,  $L_b=4000$  mm dir.

$$L_b = 4000 \text{ mm} < L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 (101) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 4219 \text{ mm}$$

$$(9.56a)$$

olduğundan, *Yönetmelik* 9.9.2(a) uyarınca, bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Başlığın yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

T-enkesitin başlığı *kompakt olmayan* enkesit parçası olarak sınıflandırıldığından, yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.9.3(a)(2) uyarınca,

$$M_n = M_p - \left( M_p - 0.7 F_y W_{exc} \right) \left( \frac{\lambda_r - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \leq 1.6 M_y \quad (9.61)$$

$$M_n = 97.98 - \left(97.98 - 0.7(355)772(10)^{-3}\right) \times \dots$$

$$\dots \times \left(\frac{9.52 - 9.02}{23.73 - 9.02}\right) = 94.79 \text{ kNm} \leq 1.6M_y = 84.06 \text{ kNm} \times$$

olduğundan, bu sınır durum için karakteristik eğilme momenti dayanımı,

$$M_n = 84.06 \text{ kNm}$$

Gövdenin yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

T-enkesitin gövde parçası çekme etkisinde olduğundan, *Yönetmelik 9.9.4(a)* uyarınca, bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

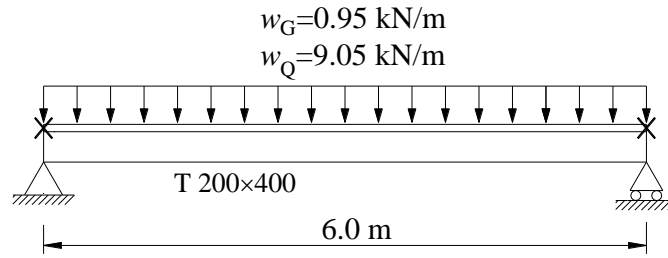
Bu durumda, *Yönetmelik 9.9* uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımını akma sınır durumu belirler.

$$M_n = 84.06 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(0.95) + 1.6(20) = 33.14 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{33.14(4)^2}{8} = 66.28 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 0.95 + 20 = 20.95 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{20.95(4)^2}{8} = 41.90 \text{ kNm}$
<b>b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(84.06) = 75.65 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 84.06 / 1.67 = 50.34 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{66.28}{75.65} = 0.88 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{41.90}{50.34} = 0.83 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.13

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen T 200×400 enkesitli basit kiriş, simetri düzlemi içinde ve gövde parçasının serbest ucu çekme etkisinde olacak şekilde, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 0.95 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 9.05 \text{ kN/m}$  üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş başlığı mesnetlerde yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

T 200×400

$W_{ext} = 148 \text{ cm}^3$   $W_{exc} = 772 \text{ cm}^3$   $W_{px} = 276 \text{ cm}^3$   $I_y = 11210 \text{ cm}^4$

$J = 151 \text{ cm}^4$   $d = 200 \text{ mm}$   $b_f = 400 \text{ mm}$   $t_f = 21 \text{ mm}$

$t_w = 13 \text{ mm}$   $i_y = 101 \text{ mm}$   $y_g = 32.1 \text{ mm}$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 5.4* uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{400}{2(21)} = 9.52 > \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$
$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{400}{2(21)} = 9.52 < \lambda_r = 1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.00 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 23.73$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık parçasının genişlik/kalınlık oranı *Yönetmelik* Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değeri ile  $\lambda_r$  sınır değeri arasında kaldığından, başlık parçası *kompakt olmayan* enkesit parçası olarak sınıflandırılır.

Simetri düzlemi içindeki yükleme durumu ile x-ekseni etrafında eğilme etkisindeki, tek simetri eksenli T 200×400 enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik 9.9* uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

T-enkesitin gövdesi çekme etkisinde olduğundan *Yönetmelik 9.9.1(a)* uyarınca,

$$M_p = F_y W_{px} \leq 1.6 M_y = 1.6 (F_y W_{ex}) \quad (9.53a)$$

$$M_p = F_y W_{px} = 355(276)10^{-3} = 97.98 \text{ kNm}$$

$$M_y = F_y W_{ex} = 355(148)10^{-3} = 52.54 \text{ kNm}$$

$$M_p = 97.98 \text{ kNm} \leq 1.6 M_y = 1.6(52.54) = 84.06 \text{ kNm} \star$$

olduğundan, bu sınır durum için karakteristik eğilme momenti dayanımı,

$$M_n = 84.06 \text{ kNm} \quad (9.52)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kiriş başlığı mesnet noktalarından yanal olarak desteklendiğinden,  $L_b=6000$  mm dir.

$$L_b = 6000 \text{ mm} \geq L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(101) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 4219 \text{ mm} \quad (9.56a)$$

*Yönetmelik* Denk. (9.56b) ile,

$$L_r = 1.95 \left( \frac{E}{F_y} \right) \frac{\sqrt{I_y J}}{W_{exc}} \sqrt{1 + 2.36 \left( \frac{F_y}{E} \right) \frac{d W_{exc}}{J}} \quad (9.56b)$$

$$L_r = 1.95 \left( \frac{200000}{355} \right) \frac{\sqrt{11210(10)^4 151(10)^4}}{772(10)^3} \times \dots$$

$$\dots \times \sqrt{1 + 2.36 \left( \frac{355}{200000} \right) \frac{200(772)10^3}{151(10)^4}} = 22123 \text{ mm}$$

$L_p < L_b \leq L_r$  olduğundan, *Yönetmelik 9.9.2(a)* (2) ile,

$$M_y = \min [W_{exc} 0.7 F_y; W_{ext}]$$

$$M_y = \min [(772)0.7(355)10^{-3}; (148)(355)10^{-3}]$$

$$M_y = \min [191.84 \text{ kNm}; 52.54 \text{ kNm}] = 52.54 \text{ kNm}$$

$$M_n = \left[ M_p - (M_p - M_y) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \quad (9.54)$$

$$M_n = \left[ 97.98 - (97.98 - 52.54) \left( \frac{6000 - 4219}{22123 - 4219} \right) \right] = 93.42 \text{ kNm}$$

Başlığın yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

T-enkesitin başlığı *kompakt olmayan* enkesit parçası olarak sınıflandırıldığından, yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik 9.9.3(a)(2)* uyarınca,

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{exc}) \left( \frac{\lambda_r - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \leq 1.6 M_y \quad (9.61)$$

$$M_n = 97.98 - (97.98 - 0.7(355)772(10)^{-3}) \dots$$

$$\dots \times \left( \frac{9.52 - 9.02}{23.73 - 9.02} \right) = 94.79 \text{ kNm} \leq 1.6 M_y = 84.06 \text{ kNm} \times$$

olduğundan, bu sınır durum için karakteristik eğilme momenti dayanımı,

$$M_n = 84.06 \text{ kNm}$$

Gövdenin yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

T-enkesitin gövde parçası çekme etkisinde olduğundan, *Yönetmelik 9.9.4(a)* uyarınca, bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Bu durumda, *Yönetmelik 9.9* uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

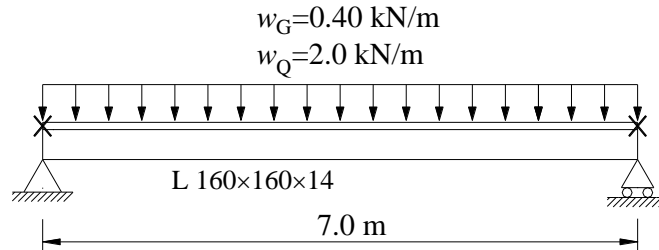
$$M_n = 84.06 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(0.95) + 1.6(9.05) = 15.62 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{15.62(6)^2}{8} = 70.29 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 0.95 + 9.05 = 10 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{10(6)^2}{8} = 45 \text{ kNm}$
<b>b.</b> Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(84.06) = 75.65 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 84.06 / 1.67 = 50.34 \text{ kNm}$

$\frac{M_u}{M_d} = \frac{70.29}{75.65} = 0.93 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{45}{50.34} = 0.89 \leq 1.0 \checkmark$
--	---

### Örnek 9.14

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen L 160×160×14 enkesitli basit kiriş, x-ekseni etrafında eğilme etkisinde olacak şekilde, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 0.40$  kN/m ve  $w_Q = 2$  kN/m üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş mesnetlerde yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklenmiştir. Korniyerin yükleme doğrultusuna paralel olan kolunun uç bölümü çekme etkisindedir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit

$$L 160 \times 160 \times 14$$

$$W_{ex} = 89.50 \text{ cm}^3 \quad W_{ew} = 145.1 \text{ cm}^3 \quad W_{ez} = 67.65 \text{ cm}^3$$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

L 160×160×14 enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.10 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Eşit kollu korniyer x-ekseni etrafında eğilme etkisinde olduğundan *Yönetmelik* 9.10.2(2) uyarınca,

$$M_y = 0.80F_y W_{ex} = 0.80(275)(89.50)10^{-3} = 19.69 \text{ kNm}$$

$$M_n = 1.5M_y = 1.5(19.69) = 29.54 \text{ kNm} \quad (9.65)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Eşit kollu tek korniyer x-geometrik ekseninde eğilme etkisinde olduğundan elastik yanal burulmalı burkulma momenti,  $M_{cr}$ , *Yönetmelik* 9.10.2(2) uyarınca belirlenir. Tek korniyer açıklıkta yanal olarak desteklenmediğinden ve korniyerin eğilme düzlemine paralel doğrultudaki kolunun uç bölümü çekme etkisinde olduğundan *Yönetmelik* 9.10.2(2)(i) uygulanarak,

$$M_{cr} = \frac{0.58Eb^4tC_b}{L_b^2} \left( \sqrt{1 + 0.88 \left( \frac{L_b t}{b^2} \right)^2} + 1 \right) \quad (9.69b)$$

$$M_{cr} = \frac{0.58(200000)160^4(14)1.14}{7000^2} \left( \sqrt{1 + 0.88 \left( \frac{7000(14)}{160^2} \right)^2} + 1 \right) 10^{-6} = 117.06 \text{ kNm}$$

Bu durumda, akma momenti,  $M_y$ , ilgili geometrik eksene göre belirlenen akma momentinin 0.80 katı olarak alınarak,

$$\frac{M_y}{M_{cr}} = \frac{19.69}{117.06} = 0.168 \leq 1.0$$

oldüğünden, *Yönetmelik* 9.10.2(a) ile, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = \left[ 1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{M_y}{M_{cr}}} \right] M_y \leq 1.5M_y \quad (9.66)$$

$$M_n = \left[ 1.92 - 1.17 \sqrt{0.168} \right] (19.69) = 28.36 \text{ kNm} \leq 1.5(19.69) = 29.53 \text{ kNm} \checkmark$$

$$M_n = 28.36 \text{ kNm}$$

Korniyer kolunun yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Korniyerin eğilme düzlemine paralel doğrultudaki kolunun uç bölümü çekme etkisinde olduğundan, bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur. Bu durumda, *Yönetmelik* 9.10 uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımını yanal burulmalı burkulma sınır durumu belirler.

$$M_n = 28.36 \text{ kNm}$$

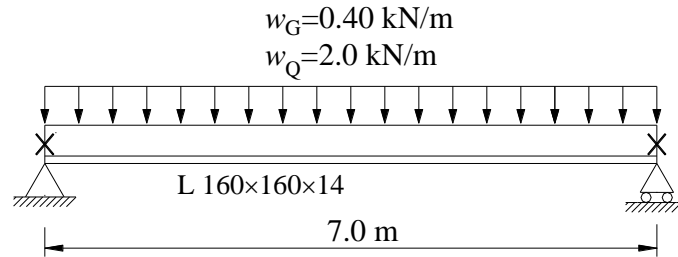
YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	



$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(0.40) + 1.6(2.0) = 3.68 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{3.68(7)^2}{8} = 22.54 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 0.40 + 2.0 = 2.40 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{1.40(7)^2}{8} = 14.70 \text{ kNm}$
<b>b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(28.36) = 25.52 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 28.36 / 1.67 = 16.98 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{22.54}{25.52} = 0.88 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{14.70}{16.98} = 0.87 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.15

Aşağıdaki şekilde yükleme durumu verilen L 160×160×14 enkesitli basit kiriş, x-ekseni etrafında eğilme etkisinde olacak şekilde, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 0.40 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 2 \text{ kN/m}$  uniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş mesnetlerde yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklenmiştir. Korniyerin yükleme doğrultusuna paralel olan kolunun uç bölümü basınç etkisindedir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit

$$\begin{array}{c} \hline L 160 \times 160 \times 14 \\ \hline W_{ex} = 89.50 \text{ cm}^3 \\ \hline \end{array}$$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 9.10 uyarınca,

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Eşit kollu korniyer x-ekseni etrafında eğilme etkisinde olduğundan, *Yönetmelik* 9.10.2(2) uyarınca,

$$M_y = 0.80F_y W_{ex} = 0.80(275)(89.50)10^{-3} = 19.69 \text{ kNm}$$

Karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = 1.5M_y = 1.5(19.69) = 29.54 \text{ kNm} \quad (9.65)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Tek korniyer açıklıkta yanal olarak desteklenmediğinden ve korniyerin eğilme düzlemine paralel olan kolunun uç bölümü basınç etkisinde olduğundan *Yönetmelik* 9.10.2(2)(i) uygulanarak,

$$M_{cr} = \frac{0.58Eb^4tC_b}{L_b^2} \left( \sqrt{1 + 0.88 \left( \frac{L_b t}{b^2} \right)^2} - 1 \right) \quad (9.69a)$$

$$M_{cr} = \frac{0.58(200000)160^4(14)1.14}{7000^2} \left( \sqrt{1 + 0.88 \left( \frac{7000(14)}{160^2} \right)^2} - 1 \right) 10^{-6} = 92.31 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_y}{M_{cr}} = \frac{19.69}{92.31} = 0.213 \leq 1.0$$

oldüğundan, *Yönetmelik* 9.10.2(a) ile, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = \left[ 1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{M_y}{M_{cr}}} \right] M_y \leq 1.5M_y \quad (9.66)$$

$$M_n = \left[ 1.92 - 1.17 \sqrt{0.213} \right] (19.69) = 27.16 \text{ kNm} \leq 1.5(19.69) = 29.54 \text{ kNm} \checkmark$$

$$M_n = 27.16 \text{ kNm}$$

Korniyer kolunun yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Korniyer kolunun korniyerin eğilme düzlemine paralel olan kolunun uç bölümü basınç etkisinde olduğundan, *Yönetmelik* 5.4 uyarınca,

Korniyer kolu (Tablo 5.1B, Durum 12)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{160}{14} = 11.43 \leq \lambda_p = 0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.54 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 14.56$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre korniyer kolunun genişlik/kalınlık oranı Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit *kompakt* olarak sınıflandırılır. Bu durumda, *Yönetmelik* 9.10.3(a) uyarınca, bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

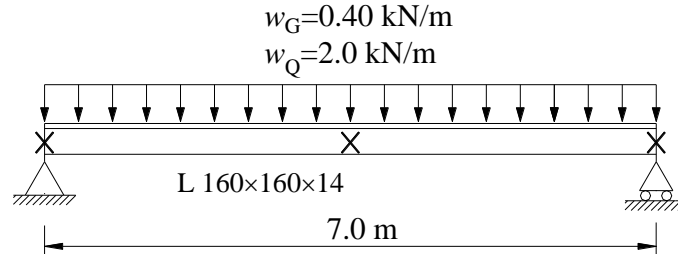
*Yönetmelik* 9.10 uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımını yanal burulmalı burkulma sınır durumu belirler.

$$M_n = 27.16 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(0.40) + 1.6(2.0) = 3.68 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{3.68(7)^2}{8} = 22.54 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 0.40 + 2.0 = 2.40 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{1.40(7)^2}{8} = 14.70 \text{ kNm}$
<b>b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(27.16) = 24.45 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 27.16 / 1.67 = 16.26 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{22.54}{24.45} = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{14.70}{16.26} = 0.90 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.16

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen L 160×160×14 enkesitli basit kiriş, x-ekseni etrafında eğilme etkisinde olacak şekilde, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 0.40 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 2 \text{ kN/m}$  uniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş mesnetlerde ve açıklık ortasında yanıl burulmalı burkulmaya karşı desteklenmiştir. Korniyerin yükleme doğrultusuna paralel olan kolunun uç bölümü çekme etkisindedir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit

$$L 160 \times 160 \times 14$$

$$W_{ex} = 89.50 \text{ cm}^3$$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Eğilme etkisindeki, L 160×160×14 enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.10 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Eşit kollu korniye x-ekseni etrafında eğilme etkisinde olduğundan, *Yönetmelik* 9.10.2(2)(ii) uyarınca,

$$M_y = F_y W_{ex} = 275(89.50)10^{-3} = 24.61 \text{ kNm}$$

Akma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = 1.5M_y = 1.5(24.61) = 36.92 \text{ kNm} \quad (9.65)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Eşit kollu tek korniye x-geometrik eksenini etrafında eğilme etkisinde ve eğilme düzlemine paralel doğrultudaki kolunun uç bölümü çekme etkisinde olduğundan elastik yanal burulmalı burkulma momenti,  $M_{cr}$ , *Yönetmelik* 9.10.2(2) uyarınca belirlenir.

$$M_{cr} = \frac{0.58Eb^4tC_b}{L_b^2} \left( \sqrt{1 + 0.88 \left( \frac{L_b t}{b^2} \right)^2} + 1 \right) \quad (9.69b)$$

$$M_{cr} = \frac{0.58(200000)160^4(14)1.30}{3500^2} \left( \sqrt{1 + 0.88 \left( \frac{3500(14)}{160^2} \right)^2} + 1 \right) 10^{-6} = 345.09 \text{ kNm}$$

Korniye, en büyük eğilme momenti etkisindeki enkesit hizasında (açıklık ortasında) yanal olarak desteklendiğinden, *Yönetmelik* 9.10.2(2)(ii) uyarınca  $1.25M_{cr}$  alınabilir. Bu durumda, akma momenti,  $M_y$ , ilgili geometrik eksene göre belirlenen akma momenti olarak alınarak,

$$\frac{M_y}{1.25M_{cr}} = \frac{24.61}{1.25(345.09)} = 0.057 \leq 1.0$$

oldüğundan, *Yönetmelik* 9.10.2(2)(ii) esas alınarak karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = \left[ 1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{M_y}{M_{cr}}} \right] M_y \leq 1.5M_y \quad (9.66)$$

$$M_n = \left[ 1.92 - 1.17 \sqrt{0.057} \right] (24.61) = 40.37 \text{ kNm} \leq 1.5(24.61) = 36.92 \text{ kNm} \times$$

$$M_n = 36.92 \text{ kNm}$$

Korniye kolunun yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Korniyeğin eğilme düzlemine paralel doğrultudaki kolunun uç bölümü çekme etkisinde olduğundan, bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

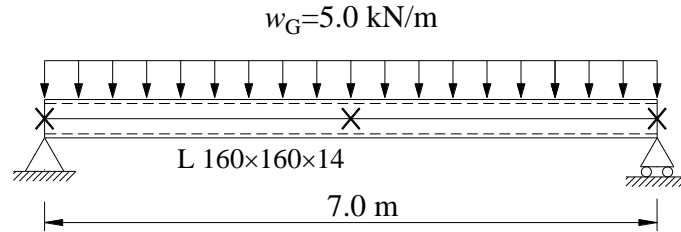
Bu durumda, *Yönetmelik* 9.10 uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımını akma sınır durumu belirler.

$$M_n = 36.92 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(0.40) + 1.6(2.5) = 4.48 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{4.48(7)^2}{8} = 27.44 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 0.40 + 2.50 = 2.90 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{2.90(7)^2}{8} = 17.76 \text{ kNm}$
<b>b.</b> Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(36.92) = 33.23 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 36.92 / 1.67 = 22.11 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{27.44}{33.23} = 0.83 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{17.76}{22.11} = 0.80 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.17

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen L 160×160×14 enkesitli basit kiriş, w-asal eksen (kuvvetli asal eksen) etrafında eğilme etkisinde olacak şekilde,  $w_G = 5.0 \text{ kN/m}$  üniform yayılı sabit yük etkisindedir. Kiriş başlıkları mesnetlerde ve açıklık ortasında yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit

L 160×160×14

$$W_{ex} = 89.50 \text{ cm}^3 \quad W_{ew} = 145.1 \text{ cm}^3 \quad W_{ez} = 67.65 \text{ cm}^3$$

$$A = 4320 \text{ mm}^2 \quad i_z = 31.30 \text{ mm} \quad i_w = 61.70 \text{ mm}$$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Eğilme etkisindeki, L 160×160×14 enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik 9.10* uyarınca belirlenecektir.

### Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, $M_n$

Korniyer w-kuvvetli asal eksenini etrafında eğilme etkisinde olduğundan,

$$M_y = F_y W_{ew} = 275(145.10)10^{-3} = 39.90 \text{ kNm}$$

Karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = 1.5M_y = 1.5(39.90) = 59.85 \text{ kNm} \quad (9.65)$$

### Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, $M_n$

Eşit kollu tek korniyer w-kuvvetli asal eksenini etrafında eğilme etkisinde olduğundan elastik yanal burulmalı burkulma momenti,  $M_{cr}$ , *Yönetmelik* 9.10.2(1) uyarınca belirlenir.

$$M_{cr} = \frac{9A_i z_t C_b}{8L_b} \left( \sqrt{1 + \left( 4.4 \frac{\beta_w i_z}{L_b t} \right)^2} + 4.4 \frac{\beta_w i_z}{L_b t} \right) \quad (9.68)$$

Üniform yayılı yük altında kiriş mesnetlerde ve açıklık ortasında yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklendiğinden,  $C_b = 1.30$  olarak alınır. Eşit kollu korniyerler için  $\beta_w = 0$  olduğundan,

$$M_{cr} = \frac{9A_i z_t C_b}{8L_b} = \frac{9(4320)31.30(14)1.30}{8(3500)} = 791 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_y}{M_{cr}} = \frac{39.90}{791} = 0.05 \leq 1.0$$

*Yönetmelik* 9.10.2(2)(ii) esas alınarak, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = \left[ 1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{M_y}{M_{cr}}} \right] M_y \leq 1.5M_y \quad (9.66)$$

$$M_n = \left[ 1.92 - 1.17 \sqrt{0.05} \right] (39.90) = 66.17 \text{ kNm} \leq 1.5(39.90) = 59.85 \text{ kNm} \times$$

$$M_n = 59.85 \text{ kNm}$$

### Korniyer kolunun yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, $M_n$

*Yönetmelik* 5.4 uyarınca,

#### Yerel burkulma sınır durumu için sınıflandırma

Korniyer kolu, (Tablo 5.1B, Durum 12)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{160}{14} = 11.42 \leq \lambda_p = 0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.54 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 14.55$$

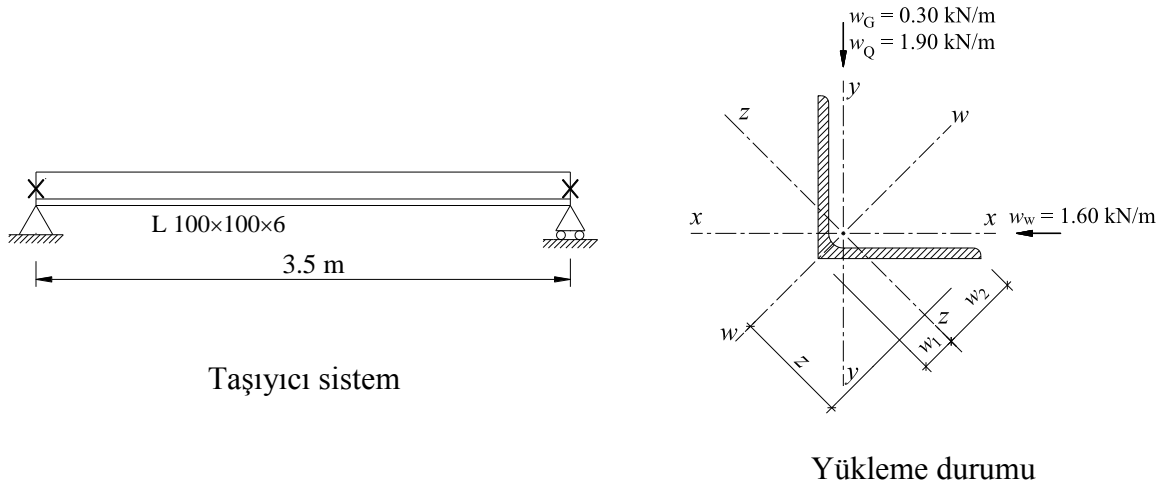
Yerel burkulma sınır durumuna göre L 160×160×14 enkesitli korniyer, kollarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından *kompakt* enkesit olarak sınıflandırılır. Bu durumda, *Yönetmelik* 9.10.3(a) uyarınca, bu sınır durum gözönüne alınmaz.

Korniyerin karakteristik eğilme momenti dayanımını *Yönetmelik* 9.10. uyarınca, akma sınır durumu belirlediğinden,  $M_n = 59.85 \text{ kNm}$  olarak elde edilir.

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.4w_G$ $= 1.4(5) = 7 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{7(7)^2}{8} = 42.88 \text{ kNm}$	$w_a = w_G$ $= 5 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{5(7)^2}{8} = 30.63 \text{ kNm}$
<b>b. Tasarım eğilme momenti dayanımı</b>	<b>c. Güvenli eğilme momenti dayanımı</b>
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(59.85) = 53.87 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 59.85 / 1.67 = 35.83 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{42.88}{53.87} = 0.80 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{30.63}{35.83} = 0.86 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.18

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen L 100×100×6 enkesitli basit kirişte, üniform yayılı sabit ve hareketli düşey yükler sırasıyla,  $w_G = 0.30 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 1.90 \text{ kN/m}$ , üniform yayılı yatay rüzgar yükü ise  $w_W = 1.60 \text{ kN/m}$  olarak verilmektedir. Kiriş mesnetlerde yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklenmiştir.



**a.** Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

**b.** Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)

**c.** Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit

L 100×100×6

$$W_{ex} = 15.09 \text{ cm}^3 \quad W_{ew} = 24.94 \text{ cm}^3 \quad W_{ez,1} = 12.25 \text{ cm}^3$$

$$W_{ez,2} = 13.05 \text{ cm}^3 \quad A = 1180 \text{ mm}^2 \quad i_z = 19.70 \text{ mm}$$

## Çözüm

a. Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

L 100×100×6 enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.10 uyarınca belirlenecektir.

Eşit kollu korniyer x- ve y- geometrik eksenleri etrafındaki eğilme momentlerinin ortak etkisinde olduğundan, eğilme momenti dayanımı, *Yönetmelik* 11.2 uyarınca değerlendirilecektir.

z- asal ekseninde karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_{nz}$

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı

Korniyer z-ekseni etrafında eğilme etkisinde olduğunda, *Yönetmelik* 9.10.1 uyarınca,

$$\begin{aligned} M_y &= F_y W_{ez} = 275(12.25)10^{-3} = 3.37 \text{ kNm} \\ M_{nz} &= 1.5M_y = 1.5(3.37) = 5.05 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (9.65)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı

*Yönetmelik* 9.10.2 uyarınca, tek korniyerlerde zayıf asal eksen etrafında eğilme etkisi için yanal burulmalı burkulma sınır durumunun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Korniyer kolunun yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı

Korniyer kolu (Tablo 5.1B, Durum 12)

$$\begin{aligned} \lambda_p &= 0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.54 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 14.56 \\ \lambda &= \frac{b}{t} = \frac{100}{6} = 16.67 \\ \lambda_r &= 0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.91 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 24.54 \end{aligned}$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre korniyer kolunun genişlik/kalınlık oranı

$$\lambda_p = 14.56 < \lambda = 16.67 < \lambda_r = 24.54$$

olduğundan, korniyer kolu *kompakt olmayan* olarak sınıflandırılır. Bu durumda, *Yönetmelik* 9.10.3(b) uyarınca,

$$M_n = F_y W_{ec} \left( 2.43 - 1.72 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right) \quad (9.71)$$

zayıf asal ekseninde eğilmede korniyer kolunun uç bölgesi basınçta olduğundan,  $W_{ec} = W_{ez,2} = 13.05 \text{ cm}^3$  alınarak,

$$M_{nz} = 275(13.05)10^{-3} \left( 2.43 - 1.72 \left( \frac{100}{6} \right) \sqrt{\frac{275}{200000}} \right) = 4.91 \text{ kNm}$$

*Yönetmelik* 9.10 uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımını yerel burkulma sınır durumu belirler.



$$M_{nz} = 4.91 \text{ kNm}$$

w- asal ekseninde karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_{nw}$

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,

Korniyer w-asal eksenini etrafında eğilme etkisinde olduğunda, *Yönetmelik* 9.10.1 uyarınca,

$$M_y = F_y W_{ew} = 275(24.94)10^{-3} = 6.86 \text{ kNm}$$

$$M_{nw} = 1.5M_y = 1.5(6.86) = 10.29 \text{ kNm} \quad (9.65)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı

Eşit kollu tek korniyer w-asal eksenini etrafında eğilme etkisinde olduğunda, açıklıkta yanal olarak sürekli desteklenmediğinden *Yönetmelik* 9.10.2(1) uygulanarak,

$$M_{cr} = \frac{9A_i z_t C_b}{8L_b} \left( \sqrt{1 + \left( 4.4 \frac{\beta_w i_z}{L_b t} \right)^2} + 4.4 \frac{\beta_w i_z}{L_b t} \right) \quad (9.68)$$

Üniform yayılı yük altında kiriş mesnetlerde yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklendiğinden,  $C_b = 1.14$  olarak alınır. Eşit kollu korniyerler için  $\beta_w = 0$  olduğundan,

$$M_{cr} = \frac{9A_i z_t C_b}{8L_b} = \frac{9(1180)19.70(6)1.14}{8(3500)} = 51.11 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_y}{M_{cr}} = \frac{6.86}{51.11} = 0.134 \leq 1.0$$

*Yönetmelik* 9.10.2(2)(ii) esas alınarak, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = \left[ 1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{M_y}{M_{cr}}} \right] M_y \leq 1.5M_y \quad (9.66)$$

$$M_{nw} = \left[ 1.92 - 1.17 \sqrt{0.134} \right] (6.86) = 10.23 \text{ kNm} \leq 1.5(6.86) = 10.29 \text{ kNm} \checkmark$$

$$M_{nw} = 10.23 \text{ kNm}$$

Korniyer kolunun yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,

Yerel burkulma sınır durumuna göre korniyer kolunun genişlik/kalınlık oranı (Tablo 5.1B, Durum 12)

$$\lambda_p = 14.56 < \lambda = 16.67 < \lambda_r = 24.54$$

olduğundan, korniyer kolu *kompakt olmayan* olarak sınıflandırılır. Bu durumda, *Yönetmelik* 9.10.3(b) uyarınca,

$$M_n = F_y W_{ec} \left( 2.43 - 1.72 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right) \quad (9.71)$$

zayıf asal ekseninde eğilmede korniyer kolunun uç bölgesi basınçta olduğundan,

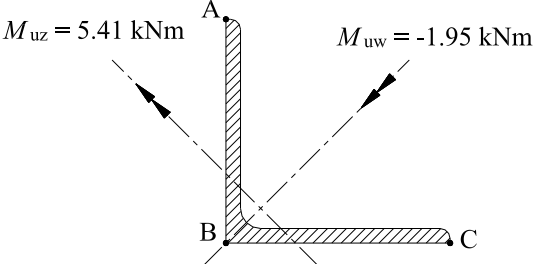
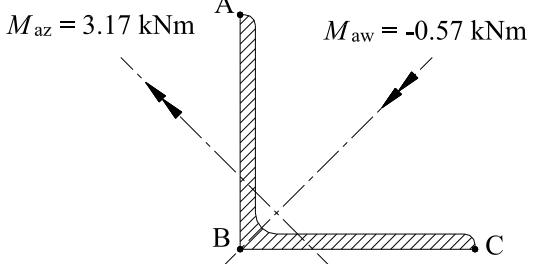
$$W_{ec} = W_{ew} = 24.94 \text{ cm}^3 \text{ alınarak,}$$

$$M_{nw} = 275(24.94)10^{-3} \left( 2.43 - 1.72 \left( \frac{100}{6} \right) \sqrt{\frac{275}{200000}} \right) = 9.38 \text{ kNm}$$

*Yönetmelik 9.10* uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımını yerel burkulma sınır durumu belirler.

$$M_{nw} = 9.38 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_{ux} = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(0.30) + 1.6(1.90) = 3.40 \text{ kN/m}$ $w_{uy} = 1.0w_W$ $= 1.0(1.6) = 1.60 \text{ kN/m}$ $M_{ux} = \frac{w_{ux}L^2}{8} = \frac{3.40(3.5)^2}{8} = 5.20 \text{ kNm}$ $M_{uy} = \frac{w_{uy}L^2}{8} = \frac{1.6(3.5)^2}{8} = 2.45 \text{ kNm}$	$w_{ax} = 1.0w_G + 0.75w_Q$ $= 1.0(0.30) + 0.75(1.90) = 1.73 \text{ kN/m}$ $w_{ay} = 0.75w_W$ $= 0.75(1.6) = 1.20 \text{ kN/m}$ $M_{ax} = \frac{w_{ax}L^2}{8} = \frac{1.73(3.5)^2}{8} = 2.65 \text{ kNm}$ $M_{ay} = \frac{w_{ay}L^2}{8} = \frac{1.2(3.5)^2}{8} = 1.84 \text{ kNm}$
Geometrik eksen ve asal eksen momentlerinin pozitif yönleri	
Geometrik eksen momentlerinin işaretleri	
$M_{ux} = -5.20 \text{ kNm}$ $M_{uy} = 2.45 \text{ kNm}$	$M_{ax} = -2.65 \text{ kNm}$ $M_{ay} = 1.84 \text{ kNm}$
Asal eksen momentleri	

$M_{uw} = M_{ux} \cos \alpha + M_{uy} \sin \alpha$ $= (-5.20) \cos 45^\circ + (2.45) \sin 45^\circ$ $= -1.95 \text{ kNm}$	$M_{aw} = M_{ax} \cos \alpha + M_{ay} \sin \alpha$ $= (-2.65) \cos 45^\circ + (1.84) \sin 45^\circ$ $= -0.57 \text{ kNm}$
$M_{uz} = M_{ux} \sin \alpha + M_{uy} \cos \alpha$ $= -(-5.20) \cos 45^\circ + (2.45) \sin 45^\circ$ $= 5.41 \text{ kNm}$	$M_{az} = M_{ax} \sin \alpha + M_{ay} \cos \alpha$ $= -(-2.65) \cos 45^\circ + (1.84) \sin 45^\circ$ $= 3.17 \text{ kNm}$
	

#### Bileşik eğik eğilme etkisi altında dayanım kontrolü

Her iki asal eksen etrafındaki eğilme momentlerinden oluşan gerilmelerin etkileşimi *Yönetmelik* 11.2 uyarınca Denk. (11.3) ile sınırlandırılmalıdır. Ancak, gözönüne alınan noktada, YDKT da tasarım eğilme gerilmesi ( $=\phi M_n/W_e$ ) veya GKT da eğilme güvenlik gerilmesi ( $=M_n/\Omega_b W_e$ ) olarak gözönüne alındığında, etkileşim ifadesi aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\frac{M_{rw}}{M_{cw}} + \frac{M_{rz}}{M_{cz}} \leq 1.0$$

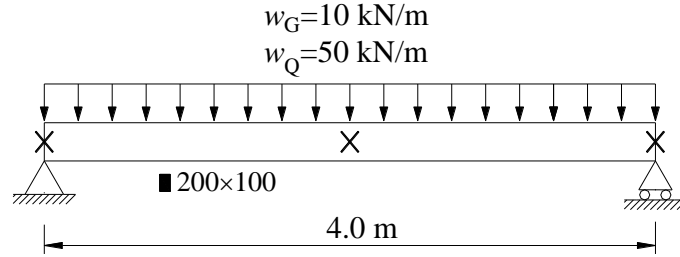
Korniyer enkesitin kritik noktalarında asal eksenler etrafındaki eğilme gerilmelerinin yönleri gözönünde tutularak kontroller yapılmıştır.

Gerekli ve mevcut eğilme momenti dayanımlarının özeti	
YDKT	GKT
$M_{uw} = -1.95 \text{ kNm}$ $M_{dw} = \phi_b M_{nw} = 0.90(9.38) = 8.442 \text{ kNm}$  $M_{uz} = 5.41 \text{ kNm}$ $M_{dz} = \phi_b M_{nz} = 0.90(4.91) = 4.419 \text{ kNm}$	$M_{aw} = -0.57 \text{ kNm}$ $M_{gw} = \frac{M_{nw}}{\Omega_b} = \frac{9.38}{1.67} = 5.62 \text{ kNm}$  $M_{az} = 3.17 \text{ kNm}$ $M_{gz} = \frac{M_{nz}}{\Omega_b} = \frac{4.91}{1.67} = 2.94 \text{ kNm}$
<b>b.</b> Bileşik etkiler altında tasarım eğilme dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Bileşik etkiler altında güvenli eğilme dayanımının kontrolü

A noktasında	
$\left  -\frac{1.95}{8.442} - \frac{5.41}{4.419} \right  = 1.46 \leq 1.0 \times$	$\left  -\frac{0.57}{5.52} - \frac{3.17}{2.94} \right  = 1.18 \leq 1.0 \times$
B noktasında	
$\left  0 + \frac{5.41}{4.419} \right  = 1.22 \leq 1.0 \times$	$\left  0 + \frac{3.17}{2.94} \right  = 1.08 \leq 1.0 \times$
C noktasında	
$\left  \frac{1.95}{8.442} - \frac{5.41}{4.419} \right  = 0.99 \leq 1.0 \checkmark$	$\left  \frac{0.57}{5.62} - \frac{3.17}{2.94} \right  = 0.97 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 9.19

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen 200×100 boyutlarındaki dolu enkesitli basit kiriş, kuvvetli asal eksenini etrafında eğilme etkisinde olacak şekilde, sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla,  $w_G = 10$  kN/m ve  $w_Q = 50$  kN/m üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş mesnetlerde ve açıklık ortasında yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklenmiştir.



- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

### Çelik sınıfı

$$S 235 \quad F_y = 235 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 360 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

### Enkesit

Dolu enkesit

$$d = 200 \text{ mm} \quad t = 100 \text{ mm} \quad W_{ex} = 667 \text{ cm}^3 \quad W_{px} = 1000 \text{ cm}^3$$

## Çözüm

### a. Karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Eğilme etkisindeki, 200×100 enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.11 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = F_y W_p \quad (9.74)$$

Eleman x-ekseni (kuvvetli eksen) etrafında eğilme etkisinde olduğundan,

$$M_p = F_y W_{px} = 235(1000)10^{-3} = 235 \text{ kNm}$$

$$1.6M_y = 1.6F_y W_{ex} = 1.6(235)667(10)^{-3} = 250.79 \text{ kNm}$$

$$M_n = M_p = 235 \text{ kNm} \leq 1.6M_y = 250.79 \text{ kNm}$$

$$M_n = 235 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Dikdörtgen enkesitli eleman kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisinde olduğundan ve *Yönetmelik* 9.11.2(a) uyarınca,

$$L_b d / t^2 \leq 0.08(E / F_y) = 2000(200) / 100^2 = 40 \leq 0.08(200000 / 235) = 68.09$$

olduğundan bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Bu durumda, *Yönetmelik* 9.11 uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımını akma sınır durumu belirler.

$$M_n = 235 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(10) + 1.6(50) = 92 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{92(4)^2}{8} = 184 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 10 + 50 = 60 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{60(4)^2}{8} = 120 \text{ kNm}$
<b>b.</b> Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(235) = 211.50 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 235 / 1.67 = 140.72 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{184}{211.50} = 0.87 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{120}{140.72} = 0.85 \leq 1.0 \checkmark$



## BÖLÜM 10 KESME KUVVETİ ETKİSİ

Gövde düzlemi içinde kesme kuvveti etkisinde olan çift simetri eksenli I-enkesitli, tek simetri eksenli I- ve U-enkesitli elemanların, kesme kuvveti etkisinde olan boru ve kutu enkesitli elemanların, tek korniyerlerin, T-enkesitli elemanların ve başlıklarına paralel düzlemde kesme kuvveti etkisinde olan tek veya çift simetri eksenli elemanların tasarımı *Yönetmelik* Bölüm 10 da belirtilen kurallara göre yapılacaktır.

### Kesme kuvveti dayanımı

Kesme kuvveti etkisindeki elemanın *tasarım kesme kuvveti dayanımı*,  $\phi_v V_n$ , (YDKT) veya *güvenli kesme kuvveti dayanımı*,  $V_n/\Omega_v$ , (GKT), *Yönetmelik* 10.1 e göre belirlenecektir. *Karakteristik kesme kuvveti dayanımı*,  $V_n$  ilgili bölümlerde açıklandığı gibi hesaplanacaktır.

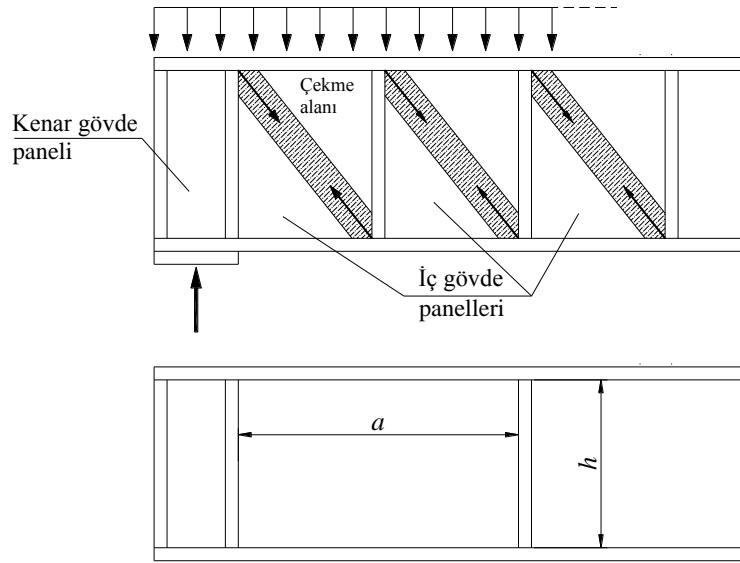
### Tek ve çift simetri eksenli I-kirişlerin karakteristik kesme kuvveti dayanımı

Gövde düzleminde kesme kuvveti etkisindeki tek ve çift simetri eksenli I-kirişlerin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesinde *Yönetmelik* Bölüm 10 uyarınca iki farklı yöntem kullanılabilir. Bunlar,

(a) Gövdede düşey ara rijitlik levhalarının bulunmasından bağımsız olarak, gövde levhasının kesme etkisinde akma veya burkulma sınır durumları ile kesme kuvveti dayanımının *Yönetmelik* 10.2 uyarınca belirlendiği *genel yöntem*.

(b) Gövdede düşey ara rijitlik levhaları ile oluşturulan paneller ile gövdenin burkulma sonrası dayanımı gözönüne alınarak, *Yönetmelik* 10.3 uyarınca *çekme alanı katkısının* kesme kuvveti dayanımının belirlenmesinde dikkate alındığı yöntem.

Gövde düzleminde kesme kuvveti etkisinde olan I- ve U-enkesitlerde çekme alanı katkısı,  $a/h \leq 3$  olacak şekilde rijitlik levhaları kullanılarak gövde panellerinin oluşturulması koşulu ile sadece iç gövde panellerinde gözönüne alınacaktır (Şekil 10.1).



**Şekil 10.1** – Gövde düzlemi içinde yük etkisinde çekme alanları ve rijitlik levhaları ile oluşturulan panel bölgeleri

### **Eğilme momenti ile kesme kuvvetinin etkileşimi**

Eğilme etkisindeki bir elemanın eleman boyunca herhangi bir enkesitine ait bir noktada genellikle, kesme ve eğilme etkileri nedeniyle oluşan gerilmeler aynı anda bulunmaktadır. Çekme alanı katkısının tasarımda gözönüne alınmaması halinde, karakteristik eğilme dayanımı ile karakteristik kesme kuvveti dayanımının hesabında etkileşim ihmal edilebilir. Ancak, çekme alanı katkısının gözönüne alındığı kesme kuvveti dayanımı hesabında, diyagonal çekme gerilmeleri daha büyük değerlere ulaşacağından, eğilme etkisi nedeniyle oluşan gerilmelerin diyagonal çekme gerilmeleriyle olan etkileşimi gözönüne alınmalıdır.



### Örnek 10.1

Enkesiti HE 450 A olarak belirlenen  $L = 3.0$  m açıklığa sahip basit kiriş, gövde düzleminde etkiyen sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 200$  kN/m ve  $w_Q = 350$  kN/m üniform yayılı yük etkisindedir.

- Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355$  N/mm<sup>2</sup>  $F_u = 510$  N/mm<sup>2</sup> (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

HE 450 A

$d = 440$  mm  $h = 344$  mm  $t_w = 11.5$  mm

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Çift simetri eksenli I-enkesitte Yönetmelik 10.2.1(a) uyarınca,

$$h/t_w = 344/11.5 = 29.91 \leq 2.24\sqrt{E/F_y} = 2.24\sqrt{200000/355} = 53.17 \text{ olduğundan,}$$

$\phi_v = 1.00$  (YDKT) veya  $\Omega_v = 1.50$  (GKT) ve  $C_{v1} = 1.0$  olarak alınacaktır.

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ ,

Yönetmelik 10.2 uyarınca,

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (10.1)$$

$$V_n = 0.6(355)(440 \times 11.5)1.0(10)^{-3} = 1077.78 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(200) + 1.6(350) = 800 \text{ kN/m}$ $V_u = \frac{w_u L}{2} = \frac{800(3)}{2} = 1200 \text{ kN}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 200 + 350 = 550 \text{ kN/m}$ $V_a = \frac{w_a L}{2} = \frac{550(3)}{2} = 825 \text{ kN}$
<b>b.</b> Kirişin tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kirişin güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 1.0(1078) = 1078 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 1078 / 1.50 = 719 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{1200}{1078} = 1.11 > 1.0 \times$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{825}{719} = 1.15 > 1.0 \times$

### Örnek 10.2

Enkesiti UPE 220 olarak belirlenen  $L = 3.0 \text{ m}$  açıklığa sahip basit kiriş için mesnet tepkisi,  $V_u = 240 \text{ kN}$  (YDKT) veya  $V_a = 165 \text{ kN}$  (GKT) olarak verilmektedir.

- Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit

UPE 220

$$d = 220 \text{ mm} \quad h = 170 \text{ mm} \quad b_f = 85 \text{ mm} \quad t_f = 12 \text{ mm} \quad t_w = 6.5 \text{ mm}$$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 10.2.1* uyarınca, gövde düzleminde kesme kuvveti etkisindeki U-enkesitte, düşey ara rijitlik levhaları kullanılmadığı durum için Denk.(10.3a) ile gövde levhası burkulma katsayısı,  $k_v = 5.34$  alınarak,

$$h / t_w = 170 / 6.5 = 26.15 \leq 1.10 \sqrt{k_v E / F_y} = 1.10 \sqrt{5.34(200000) / 355} = 60.33$$

$$C_{v1} = 1.0 \quad (10.2a)$$

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ ,

Yönetmelik 10.2 uyarınca,

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (10.1)$$

$$V_n = 0.6(355)(220 \times 6.5)1.0(10)^{-3} = 304.59 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$V_u = 240 \text{ kN}$	$V_a = 165 \text{ kN}$
<b>b.</b> Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(304.59) = 274 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 304.59 / 1.67 = 182 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{240}{274} = 0.88 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{165}{182} = 0.91 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 10.3

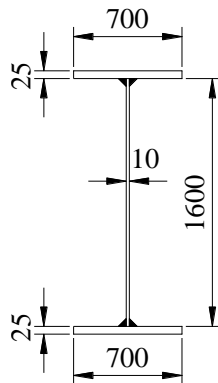
Aşağıdaki şekilde yapma enkesit detayı verilen  $L = 6.0 \text{ m}$  açıklığa sahip basit kiriş, gövde düzleminde etkiyen sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 80 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 170 \text{ kN/m}$  uniform yayılı yük etkisindedir.

- Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit



Kaynaklı yapma enkesit

$d = 1650 \text{ mm}$	$h = 1600 \text{ mm}$	$t_w = 10 \text{ mm}$	$b_{fc} = 700 \text{ mm}$
$t_{fc} = 25 \text{ mm}$	$b_{ft} = 700 \text{ mm}$	$t_{ft} = 25 \text{ mm}$	

### Çözüm

Gövdede düşey ara rijitlik levhaları kullanılmadığı durum için, *Yönetmelik* 10.2.1 uyarınca, Denk.(10.3a) ile gövde levhası burkulma katsayısı,  $k_v = 5.34$  alınarak,

$$h/t_w = 1600/10 = 160 > 1.10\sqrt{k_v E / F_y} = 1.10\sqrt{5.34(200000)/355} = 60.33$$

$$C_{v1} = \frac{1.10\sqrt{k_v E / F_y}}{h/t_w} = \frac{1.10\sqrt{5.34(200000/355)}}{1600/10} = 0.377 \quad (10.2b)$$

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ ,

*Yönetmelik* 10.2 uyarınca,

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (10.1)$$

$$= 0.6(355)(1650 \times 10) 0.377 (10)^{-3} = 1352 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(80) + 1.6(170) = 368 \text{ kN/m}$ $V_u = \frac{w_u L}{2} = \frac{368(6)}{2} = 1104 \text{ kN}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 80 + 170 = 250 \text{ kN/m}$ $V_a = \frac{w_a L}{2} = \frac{250(6)}{2} = 750 \text{ kN}$
<b>b.</b> Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(1352) = 1217 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 1352 / 1.67 = 810 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{1104}{1217} = 0.91 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{750}{810} = 0.93 \leq 1.0 \checkmark$

#### Örnek 10.4

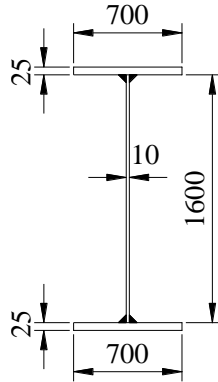
Aşağıdaki şekilde yapma enkesit detayı verilen  $L = 6.0$  m açıklığa sahip basit kiriş, gövde düzleminde etkiyen sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 80$  kN/m ve  $w_Q = 206$  kN/m uniform yayılı yük etkisindedir.

- Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355$  N/mm<sup>2</sup>  $F_u = 510$  N/mm<sup>2</sup> (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit



---

Kaynaklı yapma enkesit

---

$d = 1650 \text{ mm}$	$h = 1600 \text{ mm}$	$t_w = 10 \text{ mm}$	$b_{fc} = 700 \text{ mm}$
$t_{fc} = 25 \text{ mm}$	$b_{ft} = 700 \text{ mm}$	$t_{ft} = 25 \text{ mm}$	

### Çözüm

Gövdede düşey ara rijitlik levhaları kullanılmadığı durum için, *Yönetmelik* 10.2.1 uyarınca, Denk.(10.3a) ile gövde levhası burkulma katsayısı,  $k_v = 5.34$  alınarak,

$$h/t_w = 1600/10 = 160 > 1.10\sqrt{k_v E / F_y} = 1.10\sqrt{5.34(200000)/355} = 60.33$$

$$C_{v1} = \frac{1.10\sqrt{k_v E / F_y}}{h/t_w} = \frac{1.10\sqrt{5.34(200000)/355}}{1600/10} = 0.377 \quad (10.2b)$$

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (10.1)$$

$$V_n = 0.6(355)(1650 \times 10)0.377(10)^{-3} = 1352 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(80) + 1.6(206) = 426 \text{ kN/m}$ $V_u = \frac{w_u L}{2} = \frac{426(6)}{2} = 1280 \text{ kN}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 80 + 206 = 286 \text{ kN/m}$ $V_a = \frac{w_a L}{2} = \frac{286(6)}{2} = 858 \text{ kN}$
<b>b.</b> Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(1352) = 1217 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 1352 / 1.67 = 810 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{1280}{1217} = 1.05 > 1.0 \times$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{858}{810} = 1.06 > 1.0 \times$

Çekme alanı katkısı gözönüne alınmadan, düşey ara rijitlik levhaları kullanılarak gövdenin kayma dayanımı artırılabilir. Bunun için, gövdede,  $a = 3 \text{ m}$  net uzaklık ile düşey ara rijitlik levhaları kullanıldığında, *Yönetmelik* 10.2.1 uyarınca, gövde levhası burkulma katsayısı,  $k_v$ ,

$$a/h = 3000/1600 = 1.875 \leq 3$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} = 5 + \frac{5}{(1.875)^2} = 6.42 \quad (10.3b)$$

$$h/t_w = 1600/10 = 160 > 1.10\sqrt{k_v E / F_y} = 1.10\sqrt{6.42(200000)/355} = 66.16$$

olduğundan, gövde kesme kuvveti dayanım katsayısı,  $C_{v1}$ ,

$$C_{v1} = \frac{1.10\sqrt{k_v E / F_y}}{h / t_w} = \frac{1.10\sqrt{6.42(200000 / 355)}}{1600 / 10} = 0.413 \quad (10.2b)$$

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ ,

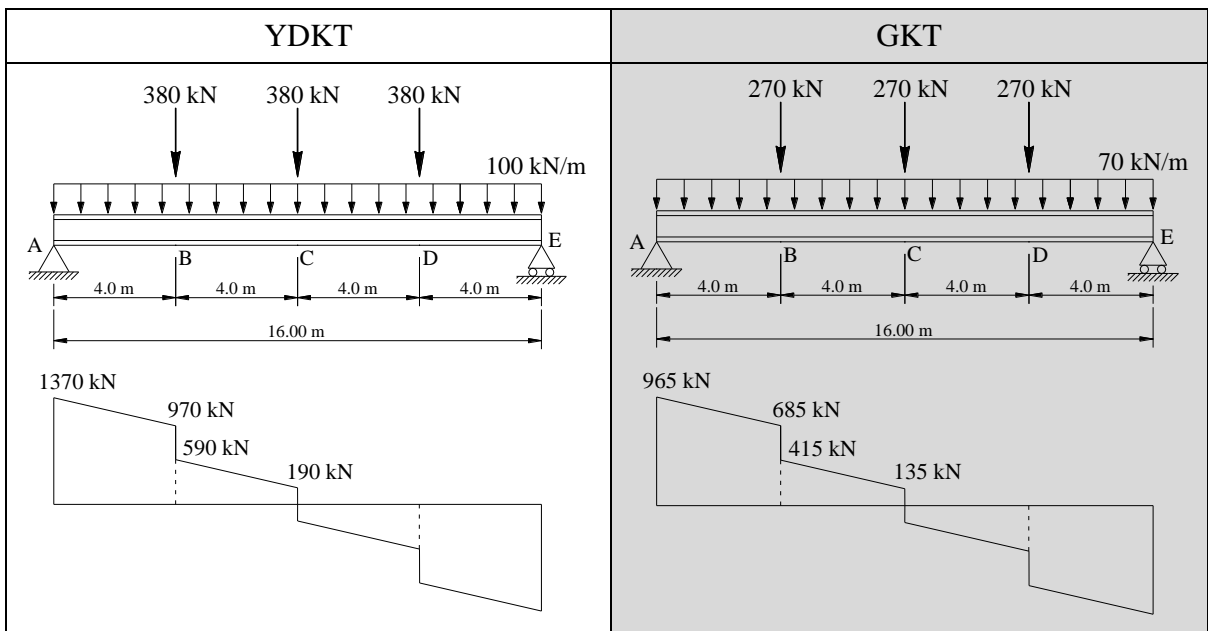
$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (10.1)$$

$$V_n = 0.6(355)(1650 \times 10)0.413(10)^{-3} = 1453 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(80) + 1.6(206) = 426 \text{ kN/m}$ $V_u = \frac{w_u L}{2} = \frac{426(6)}{2} = 1280 \text{ kN}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 80 + 206 = 286 \text{ kN/m}$ $V_a = \frac{w_a L}{2} = \frac{286(6)}{2} = 858 \text{ kN}$
<b>b.</b> Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(1453) = 1308 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 1453 / 1.67 = 870 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{1280}{1308} = 0.98 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{858}{870} = 0.99 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 10.5

Aşağıdaki şekillerde açıklığı,  $L = 16\text{ m}$  olan bir basit kirişin, gövde düzleminde etkiyen sabit yükler altında yükleme durumu ve kesme kuvveti diyagramı ile yapma enkesitinin uygulama detayları verilmektedir. Basınç etkisindeki kiriş başlığı, yanal ötelenmeye ve burulmaya karşı sürekli olarak desteklenmiştir.



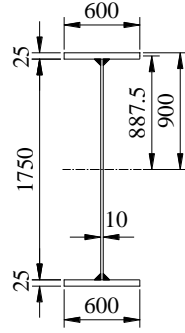


- a. Kirişin tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- b. Kirişin güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)
- c. Mesnet ve ara rijitlik levhaları için gerekli koşulların kontrolü

### Çelik sınıfı

$$S 235 \quad F_y = 235 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 360 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

### Enkesit



### Kaynaklı yapma enkesit

$$d = 1800 \text{ mm} \quad h = 1750 \text{ mm} \quad t_w = 10 \text{ mm} \quad t_{fc} = 25 \text{ mm}$$

$$b_{fc} = 600 \text{ mm} \quad b_{ft} = 600 \text{ mm} \quad t_{ft} = 25 \text{ mm}$$

### Çözüm

Gövdede düşey ara rijitlik levhaları kullanılmadığı durum için, *Yönetmelik* 10.2.1(b) uyarınca, Denk.(10.3a) ile gövde levhası burkulma katsayısı,  $k_v = 5.34$  alınarak,

$$h/t_w = 1750/10 = 175 > 1.10\sqrt{k_v E / F_y} = 1.10\sqrt{5.34(200000) / 235} = 74.15$$

olduğundan, gövde kesme kuvveti dayanım katsayısı,  $C_{v1}$ ,

$$C_{v1} = \frac{1.10\sqrt{k_v E / F_y}}{h/t_w} = \frac{1.10\sqrt{5.34(200000) / 235}}{1750/10} = 0.424 \quad (10.2b)$$

### Karakteristik kesme kuvveti dayanımı, $V_n$ ,

*Yönetmelik* 10.2 uyarınca,

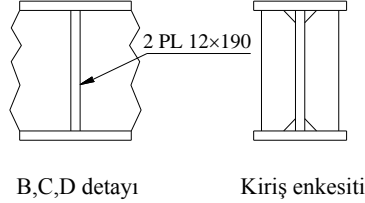
$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (10.1)$$

$$V_n = 0.6(235)(1800 \times 10)0.424(10)^{-3} = 1076 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli kesme kuvveti dayanımı (1.4G)	Gerekli kesme kuvveti dayanımı (G)
$V_u = 1370 \text{ kN}$	$V_a = 965 \text{ kN}$
<b>a.</b> Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(1076) = 968.40 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 1076 / 1.67 = 644.31 \text{ kN}$

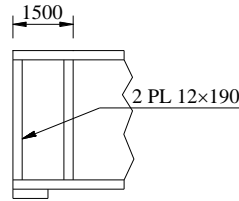
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{1370}{968.4} = 1.41 > 1.0 \times$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{965}{644.31} = 1.50 > 1.0 \times$
--	--

Bu durumda, mesnetlerde ve tekil yüklerin altında uygulama detayları aşağıdaki şekillerde verilen düşey doğrultudaki mesnet ve ara rijitlik levhaları teşkil edilecektir.



### Kenar gövde panelinde kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Kenar panellerde çekme alanı etkisinin kullanılmasına izin verilmediğinden, kesme kuvveti dayanımını arttırmak için iki yöntem izlenebilir. Bunlardan birincisi, gövde kalınlığı artırılarak gövde narinliğinin azaltılması, diğeri de ara rijitlik levhası sayısının artırılarak kenar panellerin  $a/h$  oranının azaltılmasıdır. Bu iki yöntemden ikincisi esas alındığında, mesnette gerekli dayanımın sağlanabilmesi amacıyla ilave edilecek rijitlik levhasının kirişin kenarına olan uzaklığı,  $a = 1500\text{mm}$  olarak seçilmiştir.



A ve E detayı

Gövdede düşey ara rijitlik levhaları kullanıldığında, *Yönetmelik* 10.2.1(b) uyarınca, mesnet bölgesinde  $a/h = 1500/1750 = 0.86 \leq 3.0$  olduğundan

$$k_v = 5 + \frac{5}{(0.86)^2} = 11.76 \quad (10.3b)$$

$$h/t_w = 1750/10 = 175 > 1.10\sqrt{k_v E/F_y} = 1.10\sqrt{11.76(200000)/235} = 110$$

gövde kesme kuvveti dayanım katsayısı,  $C_{v1}$ ,

$$C_{v1} = \frac{1.10\sqrt{k_v E/F_y}}{h/t_w} = \frac{1.10\sqrt{11.76(200000)/235}}{1750/10} = 0.63 \quad (10.2b)$$

### Karakteristik kesme kuvveti dayanımı, $V_n$ ,

*Yönetmelik* 10.2 uyarınca,

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} = 0.6(235)(1800 \times 10)0.63(10)^{-3} = 1599 \text{ kN} \quad (10.1)$$

YDKT	GKT
$V_u = 1370 \text{ kN}$	$V_a = 965 \text{ kN}$

<b>a. Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü</b>
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(1599) = 1439.10 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 1599 / 1.67 = 957.48 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{1370}{1439.10} = 0.95 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{965}{957.48} = 1.0 \cong 1.0 \checkmark$

Gövdede düşey ara rijitlik levhaları kullanıldığı durumda, ikinci panelde,

$$a = 4000 - 1500 = 2500 \text{ mm için}$$

*Yönetmelik* 10.2.1 uyarınca, Denk.(10.3b) ile gövde levhası burkulma katsayısı,

$$a/h = 2500/1750 = 1.429 \leq 3.0 \text{ olduğundan}$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{(1.429)^2} = 7.45 \quad (10.3b)$$

$$h/t_w = 1750/10 = 175 > 1.10\sqrt{k_v E/F_y} = 1.10\sqrt{7.45(200000)/235} = 87.6$$

gövde kesme kuvveti dayanım katsayısı,  $C_{v1}$ ,

$$C_{v1} = \frac{1.10\sqrt{k_v E/F_y}}{h/t_w} = \frac{1.10\sqrt{7.45(200000)/235}}{1750/10} = 0.50 \quad (10.2b)$$

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ ,

*Yönetmelik* 10.2 uyarınca,

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} = 0.6(235)(1800 \times 10)0.50(10)^{-3} = 1269 \text{ kN} \quad (10.1)$$

Mesnetten  $x = 1.5 \text{ m}$  uzakta mevcut kesme kuvveti dayanımı kontrol edilmelidir.

YDKT	GKT
$V_u = 1370 - (1.5 \times 100) = 1220 \text{ kN}$	$V_a = 965 - (1.5 \times 70) = 860 \text{ kN}$
<b>a. Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü</b>
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(1269) = 1142 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 1318 / 1.67 = 789.2 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{1220}{1142} = 1.07 \leq 1.0 \times$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{860}{789.2} = 1.09 \leq 1.0 \times$

Bu durumda, *Yönetmelik* 10.3 e uygun olarak çekme alanı katkısı gözönüne alınabilir. *Yönetmelik* 10.3.1(b) uyarınca,

$$h/t_w = 1750/10 = 175 > 1.10\sqrt{k_v E/F_y} = 1.10\sqrt{7.45(200000)/235} = 87.6$$

olması halinde,

$$(i) \quad 2A_w / (A_{fc} + A_{fr}) = 2(1750 \times 10) / (600 \times 25 + 600 \times 25) = 1.16 \leq 2.5 \checkmark$$

$$(ii) \quad h/b_{fc} = 1750/600 = 2.91 \leq 6.0 \quad \checkmark$$

$$(iii) \quad h/b_{ft} = 1750/600 = 2.91 \leq 6.0 \quad \checkmark$$

koşullarının tümü sağlandığından, iç gövde panellerinde çekme alanı katkısı hesaba katılabilir. Bu durumda, kayma etkisinde gövde burkulma katsayısı,  $C_{v2}$

$$h/t_w = 1750/10 = 175 > 1.37\sqrt{k_v E/F_y} = 1.37\sqrt{7.45(200000)/235} = 109$$

olduğundan, *Yönetmelik* 10.3.1(b)(2)(iii) uyarınca,

$$C_{v2} = \frac{1.51k_v E}{(h/t_w)^2 F_y} = \frac{1.51(7.45)(200000)}{(1750/10)^2 235} = 0.313 \quad (10.7c)$$

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$

*Yönetmelik* 10.3.1(1) uyarınca,

$$V_n = 0.6F_y A_w \left( C_{v2} + \frac{1 - C_{v2}}{1.15\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right) \quad (10.6b)$$

$$V_n = 0.6(235)(1800 \times 10)(10)^{-3} \left( 0.313 + \frac{1 - 0.313}{1.15\sqrt{1 + (1.429)^2}} \right) = 1666 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
$V_u = 1370 - (1.5 \times 100) = 1220 \text{ kN}$	$V_a = 965 - (1.5 \times 70) = 860 \text{ kN}$
<b>a. Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü</b>
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(1666) = 1500 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 1666 / 1.67 = 997.60 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{1220}{1500} = 0.81 \leq 1.0 \quad \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{860}{997.60} = 0.86 \leq 1.0 \quad \checkmark$

(B-C) ve (C-D) gövde panellerinde kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

$a = 4000 \text{ mm}$  olduğundan *Yönetmelik* 10.2.1 uyarınca,

$$a/h = 4000/1750 = 2.29 \leq 3.0 \quad \text{için}$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} = 5 + \frac{5}{(2.29)^2} = 5.95 \quad (10.3b)$$

$$h/t_w = 1750/10 = 175 > 1.10\sqrt{k_v E/F_y} = 1.10\sqrt{5.95(200000)/235} = 78.3$$

olduğundan, gövde kesme kuvveti dayanım katsayısı,  $C_{v1}$ ,

$$C_{v1} = \frac{1.10\sqrt{k_v E/F_y}}{h/t_w} = \frac{1.10\sqrt{5.95(200000)/235}}{1750/10} = 0.447 \quad (10.2b)$$

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ ,

*Yönetmelik 10.2* uyarınca,

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} = 0.6(235)(1800 \times 10)0.447(10)^{-3} = 1135 \text{ kN} \quad (10.1)$$

YDKT	GKT
$V_u = 590 \text{ kN}$	$V_a = 415 \text{ kN}$
<b>a.</b> Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(1135) = 1022 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 1135 / 1.67 = 679.64 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{590}{1022} = 0.58 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{415}{679.64} = 0.61 \leq 1.0 \checkmark$

**c.** Mesnet ve ara rijitlik levhaları için gerekli koşulların kontrolü

Mesnet düşey ara rijitlik levhaları, *Yönetmelik 10.2.2* de verilen koşulları sağlayacaktır.

*Yönetmelik 10.2.2(b)* uyarınca,

$$I_{st} = 2 \left[ \frac{12(190)^3}{12} + 12(190) \left( \frac{190}{2} + \frac{10}{2} \right)^2 \right] = 5931.8(10)^4 \text{ mm}^4$$

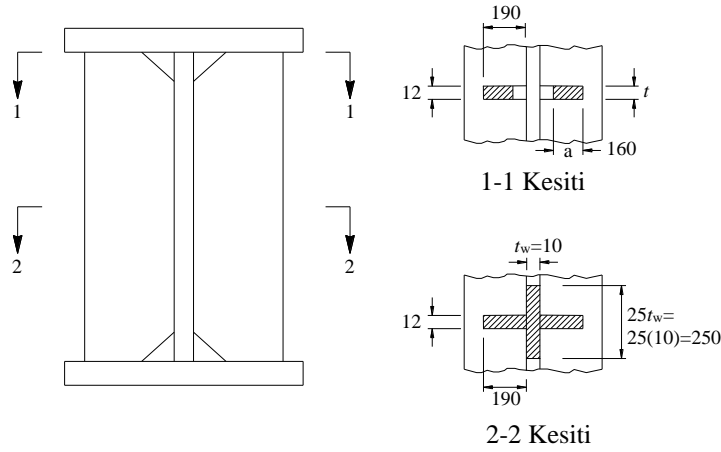
$$b = (a; h)_{\min} = (1500 \text{ mm}; 1750 \text{ mm})_{\min} = 1500 \text{ mm} \quad (10.5)$$

$$I_{st} \geq \left( \frac{2.5}{(a/h)^2} - 2 \right) b t_w^3 \quad (10.4)$$

$$\left( \frac{2.5}{(1500/1750)^2} - 2 \right) = 1.40 \geq 0.5 \checkmark$$

$$5931.8(10)^4 \text{ mm}^4 \geq (1.40)(1500)(10)^3 = 210(10)^4 \text{ mm}^4 \checkmark$$

Tekil kuvvetlerin altında teşkil edilen düşey rijitlik levhaları için ezilme dayanımı ve basınç dayanımı aşağıdaki şekilde gösterilen uygulama detayı esas alınarak kontrol edilecektir.



### Uygulama detayı

Başlık elemanı ile temas yüzeyinde rijitlik levhası ezilme dayanımı, *Yönetmelik* 13.6 uyarınca,

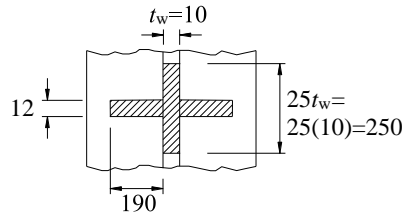
$$A_{pb} = 2at = 2(160 \times 12) = 3840 \text{ mm}^2$$

$$R_n = 1.8F_y A_{pb} = 1.8(235)(3840)10^{-3} = 1624 \text{ kN} \quad (13.21a)$$

YDKT	GKT
Tasarım ezilme dayanımının kontrolü	Güvenli ezilme dayanımının kontrolü
$P_d = \phi R_n = 0.75 \times 1624 = 1218 \text{ kN}$	$P_g = \frac{R_n}{\Omega} = \frac{1624}{2.0} = 812 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{380}{1218} = 0.31 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{270}{812} = 0.33 \leq 1.0 \checkmark$

Basınç etkisinde rijitlik levhası dayanımı,

*Yönetmelik* 13.9.7 uyarınca, tekil kuvvetlerin altındaki ara rijitlik levhalarının basınç etkisi altında dayanımı, iki adet rijitlik levhası ve  $25t_w$  genişliğinde kiriş gövde şeridinden oluşan bir eleman enkesiti ile kirişin gövde düzleminden geçen asal eksen etrafındaki atalet yarıçapı esas alınarak belirlenir. Böylece *Yönetmelik* 13.4.4 esasları ile,



$$A = 2(12)190 + 10(250) = 7060 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{250(10)^3}{12} + 2 \left[ \frac{12(190)^3}{12} + 12(190) \left( \frac{190}{2} + \frac{10}{2} \right)^2 \right] = 5934(10)^4 \text{ mm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{5934(10)^4}{7060}} = 84.0 \text{ mm}$$

*Yönetmelik* 13.4.4(a) ve 13.9.7 uyarınca,

$$\frac{L_c}{i} = \frac{Kh}{i} = \frac{0.75(1750)}{84.0} = 15.6 < 25 \text{ için karakteristik basınç kuvveti dayanımı,}$$

$$P_n = F_y A_g = (235)(7060)10^{-3} = 1659 \text{ kN} \quad (13.20)$$

YDKT	GKT
Tasarım basınç dayanımının kontrolü	Güvenli basınç dayanımının kontrolü
$P_d = \phi R_n = 0.9 \times 1659 = 1493 \text{ kN}$	$P_g = \frac{R_n}{\Omega} = \frac{1659}{1.67} = 993 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{380}{1659} = 0.23 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{270}{993} = 0.27 \leq 1.0 \checkmark$

Aynı kontroller mesnetlerdeki düşey rijitlik levhaları için de yapılacaktır. Bu durumda, *Yönetmelik* 13.9.7 uyarınca, iki adet rijitlik levhası ve  $12t_w$  genişliğinde kiriş gövde şeridinden oluşan bir eleman enkesiti gözönüne alınarak ezilme ve basınç dayanımı kontrol edilmelidir.

Gerekli kesme kuvveti dayanımının sağlanmasında çekme alanı katkısı da hesaba katıldığından, düşey ara rijitlik levhaları *Yönetmelik* 10.3.2 de verilen koşulları da sağlamalıdır.

*Yönetmelik* 10.3.2 (a) uyarınca narinlik koşulu,

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{st} = \frac{190}{12} = 15.83 \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{yst}}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 16.34 \checkmark$$

*Yönetmelik* 10.2.2(b) uyarınca düşey ara rijitlik levhalarının minimum atalet momenti,

$$I_{st} = 2 \left[ \frac{12(190)^3}{12} + 12(190) \left( \frac{190}{2} + \frac{10}{2} \right)^2 \right] = 5931.8(10)^4 \text{ mm}^4$$

Çekme alanı katkısı gözönüne alınmadan, gövde levhasının kesme kuvveti dayanımını arttırmak için *Yönetmelik* 10.2.2 uyarınca hesaplanan ara rijitlik levhası enkesitinin gerekli atalet momenti,  $I_{st1}$ ,

$$I_{st1} = \left( \frac{2.5}{(1500/1750)^2} - 2 \right) 1500(10)^3 = 210(10)^4 \text{ mm}^4 \quad (10.4)$$

$$\left( \frac{2.5}{(1500/1750)^2} - 2 \right) = 1.40 \geq 0.5 \checkmark$$

$$I_{st} = 5931.8(10)^4 \text{ mm}^4 \geq I_{st1} = 210(10)^4 \checkmark$$

Düşey ara rijitlik levhaları ile oluşturulan panel bölgelerinde diyagonal çekme alanlarının dayanımlarının da dikkate alınabilmesi için, düşey ara rijitlik levhalarının minimum atalet momenti,  $I_{st2}$ ,

$$I_{st2} = \frac{h^4 \rho_{st}^{1.3} \left( \frac{F_{yw}}{E} \right)^{1.5}}{40} = \frac{1750^4 (1.0) \left( \frac{235}{200000} \right)^{1.5}}{40} = 944(10)^4 \text{ mm}^4 \quad (10.11)$$

YDKT	GKT
$V_u = V_r = 1220 \text{ kN}$	$V_a = V_r = 860 \text{ kN}$
Daha büyük olan panel uzunluğu daha küçük kesme kuvveti dayanımı vereceğinden, $V_{c1}$ , gövdede düşey ara rijitlik levhaları kullanıldığı durumda ikinci panel için hesaplanan değer olacaktır.	
$V_{c1} = \phi_v V_n = 0.90(1296) = 1142 \text{ kN}$	$V_{c1} = V_n / \Omega_v = 1296 / 1.67 = 776 \text{ kN}$
$V_{c2} = \phi_v V_n = 0.90(1666) = 1500 \text{ kN}$	$V_{c2} = V_n / \Omega_v = 1666 / 1.67 = 997 \text{ kN}$
$\rho_w = \left[ \frac{V_r - V_{c1}}{V_{c2} - V_{c1}} \right] \geq 0 \quad (10.10)$	
$\rho_w = \frac{1220 - 1142}{1500 - 1142} = 0.218 \geq 0 \checkmark$	$\rho_w = \frac{860 - 776}{997 - 776} = 0.380 \geq 0 \checkmark$
$I_{st} \geq I_{st1} + (I_{st2} - I_{st1}) \rho_w \quad (10.9)$	
$5931.8(10)^4 \text{ mm}^4 \dots$ $\dots \geq 210(10)^4 + [(944 - 210)10^4] 0.218 \dots$ $\dots = 370(10)^4 \text{ mm}^4 \checkmark$	$5931.8(10)^4 \text{ mm}^4 \dots$ $\dots \geq 210(10)^4 + [(944 - 210)10^4] 0.380 \dots$ $\dots = 489(10)^4 \text{ mm}^4 \checkmark$

### Örnek 10.6

Enkesiti Kutu  $300 \times 200 \times 8$  olarak belirlenen basit kiriş için mesnet tepkisi,  $V_u = 140 \text{ kN}$  (YDKT) veya  $V_a = 94 \text{ kN}$  (GKT) olarak ve kutu enkesitin  $h = 200 \text{ mm}$  boyutundaki gövde enkesit parçaları tarafından aktarılacak şekilde verilmektedir.

- Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1B})$$

#### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı

$$\text{Yönetmelik 5.4.2 uyarınca, } t = 0.93t_n = 0.93(8.0) = 7.44 \text{ mm}$$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

$$\text{Yönetmelik 5.4.2 ve 5.4.1.2(d) uyarınca, } t = 0.93 \times 8.0 = 7.44 \text{ mm}$$



$$h = H - 3t = 200 - 3(7.44) = 177.68 \text{ mm}$$

alınarak, kutu enkesitin karakteristik kesme kuvveti dayanımı, *Yönetmelik* 10.4 uyarınca hesaplanır. Bu durumda, kayma etkisinde gövde burkulma katsayısı,  $C_{v2}$ , *Yönetmelik* 10.3.1 uyarınca,

$$h/t = 177.68/7.44 = 23.88 \leq 1.10\sqrt{k_v E/F_y} = 1.10\sqrt{5(200000)/275} = 66.33$$

$$C_{v2} = 1.0 \quad (10.7a)$$

$$A_w = 2ht = 2(177.78 \times 7.44) = 2643.88 \text{ mm}^2$$

Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ ,

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v2} = 0.6(275)(2643.88)1.0(10)^{-3} = 436.24 \text{ kN} \quad (10.12)$$

YDKT	GKT
Gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$V_u = 140 \text{ kN}$	$V_a = 94 \text{ kN}$
<b>b. Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü</b>
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(436.24) = 392.62 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 436.24 / 1.67 = 261.22 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{140}{392.62} = 0.36 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{94}{261.22} = 0.36 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 10.7

Enkesiti Boru 168.3×10 olarak belirlenen basit kiriş için mesnet tepkisi,  $V_u = 168 \text{ kN}$  (YDKT) veya  $V_a = 112 \text{ kN}$  (GKT) verilmektedir. Kesme kuvvetinin sıfır olduğu nokta ile maksimum olduğu nokta arasındaki uzaklık,  $L_v = 1500 \text{ mm}$  dir.

**a.** Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

**b.** Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)

**c.** Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 235 \quad F_y = 235 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 360 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1B})$$

#### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı

Boru 168.3×10

$A_g = 4970 \text{ mm}^2$

#### Çözüm

**b. Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi**

*Yönetmelik 5.4.2* uyarınca,  $t = 0.93 \times 10 = 9.3$  mm ve  $A = 4645.50$  mm<sup>2</sup> alınarak, *Yönetmelik 10.5* uyarınca,

$$F_{cr} = \frac{1.60E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t}\right)^{5/4}}} \quad (10.14a)$$

$$F_{cr} = \frac{1.60(200000)}{\sqrt{\frac{1500}{168.3} \left(\frac{168.3}{9.3}\right)^{5/4}}} = 2871 \text{ N/mm}^2 > 0.6F_y = 0.6(235) = 141 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{cr} = \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} \quad (10.14b)$$

$$F_{cr} = \frac{0.78(200000)}{\left(\frac{168.3}{9.3}\right)^{3/2}} = 2026 \text{ N/mm}^2 > 0.6F_y = 0.6(235) = 141 \text{ N/mm}^2$$

olduğundan,

$$F_{cr} = 0.6F_y = 0.6(235) = 141 \text{ N/mm}^2$$

Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımı,

$$V_n = \frac{F_{cr} A_g}{2} = \frac{141(4645.5)}{2} (10)^{-3} = 327.51 \text{ kN} \quad (10.13)$$

YDKT	GKT
Gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$V_u = 168$ kN	$V_a = 112$ kN
<b>b.</b> Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(327.51) = 294.76$ kN	$V_g = V_n / \Omega_v = 327.51 / 1.67 = 196.11$ kN
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{168}{294.76} = 0.57 \leq 1.0$ ✓	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{112}{196.11} = 0.57$ ✓

### Örnek 10.8

Enkesiti L 200×150×10 olarak belirlenen ve  $L = 2.5\text{m}$  açıklığa sahip basit kiriş, uzun koluna paralel düzlemde sırasıyla,  $w_G = 20\text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 55\text{ kN/m}$  üniform yayılı sabit ve hareketli yük etkisindedir.

- Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275\text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430\text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1B})$$

#### Enkesit

---

L 200×150×10

---

$b = 200\text{ mm}$        $t = 10\text{ mm}$

---

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 10.6 uyarınca,  $k_v=1.2$  alınarak, kayma etkisinde gövde burkulma katsayısı,  $C_{v2}$ , Yönetmelik 10.3.1 uyarınca,

$$b/t = 200/10 = 20 \leq 1.10\sqrt{k_v E / F_y} = 1.10\sqrt{1.2(200000)/275} = 32.50 \text{ olduğundan}$$

$$C_{v2} = 1.0 \quad (10.7a)$$

Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımı,

$$V_n = 0.6F_y b t C_{v2} = 0.6(275)200(10)1.0(10)^{-3} = 330 \text{ kN} \quad (10.15)$$

YDKT	GKT
Gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(20) + 1.6(55) = 112 \text{ kN/m}$ $V_u = \frac{w_u L}{2} = \frac{112(2.5)}{2} = 140 \text{ kN}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 20 + 55 = 75 \text{ kN/m}$ $V_u = \frac{w_u L}{2} = \frac{75(2.5)}{2} = 93.8 \text{ kN}$
<b>b. Tasarım kesme kuvveti dayanımı</b>	<b>c. Güvenli kesme kuvveti dayanımı</b>
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(330) = 297 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 330 / 1.67 = 197.60 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{140}{297} = 0.47 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{93.8}{197.60} = 0.47 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 10.9

Enkesiti HE 450 A olarak belirlenen ve  $L = 3.0\text{m}$  açıklığa sahip basit kiriş, zayıf eksenine dik doğrultuda sırasıyla,  $w_G = 20 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 140 \text{ kN/m}$  üniform yayılı sabit ve hareketli yükler etkisindedir.

- Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

#### Çelik sınıfı

$$S 355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit

$$\begin{array}{c} \text{HE 450 A} \\ \hline b_f = 300 \text{ mm} \quad t_f = 21 \text{ mm} \end{array}$$

#### Çözüm

- Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik* 10.7 uyarınca,  $k_v=1.2$  alınarak, kayma etkisinde gövde burkulma katsayısı,  $C_{v2}$ , *Yönetmelik* 10.3.1 uyarınca,

$$b/t_f = (300/2)/21 = 7.14 \leq 1.10\sqrt{k_v E/F_y} = 1.10\sqrt{1.2(200000)/355} = 28.60 \text{ olduğundan}$$

$$C_{v2} = 1.0 \quad (10.7a)$$

Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımı,

$$V_n = 0.6F_y b_f t_f C_{v2} = 2 \times [0.6(355)300(21)1.0](10)^{-3} = 2684 \text{ kN} \quad (10.16)$$

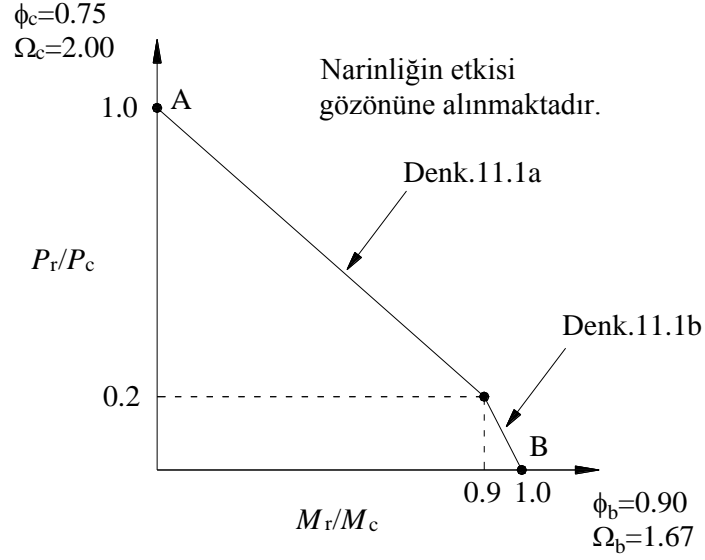
YDKT	GKT
Gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(20) + 1.6(140) = 248 \text{ kN/m}$ $V_u = \frac{w_u L}{2} = \frac{248(3.0)}{2} = 372 \text{ kN}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 20 + 140 = 160 \text{ kN/m}$ $V_a = \frac{w_a L}{2} = \frac{160(3.0)}{2} = 240 \text{ kN}$
<b>b.</b> Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(2684) = 2416 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 2684/1.67 = 1607 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{372}{2416} = 0.15 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{240}{1607} = 0.15 \leq 1.0 \checkmark$

## BÖLÜM 11 BİLEŞİK ETKİLER

Burulma etkisi altında veya burulma olmaksızın, eksenel kuvvet ve bir veya iki eksen etrafında eğilme (bileşik eğik eğilme) etkisindeki elemanlar ile sadece burulma etkisindeki elemanların tasarımı *Yönetmelik* Bölüm 11 de belirtilen kurallara göre yapılacaktır.

Etkileşim denklemlerinde elemanın gerekli dayanımları, eleman bazındaki ve sistem genelindeki geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini gözönüne alan *ikinci mertebe analiz* ile *Yönetmelik* Bölüm 6 da belirtilen kurallara göre belirlenmelidir.

Eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkisindeki çelik elemanların tasarımı için genel etkileşim diyagramı Şekil 11.1 de verilmektedir.

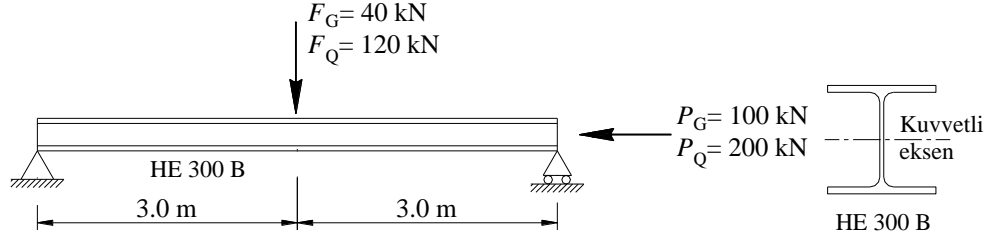


Şekil 11.1 Genel etkileşim diyagramı

### Örnek 11.1

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen HE 300 B enkesitli eleman, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 100$  kN ve  $P_Q = 200$  kN eksenel basınç kuvvetleri ile kuvvetli eksenine dik olmak üzere, sırasıyla,  $F_G = 40$  kN ve  $F_Q = 120$  kN tekil yükler etkisindedir. Eleman mesnetlerde yanal olarak desteklenmiştir.

- Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

HE 300 B		
$A = 14910 \text{ mm}^2$	$I_x = 25170 \text{ cm}^4$	$I_y = 8563 \text{ cm}^4$
$J = 185 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 1678 \text{ cm}^3$	$W_{ey} = 570.9 \text{ cm}^3$
$W_{px} = 1869 \text{ cm}^3$	$W_{py} = 870.1 \text{ cm}^3$	$C_w = 1688000 \text{ cm}^6$
$d = 300 \text{ mm}$	$b_f = 300 \text{ mm}$	$h_o = 281 \text{ mm}$
$h = 208 \text{ mm}$	$t_f = 19 \text{ mm}$	$t_w = 11 \text{ mm}$
$i_x = 129.9 \text{ mm}$	$i_y = 75.8 \text{ mm}$	

### Çözüm

Elemanın karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4.1 uyarınca,

Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası (Tablo 5.1A, Durum 1)

$$\lambda = \frac{b}{2 \times t_f} = \frac{300}{2 \times 19} = 7.89 < \lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 15.1$$

Gövde parçası (Tablo 5.1A, Durum 5)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{208}{11} = 18.9 < \lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 40.2$$

Eleman enkesitinin başlık ve gövde parçaları narin değildir.

Yönetmelik 8.2.1 uyarınca,

Eğilmeli burkulma sınır durumu

Enkesitin asal eksenlerine dik eleman burkulma boyları

$$L_{cx} = K_x L_x = 1.0 \times 6000 = 6000 \text{ mm}$$

$$L_{cy} = K_y L_y = 1.0 \times 6000 = 6000 \text{ mm}$$

Yönetmelik 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları

$$\lambda_x = \frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{6000}{129.9} = 46.2$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{6000}{75.8} = 79.2$$

$$\lambda_{maks} = (\lambda_x; \lambda_y)_{maks} = (46.2; 79.2) = 79.2$$

Elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, (y-y) ekseninde oluşan eğilmeli burkulma durumu belirleyecektir.

$$\lambda_{maks} = 79.2 \leq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127.0 \quad (8.2)$$

Elastik burkulma gerilmesi

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(79.2)^2} = 314.69 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y = \left(0.658^{\frac{275}{314.69}}\right) 275 = 190.76 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı

$$P_n = F_{cr} A_g = 190.76 \times 14910 \times 10^{-3} = 2844.2 \text{ kN} \quad (8.1)$$

YDKT	GKT
Tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı	Güvenli aksenal basınç kuvveti dayanımı
$P_c = P_d = \phi_c P_n = 0.9 \times 2844.2 = 2559.8 \text{ kN}$	$P_c = P_g = \frac{P_n}{\Omega_c} = \frac{2844.2}{1.67} = 1703.1 \text{ kN}$

Elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 5.4.1* uyarınca,

Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{2 \times t_f} = \frac{300}{2 \times 19} = 7.89 < \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 10.2$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{208}{11} = 18.9 < \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 101.4$$

Eleman enkesitinin başlık ve gövde parçaları kompakt olarak sınıflandırılır.

*Yönetmelik 9.2.2* uyarınca,



Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_p = 1.76i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = (1.76)(75.8) \sqrt{\frac{200000}{275}} = 3598 \text{ mm}$$

(9.6a)

$$i_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{W_{ex}} = \frac{\sqrt{(8563)10^4 (1688)10^9}}{(1678)10^3} \quad i_{ts} = 84.6 \text{ mm} \quad (9.8a)$$

$$L_r = 1.95i_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}} \quad (9.6b)$$

$$L_r = 1.95(84.6) \frac{200000}{0.7(275)} \dots$$

$$\dots \times \sqrt{\frac{185 \times 10^4 \times 1}{1678 \times 10^3 \times 281} + \sqrt{\left(\frac{185 \times 10^4 \times 1}{1678 \times 10^3 \times 281}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 275}{200000}\right)^2}}$$

$$L_r = 15873 \text{ mm}$$

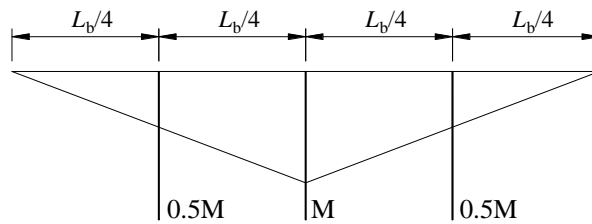
$L_p < (L_b = 6000 \text{ mm}) < L_r$   $M_n$  Denk.(9.3) ile belirlenecektir

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (9.3)$$

Plastik eğilme momenti dayanımı

$$M_p = F_y W_{px} = 1869 \times 10^3 \times 275 \times 10^{-6} = 514 \text{ kNm} \quad (9.2)$$

Moment düzeltme katsayısı  $C_b$



$$C_b = \frac{12.5M_{maks}}{2.5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (9.1)$$

$$C_b = \frac{12.5 \times M}{2.5 \times M + 3 \times 0.5M + 4 \times M + 3 \times 0.5M} = 1.32$$

$$M_n = 1.32 \left[ 514 - (514 - 0.7 \times 275 \times 1678 \times 10^{-3}) \left( \frac{6 - 3.598}{15.873 - 3.598} \right) \right] = 629 \text{ kNm} \leq M_p \quad \star$$

$$M_n = M_p = 514 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Tasarım eğilme momenti dayanımı	Güvenli eğilme momenti dayanımı
$M_{cx} = M_{dx} = \phi_b M_n = 0.9(514) = 462.6 \text{ kNm}$	$M_{cx} = M_{gx} = \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{514}{1.67} = 307.8 \text{ kNm}$

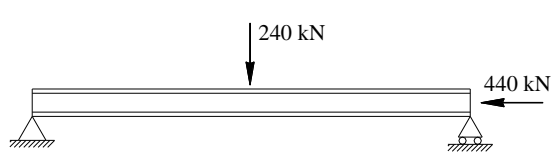
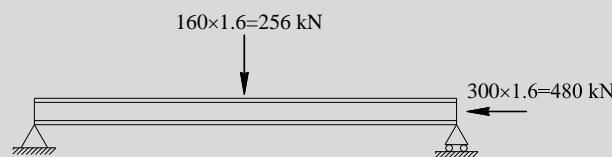
Yönetmelik 5.3 uyarınca,

Gerekli aksenal kuvvet dayanımı ( $P_r$ ) ve gerekli eğilme momenti dayanımı ( $M_r$ )

YDKT	GKT
Eksenal yük (5.3.1)	Eksenal yük (5.3.2)
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 100 + 1.6 \times 200 = 440 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 100 + 200 = 300 \text{ kN}$
Düşey yük (5.3.1)	Düşey yük (5.3.2)
$F_u = 1.2F_G + 1.6F_Q$ $F_u = 1.2 \times 40 + 1.6 \times 120 = 240 \text{ kN}$	$F_a = F_G + F_Q$ $F_a = 40 + 120 = 160 \text{ kN}$

Analizler ikinci mertebe etkilerini de içermelidir.

Yönetmelik 6.2.1(d) uyarınca ikinci mertebe hesabı GKT yük birleşiminin 1.6 katına eşit bir yükleme durumu için yapılacaktır. Ancak gerekli dayanım, analiz sonuçlarının 1.6 katsayısına bölünmesiyle elde edilecektir.

YDKT için yükleme durumu	GKT için yükleme durumu
	

İkinci mertebe etkileri gözönüne alan bilgisayar programı vasıtasıyla elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmektedir.

YDKT	GKT
İkinci Mertebe Analiz	İkinci Mertebe Analiz
$M_r = 370.4 \text{ kNm}$	$M_r = 396.1 \text{ kNm}$
Birinci Mertebe Analiz	Birinci Mertebe Analiz

$M = \frac{240 \times 6}{4} = 360 \text{ kNm}$	$M = \frac{256 \times 6}{4} = 384 \text{ kNm}$
İkinci mertebe etkiler nedeniyle %2.88 artış meydana gelmektedir.	İkinci mertebe etkiler nedeniyle %3.15 artış meydana gelmektedir.

Yönetmelik 6.5 esas alınarak yaklaşık ikinci mertebe analizi ile gerekli eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (6.7)$$

YDKT	GKT
$M_{nt} = \frac{240 \times 6}{4} = 360 \text{ kNm}$	$M_{nt} = \frac{256 \times 6}{4} = 384 \text{ kNm}$
$M_{lt} = 0$	$M_{lt} = 0$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha P_r / P_{el}} \quad (6.9)$$

$$P_{el} = \frac{\pi^2 EI^*}{(K_1 L)^2} \quad (6.11)$$

Güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla,  $C_m=1.0$  değeri kullanılabilir.

$$P_{el} = \frac{\pi^2 \times 200000 \times 25170 \times 10^4}{(1 \times 6000)^2} \times 10^{-3} = 13800 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
$B_1 = \frac{1.0}{1 - 1 \times \frac{440}{13800}} = 1.033 \quad (6.9)$	$B_1 = \frac{1.0}{1 - 1.6 \times \frac{300}{13800}} = 1.036 \quad (6.9)$
$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (6.7)$ $M_r = 1.033 \times 360 = 371.9 \text{ kNm}$	$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (6.7)$ $M_r = 1.036 \times 384 = 397.8 \text{ kNm}$
Bilgisayar analizi ile $M_r = 370.4 \text{ kNm}$	Bilgisayar analizi ile $M_r = 396.1 \text{ kNm}$
%0.4 fark	%0.4 fark

Gerekli ve mevcut dayanımlar

YDKT	GKT
$P_r = P_u = 440 \text{ kN}$	$P_r = P_a = \frac{480}{1.6} = 300 \text{ kN}$

$M_r = M_u = 370.4 \text{ kNm}$	$M_r = M_a = \frac{396.1}{1.6} = 247.6 \text{ kNm}$
$P_c = P_d = 2559.8 \text{ kN}$	$P_c = P_g = 1703.1 \text{ kN}$
$M_{cx} = M_{dx} = 462.6 \text{ kNm}$	$M_{cx} = M_{gx} = 307.8 \text{ kNm}$

### Bileşik etkiler altında dayanım kontrolü

Bilgisayar analizi ile hesaplanan  $P_r$  ve  $M_r$  değerleri kullanılmıştır.

YDKT	GKT
<b>a.</b> Elemanın bileşik etkiler altında tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Elemanın bileşik etkiler altında güvenli dayanımının kontrolü
$\frac{P_r}{P_c} = \frac{440}{2559.8} = 0.17 < 0.2$	$\frac{P_r}{P_c} = \frac{300}{1703.1} = 0.18 < 0.2$
$\frac{P_r}{2P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1.0$ (11.1b)	$\frac{P_r}{2P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1.0$ (11.1b)
$\frac{440}{2 \times 2559.8} + \left( \frac{370.4}{462.6} \right) = 0.89 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{300}{2 \times 1703.1} + \left( \frac{247.6}{307.8} \right) = 0.89 \leq 1.0 \checkmark$

### **Örnek 11.2**

Örnek 11.1’de verilen elemanın bileşik etkiler altında dayanımının *Yönetmelik* 11.1.3 kuralları ile kontrolü.

**a.** Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)

### Çözüm

Kuvvetli asal eksen etrafındaki momentin etkin olduğu durumlarda *Yönetmelik* 11.1.3 kuralları kullanılabilir.  $M_{ry} = 0$  olduğundan  $M_{ry} / M_{cy} < 0.05$  koşulu sağlanmaktadır.

*Yönetmelik* 5.4.1 uyarınca,

#### Yerel burkulma kontrolü

Eleman enkesitinin başlık ve gövde parçaları narin değildir (Bkz. Örnek 11.1).

#### Eğilme düzlemi içindeki mevcut aksenal basınç kuvveti dayanımı

$$L_{cx} = K_x L_x = 1.0 \times 6000 = 6000 \text{ mm}$$

*Yönetmelik* 8.1.1 uyarınca narinlik oranları

$$\lambda_x = \frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{6000}{129.9} = 46.2$$

$$\lambda_x = 46.2 \leq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127.0 \quad (8.2)$$

Elastik burkulma gerilmesi

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cx}}{i_x}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(46.2)^2} = 924.80 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = \left(0.658 \frac{275}{924.80}\right) 275 = 242.82 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı

$$P_n = F_{cr} A_g = 242.82 \times 14910 \times 10^{-3} = 3620.4 \text{ kN} \quad (8.1)$$

YDKT	GKT
Tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı	Güvenli aksenal basınç kuvveti dayanımı
$P_{cx} = P_{dx} = \phi_c P_n = 0.9 \times 3620.4 = 3258.4 \text{ kN}$	$P_{cx} = P_{gx} = \frac{P_n}{\Omega_c} = \frac{3620.4}{1.67} = 2167.9 \text{ kN}$

Akma sınır durumu için eğilme düzlemindeki karakteristik eğilme momenti dayanımı

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = 1869 \times 10^3 \times 275 \times 10^{-6} = 514 \text{ kNm} \quad (9.2)$$

YDKT	GKT
------	-----

Tasarım eğilme momenti dayanımı	Güvenli eğilme momenti dayanımı
$M_{cx} = M_{dx} = \phi_b M_n = 0.9 \times 514 = 462.6 \text{ kNm}$	$M_{cx} = M_{gx} = \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{514}{1.67} = 307.8 \text{ kNm}$

İç kuvvetler Örnek 11.1'de verilmektedir. Bilgisayar analizi ile hesaplanan  $P_r$  ve  $M_r$  değerleri kullanılmıştır.

*Yönetmelik* 11.1.3(a) uyarınca, düzlem içi stabilite kontrolü

YDKT	GKT
<b>a.</b> Elemanın bileşik etkiler altında tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Elemanın bileşik etkiler altında güvenli dayanımının kontrolü
$\frac{P_r}{P_{cx}} = \frac{440}{3258.4} = 0.14 < 0.2$	$\frac{P_r}{P_{cx}} = \frac{300}{2167.9} = 0.14 < 0.2$
$\frac{P_r}{2P_{cx}} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1.0$ (11.1b)	$\frac{P_r}{2P_{cx}} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1.0$ (11.1b)
$\frac{440}{2 \times 3258.4} + \left( \frac{370.4}{462.6} \right) = 0.87 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{300}{2 \times 2167.9} + \left( \frac{247.6}{307.8} \right) = 0.87 \leq 1.0 \checkmark$

*Yönetmelik* 11.1.3(b) uyarınca, düzlemine dik burkulma ve yanal burulmalı burkulma kontrolü

$$\frac{P_r}{P_{cy}} \left( 1.5 - 0.5 \frac{P_r}{P_{cy}} \right) + \left( \frac{M_{rx}}{C_b M_{cx}} \right)^2 \leq 1.0 \quad (11.2)$$

Eğilme düzlemine dik doğrultuda mevcut aksel kuvvet dayanımı Örnek 11.1'de hesaplanmıştır.

YDKT	GKT
Tasarım aksel basınç kuvveti dayanımı	Güvenli aksel basınç kuvveti dayanımı
$P_{cy} = P_d = \phi_c P_n = 0.9 \times 2844.2 = 2559.8 \text{ kN}$	$P_{cy} = P_g = \frac{P_n}{\Omega_c} = \frac{2844.2}{1.67} = 1703.1 \text{ kN}$

$C_b=1.0$  alınarak hesaplanan mevcut eğilme momenti dayanımı ( $M_{cx}$ )

$$L_p = 3598 \text{ mm} \quad L_r = 15873 \text{ mm} \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

$$L_p = 3598 \text{ mm} < (L_b = 6000 \text{ mm}) < L_r = 15873 \text{ mm} \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

$M_n$  Denk.(9.3) ile belirlenecektir.

$$M_p = 514 \text{ kNm} \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{ex}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (9.3)$$

$$M_n = \left[ 514 - (514 - 0.7 \times 275 \times 1678 \times 10^{-3}) \left( \frac{6 - 3.598}{15.873 - 3.598} \right) \right] = 476.6 \text{ kNm} < M_p$$

YDKT	GKT
Tasarım eğilme momenti dayanımı	Güvenli eğilme momenti dayanımı
$M_{cx} = M_{dx} = \phi_b M_n = 0.9 \times 476.6 = 428.9 \text{ kNm}$	$M_{cx} = M_{gx} = \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{476.6}{1.67} = 285.4 \text{ kNm}$

$$C_b = 1.32 \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

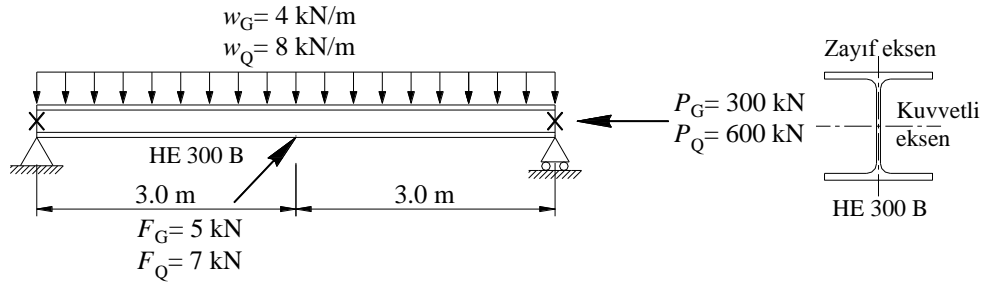
Bileşik etkiler altında dayanım kontrolü

YDKT	GKT
<b>a.</b> Elemanın bileşik etkiler altında tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü
$\frac{P_r}{P_{cy}} \left( 1.5 - 0.5 \frac{P_r}{P_{cy}} \right) + \left( \frac{M_{rx}}{C_b M_{cx}} \right)^2 \leq 1.0 \quad (11.2)$	$\frac{P_r}{P_{cy}} \left( 1.5 - 0.5 \frac{P_r}{P_{cy}} \right) + \left( \frac{M_{rx}}{C_b M_{cx}} \right)^2 \leq 1.0 \quad (11.2)$
$\frac{440}{2559.8} \left( 1.5 - 0.5 \frac{440}{2559.8} \right) + \left( \frac{370.4}{1.32 \times 428.9} \right)^2 = 0.67 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{300}{1703.1} \left( 1.5 - 0.5 \frac{300}{1703.1} \right) + \left( \frac{247.6}{1.32 \times 285.4} \right)^2 = 0.68 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 11.3

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen HE 300 B enkesitli eleman, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 300 \text{ kN}$  ve  $P_Q = 600 \text{ kN}$  aksenal basınç kuvvetleri ile kuvvetli eksenine dik olmak üzere, sırasıyla,  $w_G = 4 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 8 \text{ kN/m}$  üniform yayılı yükler ve zayıf eksenine dik doğrultudaki  $F_G = 5 \text{ kN}$  ve  $F_Q = 7 \text{ kN}$  tekil yüklerin etkisindedir. Eleman mesnetlerde yanal olarak desteklenmiştir.

- a. Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)  
b. Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

HE 300 B özellikleri Örnek 11.1'de verilmiştir

### Çözüm

Elemanın karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4.1 uyarınca,

#### Yerel burkulma kontrolü

Eleman enkesitinin başlık ve gövde parçaları narin değildir (Bkz. Örnek 11.1).

Örnek 11.1'e göre

YDKT	GKT
Tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı	Güvenli aksenal basınç kuvveti dayanımı
$P_c = P_d = \phi_c P_n = 0.9 \times 2844.2 = 2559.8 \text{ kN}$	$P_c = P_g = \frac{P_n}{\Omega_c} = \frac{2844.2}{1.67} = 1703.1 \text{ kN}$

Elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi (x-ekseni etrafında eğilme durumu)

Yönetmelik 5.4.1 uyarınca,

#### Yerel burkulma kontrolü

Eleman enkesitinin başlık ve gövde parçaları kompakt sınıfındadır (Bkz. Örnek 11.1).

Yönetmelik 9.2.2 uyarınca,

#### Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_p = 3598 \text{ mm} \quad L_t = 15873 \text{ mm} \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

$$L_p = 3598 \text{ mm} < (L_b = 6000 \text{ mm}) < L_t = 15873 \text{ mm} \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

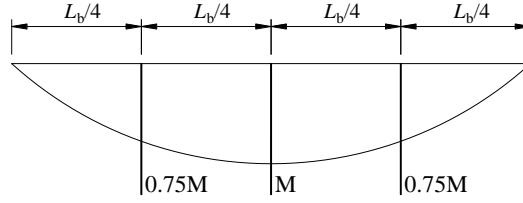
$M_n$  Denk.(9.3) ile belirlenecektir



$$M_p = 514 \text{ kNm}$$

(Bkz. Örnek 11.1)

Moment düzeltme katsayısı,  $C_b$



$$C_b = \frac{12.5 \times M}{2.5 \times M + 3 \times 0.75M + 4 \times M + 3 \times 0.75M} = 1.14 \quad (9.1)$$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{ex}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (9.3)$$

$$M_n = 1.14 \left[ 514 - (514 - 0.7 \times 275 \times 1678 \times 10^{-3}) \left( \frac{6 - 3.598}{15.873 - 3.598} \right) \right] = 543 \text{ kNm} \leq M_p \quad \star$$

$$M_{nx} = M_{px} = 514 \text{ kNm}$$

Elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi (y-ekseni etrafında eğilme durumu)

*Yönetmelik 5.4.1* uyarınca,

Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 13)

$$\lambda = \frac{b}{2 \times t_f} = \frac{300}{2 \times 19} = 7.89 < \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 10.2$$

Eleman enkesitinin başlık parçası kompakt sınıfı koşulunu sağlamaktadır. Gövde parçası için ayrı bir kontrole gerek yoktur.

Akma sınır durumu için *Yönetmelik 9.6.1*'e göre hesaplanan zayıf eksen etrafında eğilme momenti dayanımı

$$M_{ny} = M_{py} = W_{py} F_y \leq 1.6 W_{ey} F_y \quad (9.39)$$

$$M_{ny} = M_{py} = 870.1 \times 10^{-3} \times 275 = 239 \text{ kNm} \leq 1.6 \times 570.9 \times 10^{-3} \times 275 = 251 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Tasarım eğilme momenti dayanımları	Güvenli eğilme momenti dayanımları
$M_{cx} = M_{dx} = \phi_b M_n = 0.9 \times 514 = 462.6 \text{ kNm}$	$M_{cx} = M_{gx} = \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{514}{1.67} = 307.8 \text{ kNm}$

$M_{cy} = M_{dy} = \phi_b M_n = 0.9 \times 239 = 215.1 \text{ kNm}$	$M_{cy} = M_{gy} = \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{239}{1.67} = 143.1 \text{ kNm}$
---	---

Yönetmelik 5.3 uyarınca,

Gerekli aksenal kuvvet dayanımı ( $P_r$ ) ve gerekli eğilme momenti dayanımları ( $M_{rx}$ ,  $M_{ry}$ )

YDKT	GKT
Eksenal yük (5.3.1)	Eksenal yük (5.3.2)
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 300 + 1.6 \times 600 = 1320 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 300 + 600 = 900 \text{ kN}$
Düşey yayılı yük (5.3.1)	Düşey yayılı yük (5.3.2)
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $w_u = 1.2 \times 4 + 1.6 \times 8 = 17.6 \text{ kN/m}$	$w_a = w_G + w_Q$ $w_a = 4 + 8 = 12 \text{ kN/m}$
Yatay yük (5.3.1)	Yatay yük (5.3.2)
$F_u = 1.2F_G + 1.6F_Q$ $F_u = 1.2 \times 5 + 1.6 \times 7 = 17.2 \text{ kN}$	$F_a = F_G + F_Q$ $F_a = 5 + 7 = 12 \text{ kN}$

Analizler ikinci mertebe etkilerini de içermelidir.

Yönetmelik 6.2.1(d) uyarınca ikinci mertebe hesabı GKT yük birleşiminin 1.6 katına eşit bir yükleme durumu için yapılacaktır. Ancak gerekli dayanım, analiz sonuçlarınının 1.6 katsayısına bölünmesiyle elde edilecektir.

YDKT yükleme durumu	GKT yükleme durumu

İkinci mertebe etkileri gözönüne alan bir bilgisayar yazılımı yardımıyla elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmektedir.

x-ekseni etrafında eğilme etkisi durumunda,

YDKT	GKT
İkinci Mertebe Analiz	İkinci Mertebe Analiz
$M_{rx} = 88.3 \text{ kNm}$	$M_{rx} = 97.4 \text{ kNm}$

Birinci Mertebe Analiz	Birinci Mertebe Analiz
$M_x = \frac{17.6 \times 6^2}{8} = 79.2 \text{ kNm}$	$M_x = \frac{19.2 \times 6^2}{8} = 86.4 \text{ kNm}$
İkinci mertebe etkilerinden dolayı %11.5 artış meydana gelmektedir.	İkinci mertebe etkilerinden dolayı %12.7 artış meydana gelmektedir.

y-ekseni etrafında eğilme etkisi durumunda,

YDKT	GKT
İkinci Mertebe Analiz	İkinci Mertebe Analiz
$M_{ry} = 34.0 \text{ kNm}$	$M_{ry} = 39.0 \text{ kNm}$
Birinci Mertebe Analiz	Birinci Mertebe Analiz
$M_y = \frac{17.2 \times 6}{4} = 25.8 \text{ kNm}$	$M_y = \frac{19.2 \times 6}{4} = 28.8 \text{ kNm}$
İkinci mertebe etkilerinden dolayı %31.8 artış meydana gelmektedir.	İkinci mertebe etkilerinden dolayı %35.4 artış meydana gelmektedir.

Yönetmelik 6.5 e göre yaklaşık ikinci mertebe analizi ile gerekli eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (6.7)$$

YDKT	GKT
$M_{nt} = M_x = 79.2 \text{ kNm}$	$M_{nt} = M_x = 86.4 \text{ kNm}$
$M_{nt} = M_y = 25.8 \text{ kNm}$	$M_{nt} = M_y = 28.8 \text{ kNm}$
$M_{lt} = 0$	$M_{lt} = 0$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha P_r / P_{el}} \quad (6.9)$$

$$P_{el} = \frac{\pi^2 EI^*}{(K_1 L)^2} \quad (6.11)$$

x-ekseni etrafında eğilme etkisi durumunda,

Güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla,  $C_m = 1.0$  değeri kullanılabilir.

$$P_{elx} = \frac{\pi^2 \times 200000 \times 25170 \times 10^4}{(1 \times 6000)^2} \times 10^{-3} = 13800 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
$B_{1x} = \frac{1.0}{1 - 1 \times \frac{1320}{13800}} = 1.11 \quad (6.9)$	$B_{1x} = \frac{1.0}{1 - 1.6 \times \frac{900}{13800}} = 1.12 \quad (6.9)$

$M_{rx} = B_{1x}M_{nt} + B_{2x}M_{lt}$ (6.7)	$M_{rx} = B_{1x}M_{nt} + B_{2x}M_{lt}$ (6.7)
$M_{rx} = 1.11 \times 79.2 + 0 = 87.9 \text{ kNm}$	$M_{rx} = 1.12 \times 86.4 + 0 = 96.8 \text{ kNm}$
Bilgisayar analizi ile $M_{rx} = 88.3 \text{ kNm}$	Bilgisayar analizi ile $M_{rx} = 97.4 \text{ kNm}$
%0.5 fark	%0.6 fark

y-ekseni etrafında eğilme etkisi durumunda,

$$P_{ely} = \frac{\pi^2 \times 200000 \times 8563 \times 10^4}{(1 \times 6000)^2} \times 10^{-3} = 4695 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
$B_{1y} = \frac{1.0}{1 - 1 \times \frac{1320}{4695}} = 1.39$ (6.9)	$B_{1y} = \frac{1.0}{1 - 1.6 \times \frac{900}{4695}} = 1.44$ (6.9)
$M_{ry} = B_{1y}M_{nt} + B_{2y}M_{lt}$ (6.7)	$M_{ry} = B_{1y}M_{nt} + B_{2y}M_{lt}$ (6.7)
$M_{ry} = 1.39 \times 25.8 + 0 = 35.9 \text{ kNm}$	$M_{ry} = 1.44 \times 28.8 + 0 = 41.5 \text{ kNm}$
Bilgisayar analizi ile $M_{ry} = 34.0 \text{ kNm}$	Bilgisayar analizi ile $M_{ry} = 39.0 \text{ kNm}$
%5.6 fark	%6.4 fark

Not: Fark  $C_m$  değerinin güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla 1.0 e eşit olarak alınmasından kaynaklanmaktadır. Bu yükleme durumu için  $C_m = 0.93$  olarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değer kullanılması halinde, analiz sonuçları arasındaki fark azalmaktadır.

#### Gerekli ve mevcut dayanımlar

YDKT	GKT
$P_r = 1320 \text{ kN}$	$P_r = \frac{1440}{1.6} = 900 \text{ kN}$
$M_{rx} = 88.3 \text{ kNm}$	$M_{rx} = \frac{97.4}{1.6} = 60.9 \text{ kNm}$
$M_{ry} = 34.0 \text{ kNm}$	$M_{ry} = \frac{39.0}{1.6} = 24.4 \text{ kNm}$
$P_c = 2559.8 \text{ kN}$	$P_c = 1703.1 \text{ kN}$
$M_{cx} = 462.6 \text{ kNm}$	$M_{cx} = 307.8 \text{ kNm}$
$M_{cy} = 215.1 \text{ kNm}$	$M_{cy} = 143.1 \text{ kNm}$

#### Bileşik etkiler altında dayanım kontrolü

Bilgisayar analizi ile hesaplanan  $P_r$ ,  $M_{rx}$  ve  $M_{ry}$  değerleri kullanılmıştır.

YDKT	GKT
<b>a.</b> Elemanın bileşik etkiler altında tasarım	<b>b.</b> Elemanın bileşik etkiler altında güvenli

dayanımının kontrolü	dayanımının kontrolü
$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1320}{2559.8} = 0.52 \geq 0.2$	$\frac{P_r}{P_c} = \frac{900}{1703.1} = 0.53 \geq 0.2$
$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (11.1a)$	$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (11.1a)$
$\frac{1320}{2559.8} + \frac{8}{9} \left( \frac{88.3}{462.6} + \frac{34}{215.1} \right) = 0.83 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{900}{1703.1} + \frac{8}{9} \left( \frac{60.9}{307.8} + \frac{24.4}{143.1} \right) = 0.86 \leq 1.0 \checkmark$

#### Örnek 11.4

Örnek 11.3'te verilen elemanın bileşik etkiler altında dayanımının *Yönetmelik* 11.2 kuralları ile kontrolü.

a. Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

**b. Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)**

**Çözüm**

Elemanın karakteristik basınç kuvveti ve eğilme momenti dayanımları Örnek 11.3'te hesaplanmıştır. Eleman iç kuvvetleri de Örnek 11.3'te verilmektedir.

İç kuvvetler ve dayanımlar

YDKT	GKT
$P_r = 1320 \text{ kN}$	$P_r = 900 \text{ kN}$
$M_{rx} = 88.3 \text{ kNm}$	$M_{rx} = 60.9 \text{ kNm}$
$M_{ry} = 34.0 \text{ kNm}$	$M_{ry} = 24.4 \text{ kNm}$
$\phi_c P_n = 2559.8 \text{ kN}$	$\frac{P_n}{\Omega_c} = 1703.1 \text{ kN}$
$\phi_b M_{nx} = 462.6 \text{ kNm}$	$\frac{M_{nx}}{\Omega_b} = 307.8 \text{ kNm}$
$\phi_b M_{ny} = 215.1 \text{ kNm}$	$\frac{M_{ny}}{\Omega_b} = 143.1 \text{ kNm}$

Eksenel gerilme, eğilme gerilmeleri ve mevcut sınır gerilmelerin hesabı

YDKT	GKT
$f_{ra} = \frac{P_r}{A} = \frac{1320}{14910 \times 10^{-3}} = 88.5 \text{ N/mm}^2$	$f_{ra} = \frac{P_r}{A} = \frac{900}{14910 \times 10^{-3}} = 60.4 \text{ N/mm}^2$
$f_{rbw} = \frac{M_{rx}}{W_{ex}} = \frac{88.3 \times 10^3}{1678} = 52.6 \text{ N/mm}^2$	$f_{rbw} = \frac{M_{rx}}{W_{ex}} = \frac{60.9 \times 10^3}{1678} = 36.3 \text{ N/mm}^2$
$f_{rbz} = \frac{M_{ry}}{W_{ey}} = \frac{34.0 \times 10^3}{570.9} = 59.6 \text{ N/mm}^2$	$f_{rbz} = \frac{M_{ry}}{W_{ey}} = \frac{24.4 \times 10^3}{570.9} = 42.7 \text{ N/mm}^2$
$F_{ca} = \frac{\phi_c P_n}{A} = \frac{2559.8}{14910 \times 10^{-3}} = 171.7 \text{ N/mm}^2$	$F_{ca} = \frac{P_n}{\Omega_c A} = \frac{1703.1}{14910 \times 10^{-3}} = 114.2 \text{ N/mm}^2$
$F_{cbw} = \frac{\phi_b M_{nx}}{W_{ex}} = \frac{462.6 \times 10^3}{1678} = 275.7 \text{ N/mm}^2$	$F_{cbw} = \frac{M_{nx}}{\Omega_b W_{ex}} = \frac{307.8 \times 10^3}{1678} = 183.4 \text{ N/mm}^2$
$F_{cbz} = \frac{\phi_b M_{ny}}{W_{ey}} = \frac{215.1 \times 10^3}{570.9} = 376.8 \text{ N/mm}^2$	$F_{cbz} = \frac{M_{ny}}{\Omega_b W_{ey}} = \frac{143.1 \times 10^3}{570.9} = 250.7 \text{ N/mm}^2$

Bileşik etkiler altında dayanım kontrolü

$$\left| \frac{f_{ra}}{F_{ca}} + \frac{f_{rbw}}{F_{cbw}} + \frac{f_{rbz}}{F_{cbz}} \right| \leq 1.0$$

(11.3)

YDKT	GKT
<b>a. Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü</b>
$\left  \frac{88.5}{171.7} + \frac{52.6}{275.7} + \frac{59.6}{376.8} \right  = 0.86 \leq 1.0 \checkmark$	$\left  \frac{60.4}{114.2} + \frac{36.3}{183.4} + \frac{42.7}{250.7} \right  = 0.90 \leq 1.0 \checkmark$

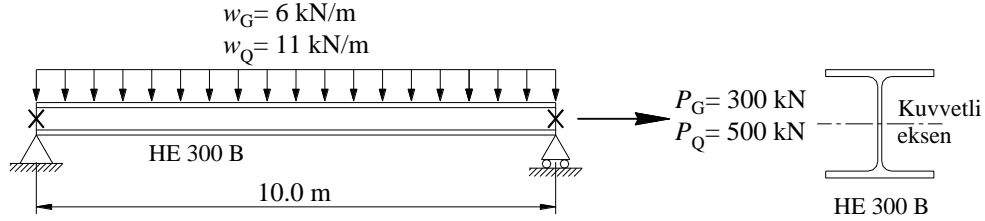
### Örnek 11.5

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen HE 300 B enkesitli eleman, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 300$  kN ve  $P_Q = 500$  kN aksenal çekme kuvvetleri ile

kuvvetli eksenine dik olmak üzere, sırasıyla,  $w_G = 6 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 11 \text{ kN/m}$  yayılı yükler etkisindedir. Eleman mesnetlerde yanall olarak desteklenmiştir.

a. Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

### Enkesit

HE 300 B profilinin özellikleri Örnek 11.1'de verilmektedir.

### Çözüm

Yönetmelik 7.2 ye göre elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

$$P_n = T_n = F_y A_g = 275 \times 14910 \times 10^{-3} = 4100.3 \text{ kN} \quad (7.2)$$

YDKT	GKT
Tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımı	Güvenli eksenel çekme kuvveti dayanımı
$P_c = \phi_t P_n = 0.9 \times 4100.3 = 3690.3 \text{ kN}$	$P_c = \frac{P_n}{\Omega_t} = \frac{4100.3}{1.67} = 2455.3 \text{ kN}$

Elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4.1 uyarınca,

### Yerel burkulma kontrolü

Eleman enkesitinin başlık ve gövde parçaları kompakt sınıfındadır. (Bkz. Örnek 11.1)

Yönetmelik 9.2.2 uyarınca,

### Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_p = 3598 \text{ mm} \quad L_t = 15873 \text{ mm} \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

$$L_p = 3598 \text{ mm} < (L_b = 10000 \text{ mm}) < L_t = 15873 \text{ mm} \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

$M_n$  Denk.(9.3) ile belirlenecektir.

$$M_p = 514 \text{ kNm} \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

$$C_b = 1.14 \quad (\text{Bkz. Örnek 11.3})$$

Yönetmelik 11.1.2 uyarınca, moment düzeltme katsayısı  $C_b$ 'nin değeri  $\sqrt{1 + \frac{\alpha P_t}{P_{ey}}}$  katsayısı ile çarpılabilir.



$$P_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_b^2} = \frac{\pi^2 \times 200000 \times 8563 \times 10^4}{10000^2} \times 10^{-3} = 1690.3 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
$P_r = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_r = P_u = 1.2 \times 300 + 1.6 \times 500 = 1160 \text{ kN}$	$P_r = P_a = P_G + P_Q$ $P_r = P_a = 300 + 500 = 800 \text{ kN}$
$\sqrt{1 + \frac{1 \times 1160}{1690.3}} = 1.30$ (11.1.2)	$\sqrt{1 + \frac{1.6 \times 800}{1690.3}} = 1.33$ (11.1.2)
$C_b = 1.14 \times 1.30 = 1.48$	$C_b = 1.14 \times 1.33 = 1.52$

YDKT yöntemi için

$$M_n = 1.48 \left[ 514 - \left( 514 - 0.7 \times 275 \times 1678 \times 10^{-3} \right) \left( \frac{10 - 3.598}{15.873 - 3.598} \right) \right] = 613 \text{ kNm} \leq M_p \quad \star \quad (9.3)$$

$$M_n = M_p = 514 \text{ kNm}$$

GKT yöntemi için

$$M_n = 1.52 \left[ 514 - \left( 514 - 0.7 \times 275 \times 1678 \times 10^{-3} \right) \left( \frac{10 - 3.598}{15.873 - 3.598} \right) \right] = 630 \text{ kNm} \leq M_p \quad \star \quad (9.3)$$

$$M_n = M_p = 514 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Tasarım eğilme momenti dayanımı	Güvenli eğilme momenti dayanımı
$M_{cx} = M_{dx} = \phi_b M_n = 0.9 \times 514 = 462.6 \text{ kNm}$	$M_{cx} = M_{gx} = \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{514}{1.67} = 307.8 \text{ kNm}$

Gerekli eksenel çekme kuvveti dayanımı ( $P_r$ ) ve gerekli eğilme momenti dayanımı ( $M_r$ )

YDKT	GKT
Eksenel yük (5.3.1)	Eksenel yük (5.3.2)
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 300 + 1.6 \times 500 = 1160 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 300 + 500 = 800 \text{ kN}$
Düşey yayılı yük (5.3.1)	Düşey yayılı yük (5.3.2)
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $w_u = 1.2 \times 6 + 1.6 \times 11 = 24.8 \text{ kN/m}$	$w_a = w_G + w_Q$ $w_a = 6 + 11 = 17 \text{ kN/m}$

Analizler ikinci merteye etkileri de içermelidir.

*Yönetmelik* 6.2.1(d) uyarınca ikinci merteye hesabı GKT yük birleşiminin 1.6 katına eşit bir yükleme durumu için yapılacaktır. Ancak gerekli dayanım, analiz sonuçlarınının 1.6 katsayısına bölünmesiyle elde edilecektir.

YDKT yöntemi için yükleme durumu	GKT yöntemi için yükleme durumu

İkinci mertebe etkileri gözönüne alan bir bilgisayar yazılımı yardımıyla elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmektedir.

YDKT	GKT
İkinci Mertebe Analiz	İkinci Mertebe Analiz
$M_{rx} = 248.9 \text{ kNm}$	$M_{rx} = 267.5 \text{ kNm}$
Birinci Mertebe Analiz	Birinci Mertebe Analiz
$M_x = \frac{24.8 \times 10^2}{8} = 310.0 \text{ kNm}$	$M_x = \frac{27.2 \times 10^2}{8} = 340.0 \text{ kNm}$
İkinci mertebe etkileri nedeniyle %19.7 azalma meydana gelmektedir.	İkinci mertebe etkileri nedeniyle %21.3 azalma meydana gelmektedir.

#### Bileşik etkiler altında dayanım kontrolü

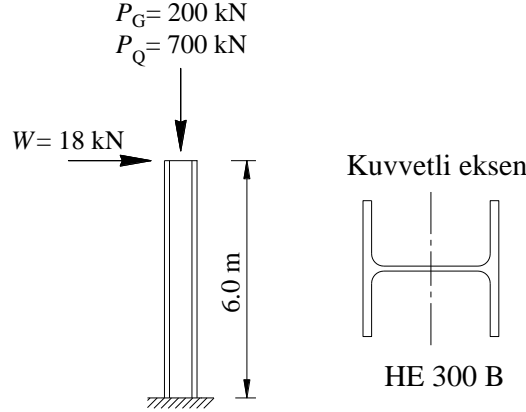
YDKT	GKT
<b>a.</b> Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü
$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1160}{3690.3} = 0.31 \geq 0.2$	$\frac{P_r}{P_c} = \frac{800}{2455.3} = 0.33 \geq 0.2$
$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1.0 \quad (11.1a)$	$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1.0 \quad (11.1a)$
$\frac{1160}{3690.3} + \frac{8}{9} \left( \frac{248.9}{462.6} \right) = 0.79 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{800}{2455.3} + \frac{8}{9} \left( \frac{167.2}{307.8} \right) = 0.81 \leq 1.0 \checkmark$

#### Örnek 11.6

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen HE 300 B enkesitli eleman, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 200 \text{ kN}$  ve  $P_Q = 700 \text{ kN}$  aksenal basınç kuvvetleri ile

kuvvetli eksenine dik olmak üzere,  $W = 18 \text{ kN}$  yatay rüzgar yükü etkisindedir. Elemanın eğilme düzlemine dik burkulması önlenmiştir. Burkulma boyu yöntemini esas alarak,

- Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

HE 300 B nin enkesit özellikleri Örnek 11.1'de verilmektedir.

### Çözüm

Elemanın karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4.1 uyarınca,

#### Yerel burkulma kontrolü

Eleman enkesitinin başlık ve gövde enkesit parçaları narin değildir (Bkz. Örnek 11.1).

Yönetmelik 8.2.1 uyarınca,

#### Eğilmeli burkulma sınır durumu

Elemanın basınç kuvveti dayanımını, (x-x) ekseninde oluşan eğilmeli burkulma durumu belirleyecektir. (y-y) ekseninde burkulma önlenmiştir.

Yönetmelik 6.4.3(2)(a) uyarınca temel dönmesinin sifıra eşit olduğu varsayılarak  $G = 0$  olarak alınmıştır.  $G_A = 0$  ve  $G_B = \infty$  olması durumu nedeniyle, burkulma boyu katsayısı Yönetmelik Şekil 6.2'den  $K = 2.0$  olarak elde edilir.

$$\lambda_{\text{maks}} = \frac{2.0 \times 6000}{129.9} = 92.4 \leq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127.0 \quad (8.2)$$

Elastik burkulma gerilmesi

$$F_c = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cx}}{i_x}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(92.4)^2} = 231.2 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_c}}\right) F_y = \left(0.658^{\frac{275}{231.2}}\right) 275 = 167.2 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı

$$P_n = F_{cr} A_g = 167.2 \times 14910 \times 10^{-3} = 2493.0 \text{ kN} \quad (8.1)$$

YDKT	GKT
Tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı	Güvenli aksenal basınç kuvveti dayanımı
$P_c = \phi_c P_n = 0.9 \times 2493.0 = 2243.7 \text{ kN}$	$P_c = \frac{P_n}{\Omega_c} = \frac{2493.0}{1.67} = 1492.8 \text{ kN}$

Elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi (x-ekseni etrafında eğilme durumu)

*Yönetmelik 5.4.1* uyarınca,

Yerel burkulma kontrolü

Eleman enkesitinin başlık ve gövde parçaları kompakt sınıfındadır. (Bkz. Örnek 11.1)

*Yönetmelik 9.2.2* uyarınca,

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_p = 3598 \text{ mm} \quad L_t = 15873 \text{ mm} \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

$$L_p = 3598 \text{ mm} < (L_b = 6000 \text{ mm}) < L_t = 15873 \text{ mm} \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

$M_n$  Denk.(9.3) ile belirlenecektir

$$M_p = 514 \text{ kNm} \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

Moment düzeltme katsayısı,  $C_b$

Konsol elemanlarda *Yönetmelik 9.1(e)* uyarınca, Denk.(9.1) ile tanımlanan  $C_b$  ifadeleri geçerli değildir ve  $C_b=1.0$  alınmalıdır.

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{ex}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_t - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (9.3)$$

$$M_n = 1.0 \left[ 514 - (514 - 0.7 \times 275 \times 1678 \times 10^{-3}) \left( \frac{6 - 3.598}{15.873 - 3.598} \right) \right] = 476.6 \text{ kNm} < M_p$$

YDKT	GKT
------	-----

Tasarım eğilme momenti dayanımı	Güvenli eğilme momenti dayanımı
$M_{cx} = M_{dx} = \phi_b M_n = 0.9 \times 476.6 = 428.9 \text{ kNm}$	$M_{cx} = M_{gx} = \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{476.6}{1.67} = 285.4 \text{ kNm}$

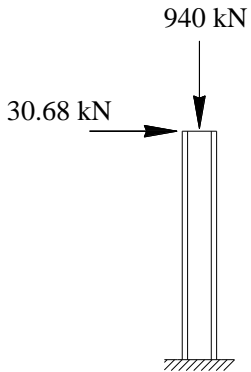
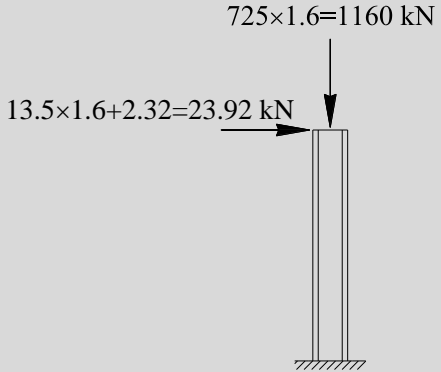
Yönetmelik 5.3 uyarınca,

Gerekli aksel kuvvet dayanımı ( $P_r$ ) ve gerekli eğilme momenti dayanımı ( $M_r$ )

YDKT	GKT
$1.2G + 1.0Q + 1.6W$ (5.3.1)	$G + 0.75Q + 0.75W$ (5.3.2)
Eksenel yük	Eksenel yük
$P_u = 1.2P_G + 1.0P_Q$ $P_u = 1.2 \times 200 + 1.0 \times 700 = 940 \text{ kN}$	$P_a = P_G + 0.75P_Q$ $P_a = 200 + 0.75 \times 700 = 725 \text{ kN}$
Yatay yük	Yatay yük
$W_u = 1.6W$ $W_u = 1.6 \times 18 = 28.8 \text{ kN}$	$W_a = 0.75W$ $W_a = 0.75 \times 18 = 13.5 \text{ kN}$
Fiktif yük (6.2.2.2)	Fiktif yük (6.2.2.2)
$N = 0.002 \times 1 \times 940 = 1.88 \text{ kN}$ (6.1)	$N = 0.002 \times 1.6 \times 725 = 2.32 \text{ kN}$ (6.1)

Analizler ikinci mertebe etkileri de içermelidir.

Yönetmelik 6.2.1(d) uyarınca ikinci mertebe hesabı GKT yük birleşiminin 1.6 katına eşit bir yükleme durumu için yapılacaktır. Ancak gerekli dayanım, analiz sonuçlarının 1.6 katsayısına bölünmesiyle elde edilecektir.

YDKT yöntemi için yükleme durumu	GKT yöntemi için yükleme durumu
	

İkinci mertebe etkileri gözönüne alan bir bilgisayar yazılımı yardımıyla elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmektedir.

YDKT	GKT
------	-----

Mesnette İkinci Mertebe Eğilme Momenti	Mesnette İkinci Mertebe Eğilme Momenti
$M_{rx} = 241.44 \text{ kNm}$	$M_{rx} = 204.12 \text{ kNm}$
Mesnette Birinci Mertebe Eğilme Momenti	Mesnette Birinci Mertebe Eğilme Momenti
$M_{rx} = 184.08 \text{ kNm}$	$M_{rx} = 143.52 \text{ kNm}$
İkinci mertebe etkileri nedeniyle %31.2 artış meydana gelmektedir.	İkinci mertebe etkileri nedeniyle %42.2 artış meydana gelmektedir.

*Yönetmelik 6.5* esas alınarak yaklaşık ikinci mertebe analiz ile gerekli eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (6.7)$$

YDKT	GKT
$M_{nt} = 0$	$M_{nt} = 0$
$M_{lt} = 30.68 \times 6 = 184.08 \text{ kNm}$	$M_{lt} = 23.92 \times 6 = 143.52 \text{ kNm}$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{kat}}{P_{e, kat}}} \quad (6.12)$$

$$P_{e, kat} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} \quad (6.13)$$

$$R_M = 1 - 0.15(P_{mf} / P_{kat}) \quad (6.14)$$

Tek elemandan oluşan bu sistemde  $P_{mf}/P_{kat} = 1.0$  olarak elde edilir. Bu durumda,  $R_M = 0.85$  olarak hesaplanır.

YDKT	GKT
İkinci mertebe etkiler terk edilerek yapılan analiz sonucunda 44.6mm tepe yerdeğiştirmesi elde edilmektedir.	İkinci mertebe etkiler terk edilerek yapılan analiz sonucunda 34.8mm tepe yerdeğiştirmesi elde edilmektedir.
$P_{e, kat} = 0.85 \frac{30.68 \times 6000}{44.6} = 3508 \text{ kN} \quad (6.13)$	$P_{e, kat} = 0.85 \frac{23.92 \times 6000}{34.8} = 3506 \text{ kN} \quad (6.13)$
$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1 \times 940}{3508}} = 1.37 \quad (6.12)$	$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1.6 \times 725}{3506}} = 1.49 \quad (6.12)$
$M_{rx} = 0 + 1.37 \times 184.08 = 252.2 \text{ kNm}$	$M_{rx} = 0 + 1.49 \times 143.52 = 213.8 \text{ kNm}$
Bilgisayar analizi ile %4.5 fark	Bilgisayar analizi ile %4.7 fark
$B_2 = 1.37 \leq 1.50$ <i>Yönetmelik 6.4.1(b)</i> uyarınca, burkulma boyu yöntemi kullanılabilir	$B_2 = 1.49 \leq 1.50$ <i>Yönetmelik 6.4.1(b)</i> uyarınca, burkulma boyu yöntemi kullanılabilir

Bileşik etkiler altında dayanım kontrolü

YDKT	GKT
<b>a.</b> Elemanın bileşik etkiler altında tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Elemanın bileşik etkiler altında güvenli dayanımının kontrolü
$\frac{P_r}{P_c} = \frac{940}{2243.7} = 0.42 > 0.2$	$\frac{P_r}{P_c} = \frac{725}{1492.8} = 0.49 > 0.2$
$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1.0$ (11.1a)	$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1.0$ (11.1a)
$\frac{940}{2243.7} + \frac{8}{9} \left( \frac{241.44}{428.9} \right) = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{725}{1492.8} + \frac{8}{9} \left( \frac{127.6}{285.4} \right) = 0.88 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 11.7

Örnek 11.6’da verilen elemanın genel analiz yöntemi kullanılarak kontrolü.

a. Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)

### Çözüm

Elemanın karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yerel burkulma kontrolü Örnek 11.6’da verilmektedir.

#### Eğilmeli burkulma sınır durumu

Elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, x-ekseni etrafında oluşan eğilmeli burkulma durumu belirleyecektir. y-ekseni etrafında burkulma önlenmiştir. Stabilité kontrolünde *Yönetmelik* 6.3.3 uyarınca,  $K = 1.0$  olarak alınacaktır.

$$\lambda_{\text{maks}} = \frac{1.0 \times 6000}{129.9} = 46.2 \leq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127.0 \quad (8.2)$$

Elastik burkulma gerilmesi

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cx}}{i_x}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(46.2)^2} = 924.8 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y = \left(0.658^{\frac{275}{924.8}}\right) 275 = 242.8 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı

$$P_n = F_{cr} A_g = 242.8 \times 14910 \times 10^{-3} = 3620.1 \text{ kN} \quad (8.1)$$

YDKT	GKT
Tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı	Güvenli aksenal basınç kuvveti dayanımı
$P_c = \phi_c P_n = 0.9 \times 3620.1 = 3258.1 \text{ kN}$	$P_c = \frac{P_n}{\Omega_c} = \frac{3620.1}{1.67} = 2167.7 \text{ kN}$

Elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi (x-ekseni etrafında eğilme durumu)

Hesap adımları Örnek 11.6 ile aynıdır.

YDKT	GKT
Tasarım eğilme momenti dayanımı	Güvenli eğilme momenti dayanımı
$M_{cx} = M_{dx} = \phi_b M_n = 0.9 \times 476.6 = 428.9 \text{ kNm}$	$M_{cx} = M_{gx} = \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{476.6}{1.67} = 285.4 \text{ kNm}$

Gerekli aksenal kuvvet dayanımı,  $P_r$  ve gerekli eğilme momenti dayanımı,  $M_r$ ,



Eleman yükleri Örnek 11.6’da hesaplanan yükler ile aynıdır.

*Yönetmelik 6.3.2* uyarınca, genel analiz yöntemi ile tasarımda gerekli dayanımlar, rijitlik azaltılması uygulanarak hesaplanacaktır.

*Yönetmelik 6.2.3(a)* uyarınca, tüm yapı elemanlarının eğilme, kayma ve eksenel rijitlikleri 0.8 ile çarpılarak azaltılacaktır. Tüm yapı elemanlarının eğilme rijitlikleri ayrıca, *Yönetmelik 6.2.3(b)* uyarınca,  $\tau_b$  ile çarpılacaktır.

$$P_{ns} = F_y A_g = 275 \times 14910 \times 10^{-3} = 4100 \text{ kN} \quad (6.2)$$

YDKT	GKT
$\frac{\alpha P_r}{P_{ns}} = \frac{1.0 \times 940}{4100} = 0.23 < 0.5$	$\frac{\alpha P_r}{P_{ns}} = \frac{1.6 \times 725}{4100} = 0.28 < 0.5$
$\tau_b = 1.0$	$\tau_b = 1.0$

İkinci merteye etkileri gözönüne alan bir bilgisayar yazılımı yardımıyla elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmektedir.

YDKT	GKT
Mesnette İkinci Merteye Eğilme Momenti	Mesnette İkinci Merteye Eğilme Momenti
$M_{rx} = 262.97 \text{ kNm}$	$M_{rx} = 229.85 \text{ kNm}$
Mesnette Birinci Merteye Eğilme Momenti	Mesnette Birinci Merteye Eğilme Momenti
$M_{rx} = 184.08 \text{ kNm}$	$M_{rx} = 143.52 \text{ kNm}$
İkinci merteye etkiler nedeniyle %42.9 artış meydana gelmektedir.	İkinci merteye etkiler nedeniyle %60.2 artış meydana gelmektedir.

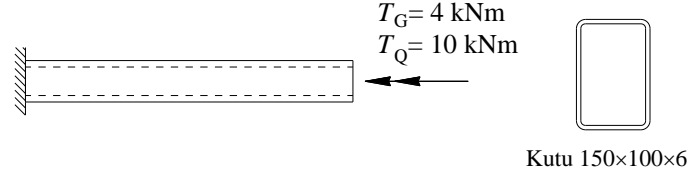
#### Bileşik etkiler altında dayanım kontrolü

YDKT	GKT
<b>a.</b> Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü
$\frac{P_r}{P_c} = \frac{940}{3258.1} = 0.29 > 0.2$	$\frac{P_r}{P_c} = \frac{725}{2167.7} = 0.33 > 0.2$
$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1.0 \quad (11.1a)$	$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1.0 \quad (11.1a)$
$\frac{940}{3258.1} + \frac{8}{9} \left( \frac{262.97}{428.9} \right) = 0.83 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{725}{2167.7} + \frac{8}{9} \left( \frac{143.66}{285.4} \right) = 0.78 \leq 1.0 \checkmark$

#### Örnek 11.8

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen, elektrik direnç kaynağı kullanılarak oluşturulan Kutu 150×100×6 enkesitli eleman, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $T_G = 4$  kN/m ve  $T_Q = 10$  kN/m burulma momenti etkisindedir.

- Elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1B})$$

### Enkesit

Kutu 150×100×6

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,

$$t = 0.93 \times 6 = 5.58 \text{ mm}$$

### Çözüm

Elemanın karakteristik burulma momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 11.3.1 uyarınca,

$$T_n = F_{cr} C \quad (11.4)$$

Yönetmelik 5.4.1.2(d) uyarınca,

$$h = H - 3t = 150 - 3 \times 5.58 = 133.3 \text{ mm}$$

Yönetmelik 11.3.1(b) uyarınca,

$$\frac{h}{t} = \frac{133.3}{5.58} = 23.9 \leq 2.45 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 66.1$$

$$F_{cr} = 0.6 F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ N/mm}^2 \quad (11.7)$$

Burulma sabiti

$$C = 2(B-t)(H-t)t - 4.5(4-\pi)t^2 \quad (11.10)$$

$$C = 2(100-5.58)(150-5.58) \times 5.58 - 4.5(4-\pi) \times 5.58^2 = 152059 \text{ mm}^3 \quad (11.10)$$

$$T_n = F_{cr} C = 165 \times 152059 \times 10^{-6} = 25.1 \text{ kNm} \quad (11.4)$$

YDKT	GKT
------	-----

Tasarım burulma momenti dayanımı	Güvenli burulma momenti dayanımı
$T_d = \phi_T T_n = 0.9 \times 25.1 = 22.6 \text{ kNm}$	$T_g = \frac{T_n}{\Omega_T} = \frac{25.1}{1.67} = 15.0 \text{ kNm}$

Yönetmelik 5.3 uyarınca,

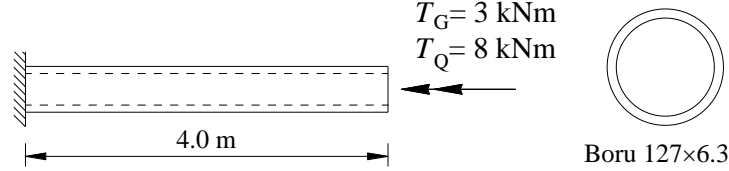
Gerekli burulma momenti dayanımı,  $T_r$ ,

YDKT	GKT
Gerekli burulma momenti dayanımı	Gerekli burulma momenti dayanımı
$T_u = 1.2T_G + 1.6T_Q$ $T_u = 1.2 \times 4 + 1.6 \times 10 = 20.8 \text{ kNm}$	$T_a = T_G + T_Q$ $T_a = 4 + 10 = 14 \text{ kNm}$
<b>a.</b> Elemanın tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Elemanın güvenli dayanımının kontrolü
$\frac{T_u}{T_d} = \frac{20.8}{22.6} = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{T_a}{T_g} = \frac{14.0}{15.0} = 0.93 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 11.9

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen, elektrik direnç kaynağı kullanılarak oluşturulan Boru 127×6.3 enkesitli eleman, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $T_G = 3$  kN/m ve  $T_Q = 8$  kN/m burulma momenti etkisindedir.

- Elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1B})$$

### Enkesit

Boru 127×6.3

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,

$$t = 0.93 \times 6.3 = 5.86 \text{ mm}$$

### Çözüm

Elemanın karakteristik burulma momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 11.3.1 uyarınca,

$$T_n = F_{cr} C \quad (11.4)$$

Yönetmelik 11.3.1(a) uyarınca, boru enkesitli elemanlar için Denk.(11.5a) ve (11.5b) ile hesaplanan değerlerden büyüğü kritik gerilme,  $F_{cr}$ , olarak alınacaktır.

$$F_{cr} = \frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left( \frac{D}{t} \right)^{5/4}}} \leq 0.6F_y \quad (11.5a)$$

$$F_{cr} = \frac{1.23 \times 200000}{\sqrt{\frac{4000}{127} \left( \frac{127}{5.86} \right)^{5/4}}} = 937.4 \leq 0.6 \times 275 = 165 \text{ N/mm}^2 \quad \times \quad (11.5a)$$

$$F_{cr} = \frac{0.6E}{\left( \frac{D}{t} \right)^{3/2}} \leq 0.6F_y \quad (11.5b)$$

$$F_{cr} = \frac{0.6 \times 200000}{\left( \frac{127}{5.86} \right)^{3/2}} = 1189.4 \leq 0.6 \times 275 = 165 \text{ N/mm}^2 \quad \times \quad (11.5b)$$

$$F_{cr} = 165 \text{ N/mm}^2$$

Burulma sabiti,  $C$ ,

$$C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2} = \frac{\pi(127-5.86)^2 \times 5.86}{2} = 135080 \text{ mm}^3 \quad (11.6)$$

$$T_n = F_{cr} C = 165 \times 135080 \times 10^{-6} = 22.3 \text{ kNm} \quad (11.4)$$

YDKT	GKT
Tasarım burulma momenti dayanımı	Güvenli burulma momenti dayanımı
$T_d = \phi_T T_n = 0.9 \times 22.3 = 20.07 \text{ kNm}$	$T_g = \frac{T_n}{\Omega_T} = \frac{22.3}{1.67} = 13.35 \text{ kNm}$

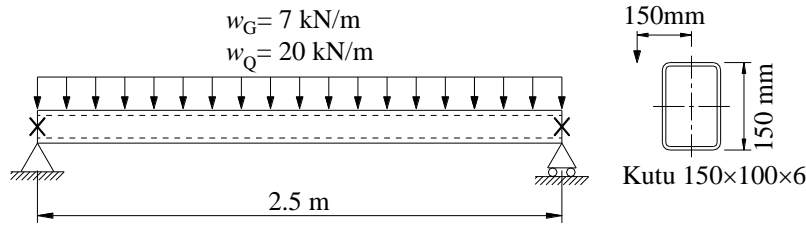
Yönetmelik 5.3 uyarınca,

Gerekli burulma momenti dayanımı, ( $T_r$ )

YDKT	GKT
Gerekli burulma momenti dayanımı (5.3.1)	Gerekli burulma momenti dayanımı (5.3.2)
$T_u = 1.2T_G + 1.6T_Q$ $T_u = 1.2 \times 3 + 1.6 \times 8 = 16.4 \text{ kNm}$	$T_a = T_G + T_Q$ $T_a = 3 + 8 = 11 \text{ kNm}$
<b>a.</b> Elemanın tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Elemanın güvenli dayanımının kontrolü
$\frac{T_u}{T_d} = \frac{16.4}{20.07} = 0.82 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{T_a}{T_g} = \frac{11.0}{13.35} = 0.82 \leq 1.0 \checkmark$

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen, elektrik direnç kaynağı kullanılarak oluşturulan Kutu 150×100×6 enkesitli eleman, sabit ve hareketli yükler altında, kuvvetli eksenine dik olmak üzere, zayıf eksenine dik doğrultuda 150mm dışmerkezli olarak, sırasıyla,  $w_G = 7 \text{ kN/m}$  ve  $w_Q = 20 \text{ kN/m}$  üniform yayılı yüklerin etkisindedir. Eleman uçları burulmaya karşı ankastre olacak şekilde mesnetlenmiştir.

- Mesnet noktalarında elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Mesnet noktalarında elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)
- Mesnetten 0.5m uzaklıkta elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Mesnetten 0.5m uzaklıkta elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1B})$$

### Enkesit

Kutu 150×100×6

$$W_{px} = 136.7 \text{ cm}^3 \quad H = 150 \text{ mm} \quad B = 100 \text{ mm} \quad t = 6.0 \text{ mm}$$

### Çözüm

*Yönetmelik 5.4.2* uyarınca, elektrik direnç kaynağı kullanılarak üretilen kutu enkesitli elemanların kesit hesaplarında tasarım et (cidar) kalınlığı, karakteristik et kalınlığının 0.93 katına eşit olarak alınacaktır.

### Tasarım et kalınlığına göre enkesit bilgileri,

Kutu 150×100×6

$$W_{px} = 128.4 \text{ cm}^3 \quad H = 150 \text{ mm} \quad B = 100 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 6.0 = 5.58 \text{ mm}$$

Eğrilik yarıçapı belirtilmediğinden gövde yüksekliği *Yönetmelik 5.4.1.2(d)* kurallarına göre belirlenecektir.

$$h = H - 3t = 150 - 3 \times 5.58 = 133.3 \text{ mm}$$

### Elemanın karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 10.4* uyarınca,

$$A_w = 2ht = 2 \times 133.3 \times 5.58 = 1487.6 \text{ mm}^2$$

$$k_v = 5$$

$$\frac{h}{t} = 23.9 \leq 1.10 \sqrt{\frac{5 \times 200000}{275}} = 66.3$$

$$C_{v2} = 1.0 \quad (10.7a)$$

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v2} = 0.6 \times 275 \times 1487.6 \times 1.0 \times 10^{-3} = 245.5 \text{ kN} \quad (10.12)$$

YDKT	GKT
Tasarım kesme kuvveti dayanımı	Güvenli kesme kuvveti dayanımı
$V_d = V_c = \phi_v V_n = 0.9 \times 245.5 = 221.0 \text{ kN}$	$V_g = V_c = \frac{V_n}{\Omega_v} = \frac{245.5}{1.67} = 147.0 \text{ kN}$

Elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 5.4.1* uyarınca,

Yerel burkulma kontrolü

Başlık enkesit parçası (Tablo 5.1B, Durum 17)

$$\frac{b}{t} = \frac{83.3}{5.58} = 14.9 \leq 1.12 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 30.2$$

Gövde enkesit parçası (Tablo 5.1B, Durum 19)

$$\frac{h}{t} = \frac{133.3}{5.58} = 23.9 \leq 2.42 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 65.3$$

Eleman enkesitinin başlık ve gövde enkesit parçaları kompakt olarak sınıflandırılır.

Plastik eğilme momenti dayanımı

$$M_n = M_p = F_y W_p = 128.4 \times 10^3 \times 275 \times 10^{-6} = 35.3 \text{ kNm} \quad (9.2)$$

YDKT	GKT
Tasarım eğilme momenti dayanımı	Güvenli eğilme momenti dayanımı
$M_{cx} = \phi_b M_n = 0.9 \times 35.3 = 31.8 \text{ kNm}$	$M_{cx} = \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{35.3}{1.67} = 21.1 \text{ kNm}$

Elemanın karakteristik burulma momenti dayanımının belirlenmesi (Bkz. Örnek 11.8)

YDKT	GKT
Tasarım burulma momenti dayanımı	Güvenli burulma momenti dayanımı
$T_d = T_c = \phi_T T_n = 0.9 \times 25.1 = 22.6 \text{ kNm}$	$T_g = T_c = \frac{T_n}{\Omega_T} = \frac{25.1}{1.67} = 15.0 \text{ kNm}$

*Yönetmelik 5.3* uyarınca,

Gerekli eğilme momenti, kesme kuvveti ve burulma momenti dayanımı

YDKT	GKT
Yayıllı yük (5.3.1)	Yayıllı yük (5.3.2)
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $w_u = 1.2 \times 7 + 1.6 \times 20 = 40.4 \text{ kN/m}$	$w_a = w_G + w_Q$ $w_a = 7 + 20 = 27 \text{ kN/m}$
Mesnette eğilme momenti	Mesnette eğilme momenti
$M_r = M_u = 0 \text{ kNm}$	$M_r = M_a = 0 \text{ kNm}$
Mesnetten 0.5m uzaklıktaki eğilme momenti	Mesnetten 0.5m uzaklıktaki eğilme momenti
$M_r = M_u = 20.2 \text{ kNm}$	$M_r = M_a = 13.5 \text{ kNm}$
Mesnette kesme kuvveti	Mesnette kesme kuvveti
$V_r = V_u = 50.5 \text{ kN}$	$V_r = V_a = 33.8 \text{ kN}$
Mesnetten 0.5m uzaklıktaki kesme kuvveti	Mesnetten 0.5m uzaklıktaki kesme kuvveti
$V_r = V_u = 30.3 \text{ kN}$	$V_r = V_a = 20.3 \text{ kN}$
Mesnette burulma momenti	Mesnette burulma momenti
$T_r = T_u = 7.58 \text{ kNm}$	$T_r = T_a = 5.06 \text{ kNm}$
Mesnetten 0.5m uzaklıktaki burulma momenti	Mesnetten 0.5m uzaklıktaki burulma momenti
$T_r = T_u = 4.55 \text{ kNm}$	$T_r = T_a = 3.04 \text{ kNm}$

### Bileşik etkiler altında dayanım kontrolü

*Yönetmelik* 11.3.2 uyarınca eleman dayanımının kontrolü

YDKT	GKT
<b>a.</b> Mesnet noktalarında bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Mesnet noktalarında bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü
$\frac{T_r}{T_c} = \frac{7.58}{22.6} = 0.34 > 0.2$	$\frac{T_r}{T_c} = \frac{5.06}{15.0} = 0.34 > 0.2$
$\left( \frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c} \right) + \left( \frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c} \right)^2 \leq 1.0 \quad (11.11)$	$\left( \frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c} \right) + \left( \frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c} \right)^2 \leq 1.0 \quad (11.11)$
$(0+0) + \left( \frac{50.5}{221} + \frac{7.58}{22.6} \right)^2 = 0.32 \leq 1.0 \checkmark$	$(0+0) + \left( \frac{33.8}{147.0} + \frac{5.06}{15.0} \right)^2 = 0.32 \leq 1.0 \checkmark$
YDKT	GKT
<b>c.</b> Mesnetten 0.5m uzaklıkta bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının	<b>d.</b> Mesnetten 0.5m uzaklıkta bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının



kontrolü	kontrolü
$\frac{T_r}{T_c} = \frac{4.55}{22.6} = 0.20 \approx 0.2$	$\frac{T_r}{T_c} = \frac{3.04}{15.0} = 0.20 \approx 0.2$
$\left(\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c}\right) + \left(\frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c}\right)^2 \leq 1.0 \quad (11.11)$	$\left(\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c}\right) + \left(\frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c}\right)^2 \leq 1.0 \quad (11.11)$
$\left(0 + \frac{20.2}{31.8}\right) + \left(\frac{30.3}{221} + \frac{4.55}{22.6}\right)^2 = 0.75 \leq 1.0 \checkmark$	$\left(0 + \frac{13.5}{21.1}\right) + \left(\frac{20.3}{147.0} + \frac{3.04}{15.0}\right)^2 = 0.76 \leq 1.0 \checkmark$

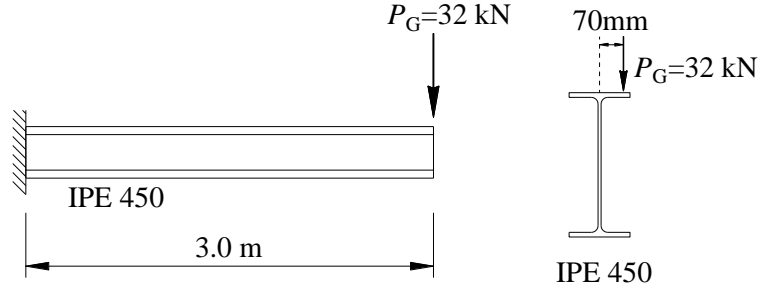
**Not:**  $T_r / T_c < 0.2$  olan diğer noktalar için burulma etkileri terk edilerek tahkikler tamamlanabilir.

### Örnek 11.11

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen IPE 450 enkesitli eleman, sabit yükler altında, kuvvetli eksenine dik olmak üzere, zayıf eksenine dik doğrultuda 70mm dışmerkezli olarak,  $P_G = 32$  kN tekil yük etkisindedir. Mesnet noktasında enkesitin çarpılmasının önleniği varsayılacaktır.

a. Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275$  N/mm<sup>2</sup>  $F_u = 430$  N/mm<sup>2</sup> (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

IPE 450			
$A = 9882$ mm <sup>2</sup>	$I_x = 33740$ cm <sup>4</sup>	$I_y = 1676$ cm <sup>4</sup>	$J = 66.87$ cm <sup>4</sup>
$W_{ex} = 1500$ cm <sup>3</sup>	$W_{ey} = 176.4$ cm <sup>3</sup>	$W_{px} = 1702$ cm <sup>3</sup>	$W_{py} = 276.4$ cm <sup>3</sup>
$C_w = 791000$ cm <sup>6</sup>	$d = 450$ mm	$h = 378.8$ mm	$h_o = 435.4$ mm
$b_f = 190$ mm	$t_f = 14.6$ mm	$t_w = 9.4$ mm	
$i_x = 184.8$ mm	$i_y = 41.2$ mm		

### Çözüm

#### Elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4.1 uyarınca,

#### Yerel burkulma kontrolü

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{2 \times t_f} = \frac{190}{2 \times 14.6} = 6.51 < \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 10.2$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{378.8}{9.4} = 40.3 < \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 101.4$$

Eleman enkesitinin başlık ve gövde parçaları kompakt olarak sınıflandırılır.

Yönetmelik 9.2.2 uyarınca,

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_p = 1.76i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 41.2 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 1955 \text{ mm} \quad (9.6a)$$

$$i_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{W_{ex}} = \frac{\sqrt{1676 \times 10^4 \times 791 \times 10^9}}{1500 \times 10^3} \quad i_{ts} = 49.3 \text{ mm} \quad (9.8a)$$

$$L_r = 1.95i_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}} \quad (9.6b)$$

$$L_r = 1.95 \times 49.3 \times \frac{200000}{0.7 \times 275} \dots$$

$$\dots \times \sqrt{\frac{66.87 \times 10^4 \times 1}{1500 \times 10^3 \times 435.4} + \sqrt{\left(\frac{66.87 \times 10^4 \times 1}{1500 \times 10^3 \times 435.4}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 275}{200000}\right)^2}}$$

$$L_r = 6098 \text{ mm}$$

$L_p < (L_b = 3000 \text{ mm}) < L_r$  olduğundan,  $M_n$ ,

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (9.3)$$

Plastik eğilme momenti dayanımı

$$M_p = F_y W_{px} = 275 \times 1702 \times 10^3 \times 10^{-6} = 468 \text{ kNm} \quad (9.2)$$

Moment düzeltme katsayısı,  $C_b$ ,

Konsol kirişlerde *Yönetmelik* 9.1(e) uyarınca, Denk.(9.1) ile tanımlanan  $C_b$  ifadeleri geçerli değildir ve  $C_b=1.0$  alınmalıdır.

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (9.3)$$

$$M_n = 1.0 \left[ 468 - (468 - 0.7 \times 275 \times 1500 \times 10^3) \left( \frac{3 - 1.955}{6.098 - 1.955} \right) \right] = 422.8 \text{ kNm} < M_p$$

Burkulma sınır durumu için

$$F_n = F_{cr} = \frac{M_n}{W_{ex}} = \frac{422.8 \times 10^6}{1500 \times 10^3} = 281.87 \text{ N/mm}^2 \quad (11.12c)$$

Eksenel gerilmeler altında akma sınır durumu için

$$F_n = F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad (11.12a)$$

Akma ve burkulma sınır durumlarından en küçük dayanımı sağlayan akma sınır durumudur.

YDKT	GKT
Tasarım eğilme momenti gerilmesi	Güvenli eğilme momenti gerilmesi
$\phi_T F_n = 0.9 \times 275 = 247.5 \text{ N/mm}^2$	$\frac{F_n}{\Omega_T} = \frac{275}{1.67} = 164.7 \text{ N/mm}^2$

Kayma gerilmeleri altında akma sınır durumu için

$$F_n = 0.6F_y = 165 \text{ N/mm}^2 \quad (11.12b)$$

YDKT	GKT
Tasarım kayma gerilmesi	Güvenli kayma gerilmesi
$\phi_T F_n = 0.9 \times 165 = 148.5 \text{ N/mm}^2$	$\frac{F_n}{\Omega_T} = \frac{165}{1.67} = 98.8 \text{ N/mm}^2$

Yönetmelik 5.3 uyarınca,

YDKT ve GKT için yükleme durumları

YDKT	GKT
Tekil yük (5.3.1)	Tekil yük (5.3.2)
$P_u = 1.4P_G$ $P_u = 1.4 \times 32 = 44.8 \text{ kN}$	$P_a = 1.0P_G$ $P_a = 1.0 \times 32 = 32 \text{ kN}$
Tekil yükün dışmerkez olarak etkimesi nedeniyle oluşan burulma momenti	Tekil yükün dışmerkez olarak etkimesi nedeniyle oluşan burulma momenti
$T_r = T_u = 44.8 \times 0.07 = 3.136 \text{ kNm}$	$T_r = T_a = 32 \times 0.07 = 2.240 \text{ kNm}$

Konsol kirişin burulma (serbest ucundan tekil burulma momenti etkisinde olması durumunda), kesme kuvveti ve eğilme momenti etkileri altında herhangi bir enkesitinin dikkate alınan bir noktasına ait gerilme değerleri, elastik teori esas alınarak aşağıdaki ifadeler yardımıyla hesaplanabilir.

$$a = \sqrt{\frac{EC_w}{GJ}} = \sqrt{\frac{200000 \times 791 \times 10^9}{77 \times 10^3 \times 66.87 \times 10^4}} = 1752.8 \text{ mm}$$

Burulma momenti etkisinde oluşan kayma gerilmeleri ile çarpılma nedeniyle meydana gelen normal ve kayma gerilmelerinin hesabında, aşağıda ayrı başlıklar halinde verilen formüller kullanılabilir. Bu formüllerin içeriğindeki burulma açısı ( $\phi$ ) ve türevleri de aşağıdaki ifadelerle hesaplanabilir.

$$\phi = \frac{Ta}{GJ} \left[ \frac{z}{a} - \tanh\left(\frac{L}{a}\right) + \frac{\sinh\left(\frac{L-z}{a}\right)}{\cosh\left(\frac{L}{a}\right)} \right]$$

$$\phi' = \frac{T}{GJ} \left[ 1 - \frac{\cosh\left(\frac{L-z}{a}\right)}{\cosh\left(\frac{L}{a}\right)} \right]$$

$$\phi'' = \frac{T}{GJ} \left[ \frac{1}{a} \frac{\sinh\left(\frac{L-z}{a}\right)}{\cosh\left(\frac{L}{a}\right)} \right]$$

$$\phi''' = \frac{-T}{GJ} \left[ \frac{1}{a^2} \frac{\cosh\left(\frac{L-z}{a}\right)}{\cosh\left(\frac{L}{a}\right)} \right]$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$T$  : Konsol giriş ucuna uygulanan burulma momenti

$z$  : Mesnet noktasından olan uzaklık

StVenant kayma gerilmeleri

$$\tau_w = Gt_w \phi' \quad \tau_f = Gt_f \phi'$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$\tau_w$  : Gövdede oluşan StVenant kayma gerilmesi

$\tau_f$  : Başlıkta oluşan StVenant kayma gerilmesi

Çarpılma etkisi nedeniyle başlıklarda oluşan kayma gerilmeleri

$$\tau_{w\checkmark} = \frac{ES_w}{t_f} \phi'''$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$\tau_{w\checkmark}$  : Çarpılma etkileri nedeniyle başlıklarda oluşan kayma gerilmesi

$$S_w = \frac{h_o b_f^2 t_f}{16} = \frac{435.4 \times 190^2 \times 14.6}{16} = 14.34 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Çarpılma etkisi nedeniyle başlıklarda oluşan eksenel gerilmeler

$$\sigma_{e\checkmark} = EW_{no} \phi''$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$\sigma_{e\checkmark}$  : Çarpılma etkilerinden dolayı başlıklarda oluşacak eksenel gerilme

$$W_{no} = \frac{h_o b_f}{4} = \frac{435.4 \times 190}{4} = 20682 \text{ mm}^2$$

Eğilme etkisi nedeniyle başlıklarda oluşan aksenal gerilmeler

$$\sigma_e = \frac{M}{W_e}$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$M$  : Eğilme momenti

Gövde ve başlıklarda oluşan kayma gerilmeleri

$$\tau_{we} = \frac{VQ_w}{I_x t_w}$$

$$\tau_{fe} = \frac{VQ_f}{I_x t_f}$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$\tau_{we}$  : Gövdede oluşan kayma gerilmesi

$\tau_{fe}$  : Başlıkta oluşan kayma gerilmesi

$V$  : Enkesitte oluşan kesme kuvveti

$I_x$  : Kuvvetli eksen etrafında atalet momenti

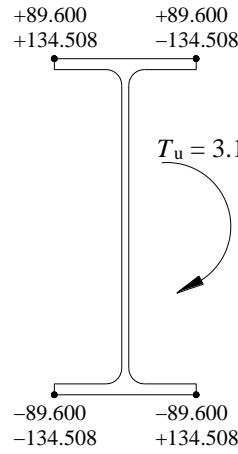
$Q_f$  : Elemanın zayıf eksenini tarafından bölünen başlık enkesitinin yarısının kuvvetli eksene göre statik momenti

$Q_w$  : Gövde enkesiti alanının yarısı ile başlık enkesiti alanının kuvvetli eksene göre statik momenti

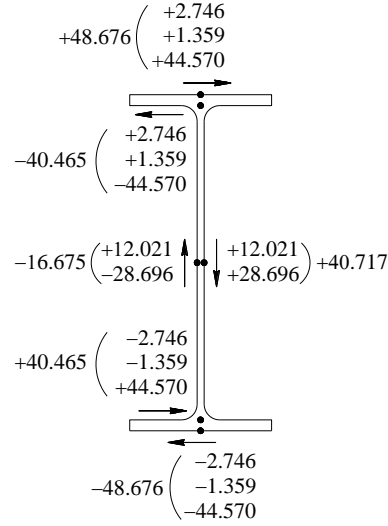
Yukarıda açıklanan ifadeler kullanılarak gerçekleştirilen gerilme analizlerinin sonuçları YDKT ve GKT esaslarına göre ayrı ayrı olmak üzere aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Ayrıca en büyük gerilmelerin elde edildiği enkesitlere ait gerilme dağılımı da aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

YDKT yöntemi esasları ile elde edilen gerilme değerleri

Mesnetten Uzaklık	Burulma Açısı ve Türevleri				Normal Gerilmeler			Başlıkta Kayma Gerilmeleri				Gövdede Kayma Gerilmeleri		
	$\varphi$	$\varphi'$	$\varphi''$	$\varphi'''$	Eğilme	Çarpılma	Toplam	Kayma	Çarpılma	StVenant	Toplam	Kayma	StVenant	Toplam
[mm]					[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0	0.000000	0.00E+00	3.25E-08	1.98E-11	89.600	134.508	<b>224.108</b>	2.746	3.895	0.000	<b>6.641</b>	12.021	0.000	<b>12.021</b>
300	0.001378	8.91E-06	2.70E-08	1.69E-11	80.640	111.769	<b>192.409</b>	2.746	3.324	10.042	<b>16.111</b>	12.021	6.465	<b>18.486</b>
600	0.005193	1.63E-05	2.23E-08	1.45E-11	71.680	92.321	<b>164.001</b>	2.746	2.850	18.363	<b>23.960</b>	12.021	11.823	<b>23.844</b>
900	0.011022	2.24E-05	1.83E-08	1.25E-11	62.720	75.591	<b>138.311</b>	2.746	2.461	25.210	<b>30.417</b>	12.021	16.231	<b>28.252</b>
1200	0.018500	2.73E-05	1.48E-08	1.09E-11	53.760	61.086	<b>114.846</b>	2.746	2.144	30.783	<b>35.673</b>	12.021	19.819	<b>31.840</b>
1500	0.027311	3.13E-05	1.17E-08	9.62E-12	44.800	48.380	<b>93.180</b>	2.746	1.890	35.246	<b>39.882</b>	12.021	22.693	<b>34.714</b>
1800	0.037176	3.44E-05	8.97E-09	8.61E-12	35.840	37.098	<b>72.938</b>	2.746	1.692	38.732	<b>43.169</b>	12.021	24.937	<b>36.958</b>
2100	0.047851	3.67E-05	6.51E-09	7.85E-12	26.880	26.908	<b>53.788</b>	2.746	1.543	41.341	<b>45.631</b>	12.021	26.617	<b>38.638</b>
2400	0.059113	3.83E-05	4.23E-09	7.33E-12	17.920	17.510	<b>35.430</b>	2.746	1.440	43.153	<b>47.339</b>	12.021	27.783	<b>39.804</b>
2700	0.070756	3.92E-05	2.09E-09	7.02E-12	8.960	8.628	<b>17.588</b>	2.746	1.379	44.218	<b>48.344</b>	12.021	28.469	<b>40.490</b>
3000	0.082588	3.95E-05	0.00E+00	6.92E-12	0.000	0.000	<b>0.000</b>	2.746	1.359	44.570	<b>48.676</b>	12.021	28.696	<b>40.717</b>



MESNET ENKESİTİNDEKİ  
NORMAL GERİLMELER



SERBEST UÇ ENKESİTİNDEKİ  
KAYMA GERİLMELERİ

### GKT yöntemi esasları ile elde edilen gerilme değerleri

Mesnetten Uzaklık z [mm]	Burulma Açısı ve Türevleri				Normal Gerilmeler			Başlıkta Kayma Gerilmeleri				Gövdede Kayma Gerilmeleri		
	$\varphi$	$\varphi'$	$\varphi''$	$\varphi'''$	Eğilme [MPa]	Çarpılma [MPa]	Toplam [MPa]	Kayma [MPa]	Çarpılma [MPa]	St Venant [MPa]	Toplam [MPa]	Kayma [MPa]	St Venant [MPa]	Toplam [MPa]
0	0.000000	0.00E+00	2.32E-08	1.42E-11	64.000	96.077	<b>160.077</b>	1.961	2.782	0.000	<b>4.743</b>	8.586	0.000	<b>8.586</b>
300	0.000984	6.36E-06	1.93E-08	1.21E-11	57.600	79.835	<b>137.435</b>	1.961	2.374	7.173	<b>11.508</b>	8.586	4.618	<b>13.204</b>
600	0.003709	1.16E-05	1.59E-08	1.04E-11	51.200	65.944	<b>117.144</b>	1.961	2.036	13.117	<b>17.114</b>	8.586	8.445	<b>17.031</b>
900	0.007873	1.60E-05	1.31E-08	8.95E-12	44.800	53.993	<b>98.793</b>	1.961	1.758	18.007	<b>21.726</b>	8.586	11.594	<b>20.180</b>
1200	0.013214	1.95E-05	1.05E-08	7.79E-12	38.400	43.633	<b>82.033</b>	1.961	1.531	21.988	<b>25.481</b>	8.586	14.157	<b>22.743</b>
1500	0.019508	2.23E-05	8.35E-09	6.87E-12	32.000	34.557	<b>66.557</b>	1.961	1.350	25.176	<b>28.487</b>	8.586	16.209	<b>24.795</b>
1800	0.026554	2.45E-05	6.41E-09	6.15E-12	25.600	26.498	<b>52.098</b>	1.961	1.208	27.665	<b>30.835</b>	8.586	17.812	<b>26.398</b>
2100	0.034179	2.62E-05	4.65E-09	5.61E-12	19.200	19.220	<b>38.420</b>	1.961	1.102	29.530	<b>32.593</b>	8.586	19.012	<b>27.599</b>
2400	0.042223	2.73E-05	3.02E-09	5.24E-12	12.800	12.507	<b>25.307</b>	1.961	1.029	30.823	<b>33.813</b>	8.586	19.845	<b>28.431</b>
2700	0.050540	2.80E-05	1.49E-09	5.02E-12	6.400	6.163	<b>12.563</b>	1.961	0.985	31.585	<b>34.531</b>	8.586	20.335	<b>28.922</b>
3000	0.058992	2.82E-05	0.00E+00	4.94E-12	0.000	0.000	<b>0.000</b>	1.961	0.971	31.836	<b>34.768</b>	8.586	20.497	<b>29.083</b>

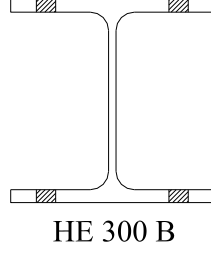
### Yönetmelik 11.3.3 teki kurallar ile eleman dayanımının kontrolü

YDKT	GKT
<b>a.</b> Elemanın bileşik etkiler altında tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Elemanın bileşik etkiler altında güvenli dayanımının kontrolü
Eksenel gerilme kontrolü	Eksenel gerilme kontrolü
$\frac{\sigma_{\text{toplamlam}}}{F_n} = \frac{224.108}{247.5} = 0.91 < 1.0 \checkmark$	$\frac{\sigma_{\text{toplamlam}}}{F_n} = \frac{160.077}{164.7} = 0.97 < 1.0 \checkmark$
Başlıkta tasarım kayma gerilmesi kontrolü	Başlıkta güvenli kayma gerilmesi kontrolü
$\frac{\tau_{\text{toplamlam}}}{F_n} = \frac{48.676}{148.5} = 0.33 < 1.0 \checkmark$	$\frac{\tau_{\text{toplamlam}}}{F_n} = \frac{34.768}{98.8} = 0.35 < 1.0 \checkmark$
Gövdede tasarım kayma gerilmesi kontrolü	Gövdede güvenli kayma gerilmesi kontrolü
$\frac{\tau_{\text{toplamlam}}}{F_n} = \frac{40.717}{148.5} = 0.27 < 1.0 \checkmark$	$\frac{\tau_{\text{toplamlam}}}{F_n} = \frac{29.083}{98.8} = 0.29 < 1.0 \checkmark$

### Örnek 11.12

HE 300 B profili ile boyutlandırılan elemanın aşağıdaki şekilde verilen kayıplı enkesiti, sabit yükler altında  $P_G = 1400$  kN eksenel çekme kuvveti ile kuvvetli eksenini etrafında olmak üzere,  $M_G = 100$  kNm eğilme momentinin ortak etkisindedir. Her bir başlıkta ve aynı enkesitte olmak üzere 2 adet M27 bulonun yerleşimi için 30mm çapında standart dairesel delikler açılmıştır.

- Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit

HE 300 B			
$A = 14910 \text{ mm}^2$	$I_x = 25170 \text{ cm}^4$	$I_y = 8563 \text{ cm}^4$	$J = 185 \text{ cm}^4$
$W_{ex} = 1678 \text{ cm}^3$	$W_{ey} = 570.9 \text{ cm}^3$	$W_{px} = 1869 \text{ cm}^3$	$W_{py} = 870.1 \text{ cm}^3$
$C_w = 1688000 \text{ cm}^6$	$d = 300 \text{ mm}$	$h_o = 281 \text{ mm}$	$h = 208 \text{ mm}$
$b_f = 300 \text{ mm}$	$t_f = 19 \text{ mm}$	$t_w = 11 \text{ mm}$	
$i_x = 129.9 \text{ mm}$	$i_y = 75.8 \text{ mm}$		

#### Çözüm

Elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

##### Yerel burkulma kontrolü

Eleman enkesitinin başlık ve gövde parçaları kompakt sınıfındadır (Bkz. Örnek 11.1).

*Yönetmelik 9.2.2* uyarınca,

##### Akma sınır durumu

$$M_p = 514 \text{ kNm} \quad (\text{Bkz. Örnek 11.1})$$

*Yönetmelik 9.13.1* uyarınca,

Çekme başlığındaki deliklerin eğilme momenti dayanımına etkisi

$$A_{fg} = 300 \times 19 = 5700 \text{ mm}^2$$

*Yönetmelik 5.4.3(b)* uyarınca,

$$d_e = 30 + 2.0 = 32 \text{ mm}$$



$$A_m = 5700 - 2 \times 32 \times 19 = 4484 \text{ mm}^2$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 < 0.8 \quad Y_t = 1.0$$

$$F_u A_m = 430 \times 4484 \times 10^{-3} = 1928 \text{ kN}$$

$$Y_t F_y A_{fg} = 1.0 \times 275 \times 5700 \times 10^{-3} = 1568 \text{ kN}$$

$F_u A_m \geq Y_t F_y A_{fg}$  olduğundan çekme kırılması sınır durumu gözönüne alınmaz

$M_n = M_p = 514 \text{ kNm}$  kullanılması yeterlidir.

YDKT	GKT
Tasarım eğilme momenti dayanımı	Güvenli eğilme momenti dayanımı
$M_{cx} = M_{dx} = \phi_b M_n = 0.9 \times 514 = 462.6 \text{ kNm}$	$M_{cx} = M_{gx} = \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{514}{1.67} = 307.8 \text{ kNm}$

Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 9.13.1 uyarınca,

Kırılma sınır durumu

$$A_n = 14910 - 4 \times 32 \times 19 = 12478 \text{ mm}^2$$

$$U = 1.0$$

$$A_e = U A_n = 1.0 \times 12478 = 12478 \text{ mm}^2 \quad (7.1)$$

$$P_n = T_n = F_u A_e = 430 \times 12478 \times 10^{-3} = 5365.5 \text{ kN} \quad (7.3)$$

YDKT	GKT
Tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımı	Güvenli eksenel çekme kuvveti dayanımı
$P_c = \phi_t P_n = 0.75 \times 5365.5 = 4024.1 \text{ kN}$	$P_c = \frac{P_n}{\Omega_t} = \frac{5365.5}{2.00} = 2682.8 \text{ kN}$

Gerekli eğilme momenti ve çekme kuvveti dayanımı

YDKT	GKT
Eksenel yük (5.3.1)	Eksenel yük (5.3.2)
$P_r = P_u = 1.4 P_G$ $P_r = P_u = 1.4 \times 1400 = 1960 \text{ kN}$	$P_r = P_a = 1.0 P_G$ $P_r = P_a = 1.0 \times 1400 = 1400 \text{ kN}$
Eğilme momenti	Eğilme momenti
$M_{rx} = M_u = 1.4 M_G$ $M_{rx} = M_u = 1.4 \times 100 = 140 \text{ kNm}$	$M_{rx} = M_a = 1.0 M_G$ $M_{rx} = M_a = 1.0 \times 100 = 100 \text{ kNm}$

### Bileşik etkiler altında dayanım kontrolü

YDKT	GKT
<b>a.</b> Bileşik etkiler altında elemanın tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Bileşik etkiler altında elemanın güvenli dayanımının kontrolü
$\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \leq 1.0 \quad (11.3)$	$\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \leq 1.0 \quad (11.3)$
$\frac{1960}{4024.1} + \frac{140}{462.6} = 0.79 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{1400}{2682.8} + \frac{100}{307.8} = 0.85 \leq 1.0 \checkmark$

### **KAYNAK YAYINLAR**

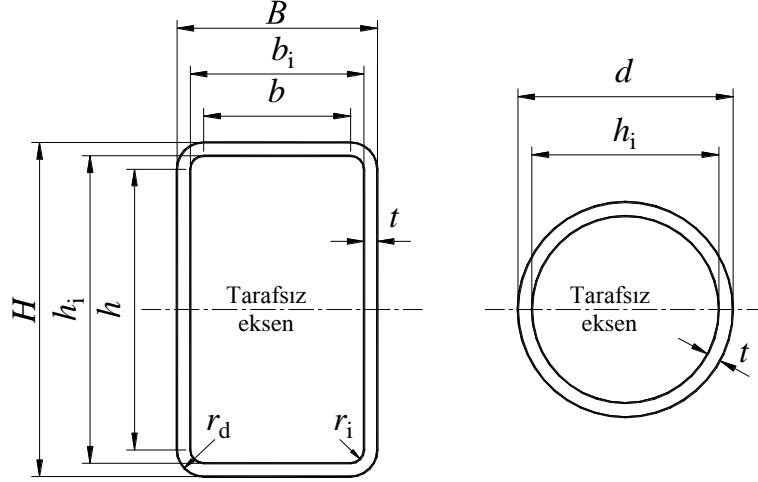
Design Guide 9      *Torsional Analysis of Structural Steel Members*, American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago, Illinois, USA.



## BÖLÜM 12 KOMPOZİT ELEMANLAR

Yapısal çelik ve betonarmenin birlikte kullanılması ile oluşturulan kompozit yapı elemanlarının tasarımı *Yönetmelik* Bölüm 12 de belirtilen kurallara göre yapılacaktır.

Beton dolgulu kompozit elemanların tasarım örneklerinde gözönüne alınacak enkesit boyutlarına ait simgeler ve tanımları aşağıda Şekil 12.1 de verilmektedir.



$$t : 0.93t_n$$

$t_n$  : Karakteristik et kalınlığı

$B$  : Kompozit enkesitin eğilme eksenine paralel genişliği

$d$  : Boru enkesitin dış çapı

$H$  : Kompozit enkesitin eğilme eksenine dik yüksekliği

$b_i$  : Kutu enkesitin iç yüzeyleri arasındaki genişlik

$$= B - 2t$$

$h_i$  : Boru enkesitin iç çapı

: *Yönetmelik* Tablo 12.5 için  $h = h_i$

: Kutu enkesitin iç yüzeyleri arasındaki yükseklik

$$= H - 2t$$

$b$  : Kutu enkesitler için tanımlanan rijitleştirilmiş enkesit parçasının genişliği

$$= B - 3t \text{ (Yönetmelik 5.4.1.2)}$$

$h$  : Kutu enkesitler için tanımlanan rijitleştirilmiş enkesit parçasının yüksekliği

$$= H - 3t \text{ (Yönetmelik 5.4.1.2)}$$

$r_d$  :  $b / t$  ve  $h / t$  için  $1.5t$  değerine eşit

: alan, rijitlik ve atalet momenti hesapları için  $2.0t$  değerine eşit

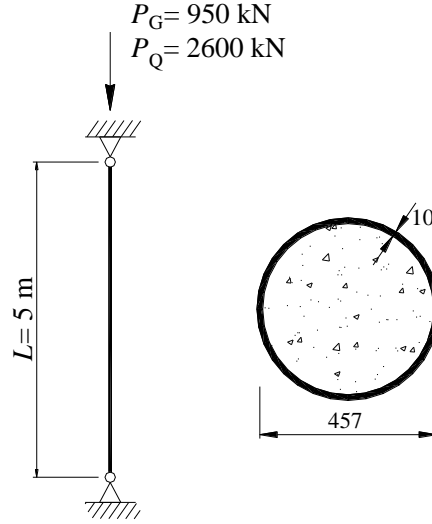
$r_i$  : alan, rijitlik ve atalet momenti hesapları için  $1.0t$  değerine eşit

**Şekil 12.1** – Beton dolgulu kompozit elemanların enkesit boyutlarına ait simgeler ve tanımları

### Örnek 12.1

Aşağıdaki şekilde enkesit detayı ve yükleme durumu verilen iki ucu mafsallı beton dolgulu kompozit kolon sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 950\text{kN}$  ve  $P_Q = 2600\text{kN}$  eksenel basınç kuvveti etkisindedir.

- Kolonun karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Kolonun tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Kolonun güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)



#### Beton sınıfı

$$C\ 35 \quad f_{ck} = 35\ \text{N/mm}^2 \quad w_c = 2400\ \text{kg/m}^3$$

#### Çelik sınıfı

$$S\ 275 \quad F_y = 275\ \text{N/mm}^2 \quad F_u = 430\ \text{N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1B})$$

#### Çelik enkesit (TS EN 10219-Elektrik Direnç Kaynaklı)

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Boru 457×10

$$A_s = 13080\ \text{mm}^2 \quad I_s = 32786\ \text{cm}^4 \quad t = 9.3\ \text{mm}$$

#### Çözüm

- Kompozit kolonun karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Beton elastisite modülü, Yönetmelik 12.2.1 uyarınca,

$$E_c = 0.043w_c^{1.5}\sqrt{f_{ck}} = 0.043(2400)^{1.5}\sqrt{35} = 30000\ \text{N/mm}^2 \quad (12.1)$$

Beton alanı ve atalet momenti,

$$h_i = d - 2t = 457 - 2 \times 9.3 = 438.4\ \text{mm}$$

$$A_c = \frac{\pi h_i^2}{4} = \frac{\pi (438.4)^2}{4} = 150949\ \text{mm}^2$$

$$I_c = \frac{\pi h_i^4}{64} = \frac{\pi(438.4)^4}{64} = 181323(10)^4 \text{ mm}^4$$

Kompozit kolonun toplam enkesit alanı,

$$A_g = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(457)^2}{4} = 164030 \text{ mm}^2$$

Beton dolgulu kompozit elemanda *Yönetmelik* koşullarının kontrolü

*Yönetmelik* 12.2.3(a) uyarınca,

$$20\text{N/mm}^2 \leq f_{ck} = 35\text{N/mm}^2 \leq 70\text{N/mm}^2 \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.2.3 (c) uyarınca,

$$F_y = 275\text{N/mm}^2 \leq 460\text{N/mm}^2 \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.3.2.1(a) uyarınca,

$$\frac{A_s}{A_g} = \frac{13080}{164030} = 0.08 \geq 0.01 \checkmark$$

Kompozit kolonun etkin eğilme rijitliği,  $(EI)_{ef}$ , *Yönetmelik* 12.3.2 uyarınca,

$$C_3 = 0.45 + 3 \left( \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) = 0.45 + 3 \left( \frac{13080 + 0}{164030} \right) = 0.69 \leq 0.9 \checkmark$$

$$(EI)_{ef} = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + C_3 E_c I_c \quad (12.15)$$

$$= 200000(32786)10^4 + 0 + 0.69(30000)181323(10)^4 = 10310(10)^4 \text{ Nmm}^2$$

Eğilmeli burkulma durumunda asal eksenlere göre eleman burkulma boyu, *Yönetmelik* 6.4.3(a) uyarınca, burkulma boyu katsayısı,  $K=1.0$  olarak alınarak,

$$L_c = KL = 1.0(5000) = 5000 \text{ mm}$$

*Yönetmelik* 12.3.1.2 uyarınca,  $P_e$ , elastik burkulma yükü,

$$P_e = \frac{\pi^2 (EI)_{ef}}{(L_c)^2} = \frac{\pi^2 (10310)10^4}{(5000)^2} 10^{-3} = 40705 \text{ kN}$$

*Yönetmelik* 12.2.4 uyarınca, yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması,

(Tablo 12.1A, Boru enkesitli eleman için)

$$\lambda = \frac{d}{t} = \frac{457}{9.3} = 49.13 \leq \lambda_p = 0.15 \frac{E}{F_y} = 0.15 \frac{200000}{275} = 109 \checkmark$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre beton dolgulu kompozit kolonun, boru enkesitli çelik elemanının çap/kalınlık oranı *Yönetmelik* Tablo 12.1A da verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından *kompakt enkesit* olarak değerlendirilir.

Bu durumda, kompozit kolonun aksenal basınç kuvveti dayanımı, *Yönetmelik* 12.3.2.2(a) uyarınca belirlenecektir.

$C_2 = 0.95$  (Boru enkesitler için)

$$P_p = F_y A_s + C_2 f_{ck} \left( A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (12.9)$$

$$P_p = 275(13080)10^{-3} + 0.95(35)(150949 + 0)10^{-3} = 8616 \text{ kN}$$

$$P_{no} = P_p = 8616 \text{ kN} \quad (12.8)$$

*Yönetmelik* 12.3.1.2 uyarınca,

$$\frac{P_{no}}{P_c} = \frac{8616}{40705} = 0.211 \leq 2.25 \text{ olduğundan, karakteristik basınç kuvveti dayanımı, } P_n,$$

$$P_n = P_{no} \left[ 0.658^{\frac{P_{no}}{P_c}} \right] = 8616 \left[ 0.658^{0.211} \right] = 7888 \text{ kN} \quad (12.3)$$

YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(950) + 1.6(2600) = 5300 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 950 + 2600 = 3550 \text{ kN}$
<b>b.</b> Kolonun tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kolonun güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.75(7888) = 5916 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 7888 / 2.0 = 3944 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{5300}{5916} = 0.896 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{3550}{3944} = 0.90 \leq 1.0 \checkmark$

Kompozit kolonda uygulanan dış yük aktarımına göre, beton ve çelik bileşenlerin ortak yüzeyleri arasındaki yük aktarımı *Yönetmelik* 12.7 uyarınca kontrol edilmelidir.

## Örnek 12.2

Örnek 12.1 de verilen beton dolgulu kompozit kolon aksenal çekme kuvveti etkisindedir.

- Kolonun karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Kolonun tasarım çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi (YDKT)
- Kolonun güvenli çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi (GKT)

### Çözüm

- Kompozit kolonun  $P_n$ , karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik* 12.3.2.3 uyarınca, akma sınır durumu esas alınarak,

$$P_n = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} = 275(13080)10^{-3} + 0 = 3597 \text{ kN} \quad (12.16)$$

YDKT	GKT
<b>b.</b> Kolonun tasarım çekme kuvveti dayanımı	<b>c.</b> Kolonun güvenli çekme kuvveti dayanımı
$P_d = \phi_t P_n = 0.90(3597) = 3237.30 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_t = 3597 / 1.67 = 2153.90 \text{ kN}$

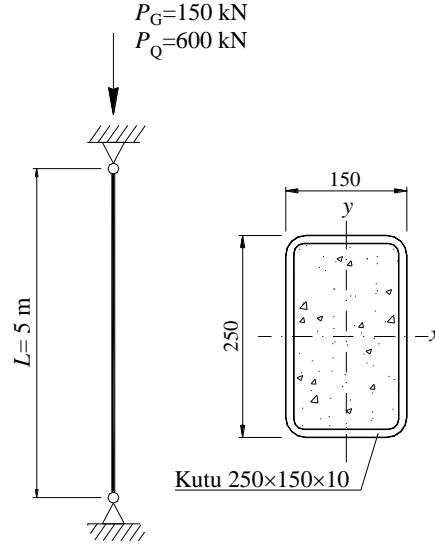
Kompozit kolonda uygulanan dış yük aktarımına göre, beton ve çelik bileşenlerin ortak yüzeyleri arasındaki yük aktarımı *Yönetmelik* 12.7 uyarınca kontrol edilmelidir.



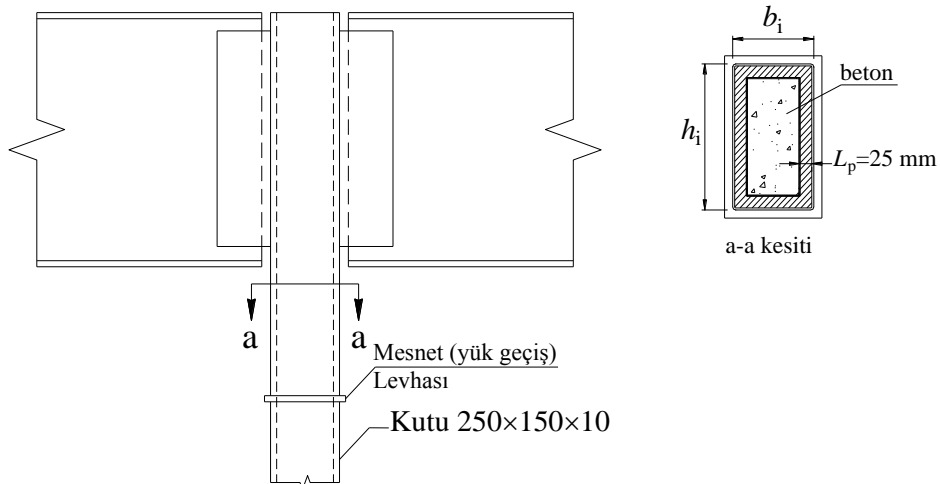
### Örnek 12.3

Aşağıdaki şekillerde enkesit detayı, yükleme durumu ve yük geçiş mekanizması verilen her iki asal eksenini etrafında iki ucu mafsallı beton dolgu kompozit eleman sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 150\text{kN}$  ve  $P_Q = 600\text{kN}$  eksenel basınç kuvveti etkisindedir.

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)
- Kompozit elemanda dış yükün tipik olarak çelik elemana, beton enkesite veya her ikisine birden uygulanması durumları için, beton ve çelik bileşenlerin ortak yüzeyleri arasında iletilmesi gerekli  $V_r'$ , boyuna kayma kuvvetinin belirlenmesi
- Kompozit elemanda dış yükün çelik elemana uygulandığı durumda,  $V_r'$  nin iletilmesinde şekilde verilen yük geçiş mekanizmasının yeterliliğinin kontrolü



Sistem ve kompozit eleman enkesiti



## Yük geçiş mekanizması

### Beton sınıfı

$$C\ 35 \quad f_{ck} = 35\ \text{N/mm}^2 \quad w_c = 2400\ \text{kg/m}^3$$

### elik sınıfı

$$S\ 275 \quad F_y = 275\ \text{N/mm}^2 \quad F_u = 430\ \text{N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1B})$$

### elik enkesit (TS EN 10219-Elektrik Direnç Kaynaklı)

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t=0.93t_n$  için

Kutu 250×150×10

$$\text{-----}$$

$$A_s = 6871\ \text{mm}^2 \quad I_{sx} = 56254349\ \text{mm}^4 \quad I_{sy} = 25370098\ \text{mm}^4$$

$$\text{-----}$$

### özüm

#### a. Kompozit kolonun karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Beton elastisite modülü, Yönetmelik 12.2.1 uyarınca,

$$E_c = 0.043w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} = 0.043(2400)^{1.5} \sqrt{35} = 30000\ \text{N/mm}^2 \quad (12.1)$$

$$h_i = H - 2t = 250 - 2 \times 9.3 = 231.40\ \text{mm}$$

$$b_i = B - 2t = 150 - 2 \times 9.3 = 131.40\ \text{mm}$$

Beton alanı,

$$A_c = b_i h_i - t^2(4 - \pi) = 231.40(131.40) - 9.3^2(4 - \pi) = 30332\ \text{mm}^2$$

Kompozit kolonun enkesit alanı,

$$A_g = A_c + A_s = 30332 + 6871 = 37203\ \text{mm}^2$$

Beton enkesitin her iki asal eksene göre atalet momentleri,

$$I_{cx} = \frac{(B-4t)h_i^3}{12} + \frac{t(H-4t^2)}{6} + \frac{(9\pi^2-64)t^4}{36\pi} + \pi t^2 \left( \frac{H-4t}{2} + \frac{4t}{3\pi} \right)^2$$

$$I_{cx} = \frac{(150-4 \times 9.3)248.14^3}{12} + \frac{9.3(250-4 \times 9.3^2)}{6} + \frac{(9\pi^2-64)9.3^4}{36\pi} \dots$$

$$\dots + \pi(9.3)^2 \left( \frac{250-4 \times 9.3}{2} + \frac{4 \times 9.3}{3\pi} \right)^2$$

$$I_{cx} = 13472(10)^4\ \text{mm}^4$$

$$I_{cy} = \frac{(H-4t)b_i^3}{12} + \frac{t(B-4t^2)}{6} + \frac{(9\pi^2-64)t^4}{36\pi} + \pi t^2 \left( \frac{B-4t}{2} + \frac{4t}{3\pi} \right)^2$$

$$I_{cy} = \frac{(250-4 \times 9.3)131.40^3}{12} + \frac{9.3(150-4 \times 9.3^2)}{6} + \frac{(9\pi^2 - 64)9.3^4}{36\pi} \dots$$

$$\dots + \pi(9.3)^2 \left( \frac{150-4 \times 9.3}{2} + \frac{4 \times 9.3}{3\pi} \right)^2$$

$$I_{cy} = 4345(10)^4 \text{ mm}^4$$

**Beton dolgulu kompozit elemanda *Yönetmelik* koşullarının kontrolü**

*Yönetmelik* 12.2.3 (a) uyarınca,

$$20\text{N/mm}^2 \leq f_{ck} = 35\text{N/mm}^2 \leq 70\text{N/mm}^2 \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.2.3 (c) uyarınca,

$$F_y = 275\text{N/mm}^2 \leq 460\text{N/mm}^2 \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.3.2.1(a) uyarınca,

$$\frac{A_s}{A_g} = \frac{6871}{37203} = 0.184 \geq 0.01 \checkmark$$

Kompozit elemanın etkin eğilme rijitliği,  $(EI)_{ef}$ , *Yönetmelik* 12.3.2 uyarınca belirlenecektir.

Kompozit kolonda boyuna donatı kullanılmadığından,

$$A_{sr} = 0$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left( \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) = 0.45 + 3 \left( \frac{6871 + 0}{37203} \right) = 1.0 \leq 0.9 \times$$

$$C_3 = 0.9$$

$$(EI)_{ef} = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + C_3 E_c I_c \quad (12.15)$$

$$(EI)_{efy} = 200000(2537)10^4 + 0 + 0.90(30000)4345(10)^4 = 624715000(10)^4 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{efx} = 200000(5625)10^4 + 0 + 0.90(30000)13472(10)^4 = 1488744000(10)^4 \text{ Nmm}^2$$

Eğilmeli burkulma durumunda asal eksenlere göre eleman burkulma boyu, *Yönetmelik* 6.4.3(a) uyarınca, burkulma boyu katsayısı,  $K=1.0$  olarak alınarak,

$$L_c = KL = 1.0(5000) = 5000 \text{ mm}$$

Kompozit kolonun her iki asal ekseninde burkulma boyu eşit olduğundan, kolon zayıf eksenli etrafında burkulacaktır. *Yönetmelik* 12.3.1.2 uyarınca,  $P_e$ , elastik burkulma yükü,

$$P_e = \frac{\pi^2 (EI)_{ef}}{(L_c)^2} = \frac{\pi^2 (624715000)10^4}{(5000)^2} 10^{-3} = 2466 \text{ kN}$$

*Yönetmelik* 12.2.4 uyarınca, yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması,

(Tablo 12.1A, Kutu enkesitli eleman için)

$$\lambda = \frac{H-3t}{t} = \frac{250-3(9.3)}{9.3} = 23.88 \leq \lambda_p = 2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.26 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 60.947 \checkmark$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre beton dolgululu kompozit kolonun, kutu enkesitli çelik elemanın genişlik/kalınlık oranı Tablo 12.1A da verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından *kompakt enkesit* olarak değerlendirilir.

Bu durumda, kompozit elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımı, *Yönetmelik* 12.3.2.2(a) uyarınca belirlenecektir.

$$C_2 = 0.85 \text{ (Kutu enkesitler için)}$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f_{ck} \left( A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (12.9)$$

$$= 275(6871)10^{-3} + 0.85(35)(30332 + 0)10^{-3} = 2792 \text{ kN}$$

$$P_{no} = P_p = 2792 \text{ kN} \quad (12.8)$$

*Yönetmelik* 12.3.1.2 uyarınca,

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{2792}{2466} = 1.13 \leq 2.25 \text{ olduğundan, karakteristik basınç kuvveti dayanımı, } P_n,$$

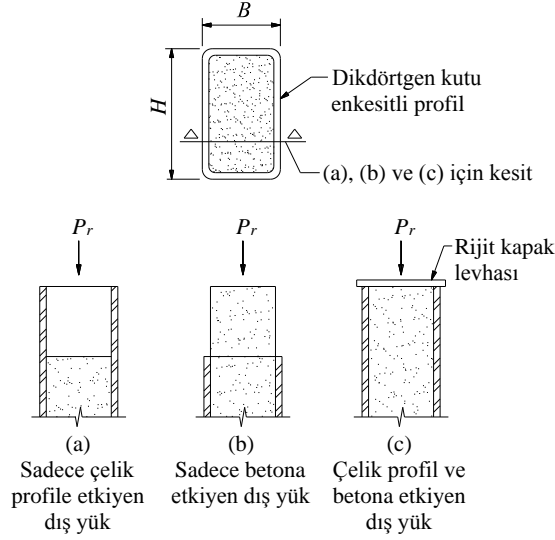
$$P_n = P_{no} \left[ 0.658^{\frac{P_{no}}{P_e}} \right] = 2792 \left[ 0.658^{1.13} \right] = 1740 \text{ kN} \quad (12.3)$$

YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(150) + 1.6(600) = 1140 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 150 + 600 = 750 \text{ kN}$
<b>b.</b> Kolonun tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kolonun güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.75(1740) = 1305 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 1740 / 2.0 = 870 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{1140}{1305} = 0.87 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{750}{870} = 0.86 \leq 1.0 \checkmark$

**d.** Kompozit kolonda Şekil (a), (b) ve (c) de verilen tipik uygulamalar için, dış yükün (basınç kuvvetinin)

- (d.1) Sadece çelik profile etkimesi,
- (d.2) Sadece betona etkimesi,
- (d.3) Çelik profil ve betona birlikte etkimesi

durumlarında yük paylaşımı *Yönetmelik* 12.7 uyarınca incelenecektir.



Şekil 12.3.1 – Kompozit elemanda tipik dış yük etkisi

Yükün doğrudan çelik elemana etkimesi durumu, Şekil 12.3.1(a)

Yönetmelik 12.7.1.1 uyarınca, beton enkesite iletilmesi gerekli kuvvet, $V_r'$	
$V_r' = P_r \left( 1 - \frac{F_y A_s}{P_{no}} \right) \quad (12.29)$	
$V_r' = P_r \left( 1 - \frac{275(6871)10^{-3}}{2792} \right) = 0.323P_r$	
YDKT	GKT
<b>d.1</b> Gerekli boyuna kayma kuvveti dayanımı	
$V_r' = 0.323(1140) = 368 \text{ kN}$	$V_r' = 0.323(750) = 242 \text{ kN}$

Yükün doğrudan betona etkimesi durumu, Şekil 12.3.1(b)

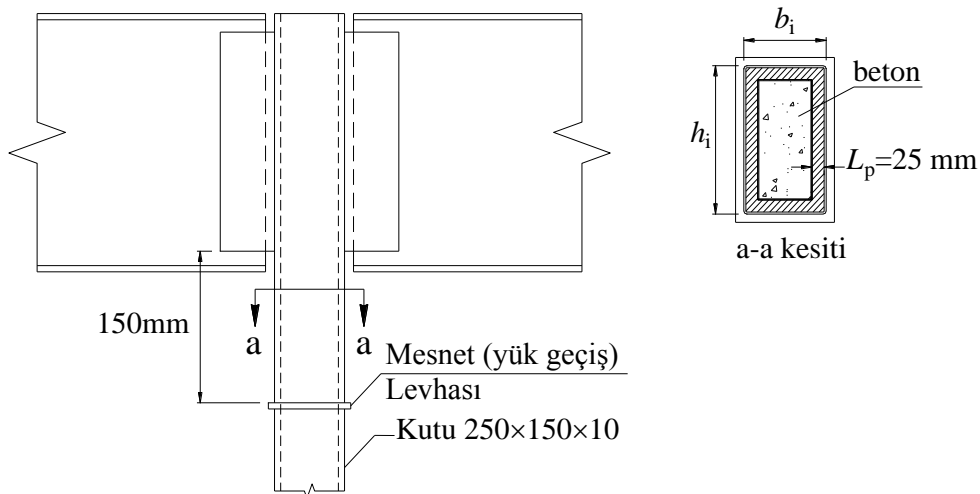
Yönetmelik 12.7.1.2 uyarınca, beton dolgulu kompozit kolonun, kutu enkesitli çelik elemanı <i>kompakt enkesit</i> olarak değerlendirildiğinden, çelik elemana iletilmesi gerekli kuvvet, $V_r'$	
$V_r' = P_r \left( \frac{F_y A_s}{P_{no}} \right) \quad (12.30a)$	
$V_r' = P_r \left( \frac{275(6871)10^{-3}}{2792} \right) = 0.677P_r$	
YDKT	GKT
<b>d.2</b> Gerekli boyuna kayma kuvveti dayanımı	
$V_r' = 0.677(1140) = 771 \text{ kN}$	$V_r' = 0.677(750) = 507 \text{ kN}$

Yükün çelik profil ve betona birlikte etkimesi durumu, Şekil 12.3.1(c)

Kompozit enkesitin bileşenleri arasında iletilmesi gerekli kuvvet, $V'_r$	
Yükün çelik enkesite doğrudan aktarılan kısmı için aksel rijitliklerin oranına dayanan elastik dağılım kullanılabilir.	
$P_{rs} = \left( \frac{E_s A_s}{E_s A_s + E_c A_c} \right) P_r$ $P_{rs} = \left( \frac{200000(6871)}{200000(6871) + 30000(30332)} \right) P_r = 0.60 P_r$	
$V'_r = \left[ P_{rs} - P_r \left( \frac{F_y A_s}{P_{no}} \right) \right] \quad (12.31)$	
$V'_r = \left[ 0.60 P_r - P_r \left( \frac{(275)6871(10)^{-3}}{2792} \right) \right] = 0.077 P_r$	
YDKT	GKT
<b>d.3 Gerekli boyuna kayma kuvveti dayanımı</b>	
$V'_r = 0.077(1140) = 88 \text{ kN}$	$V'_r = 0.077(750) = 58 \text{ kN}$

e. Beton dolgulu kompozit elemanda yük geçişi, *Yönetmelik 12.7.3.2* uyarınca, yük aktarım bölgesinin üstünde ve altında kutu enkesitli çelik elemanın en küçük kenar genişliğinin iki katı uzaklığı aşmayacak şekilde belirlenen *yük geçiş uzunluğu* içinde sağlanacaktır. Doğrudan mesnetlenme ile yük geçişinin sağlanmasının amaçlandığı incelenen örnekte, ezilme levhası, çelik kutu enkesite kaynaklı kayma levhasının (yük aktarım bölgesi) altından 150mm uzaklıkta uygulanmıştır.

Dolayısıyla, yük aktarım bölgesinin altında *yük geçişi* için *Yönetmelik 12.7.3.2* uyarınca,  $2B$  ( $=2 \times 150 = 300\text{mm}$ ) uzunluğu sağlanmaktadır (Şekil 12.3.2).



Şekil 12.3.2 – Çelik kutu elemanın iç yüzeyinde uygulanan ezilme levhası

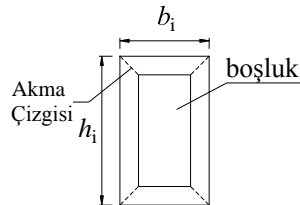
Beton yerleşim uygulaması da dikkate alınarak, kutu enkesitin iç yüzeyinde beton ve levha arasındaki temas yüzeyinde levha genişliği,  $L_p=25\text{mm}$  seçilmiştir. Bu durumda, ezilme etkisindeki beton alanı,

$$A_1 = A_c - (h_1 - 2L_p)(b_1 - 2L_p) = 32531 - (248.14 - 2 \times 25)(131.40 - 2 \times 25) = 16402 \text{mm}^2$$

YDKT	GKT
Gerekli boyuna kayma kuvveti dayanımı (Bkz. (d.1))	
$V'_r = 0.323(1140) = 368 \text{ kN}$	$V'_r = 0.323(750) = 242 \text{ kN}$
<i>Yönetmelik</i> 12.7.2.1 uyarınca, beton ve yük geçiş levhası arasındaki temas yüzeyinde karakteristik ezilme dayanımı	
$R_n = 1.7 f_{ck} A_1 = 1.7(35)16402(10)^{-3} = 976 \text{ kN}$	(12.32)
Tasarım ezilme dayanımının kontrolü	Güvenli ezilme dayanımının kontrolü
$R_d = \phi_B R_n = 0.65 \times 976 = 634.40 \text{ kN}$	$R_g = \frac{R_n}{\Omega_B} = \frac{976}{2.31} = 422.51 \text{ kN}$
$R_d = 634.40 \text{ kN} \geq V'_r = 368 \text{ kN} \checkmark$	$R_g = 422.51 \text{ kN} \geq V'_r = 242 \text{ kN} \checkmark$

#### Yük geçiş levhasının kalınlığının belirlenmesi

Yük geçiş levhasının kalınlığı farklı yöntemler ile belirlenebilir. Bu örnekte, levhanın plastik göçme mekanizmasını belirleyen akma çizgisi teorisi kullanılarak gerekli levha kalınlığı hesaplanmıştır (Şekil 12.3.3) (Bkz. *Kaynak Yayınlar*).



**Şekil 12.3.3** – Akma çizgileri

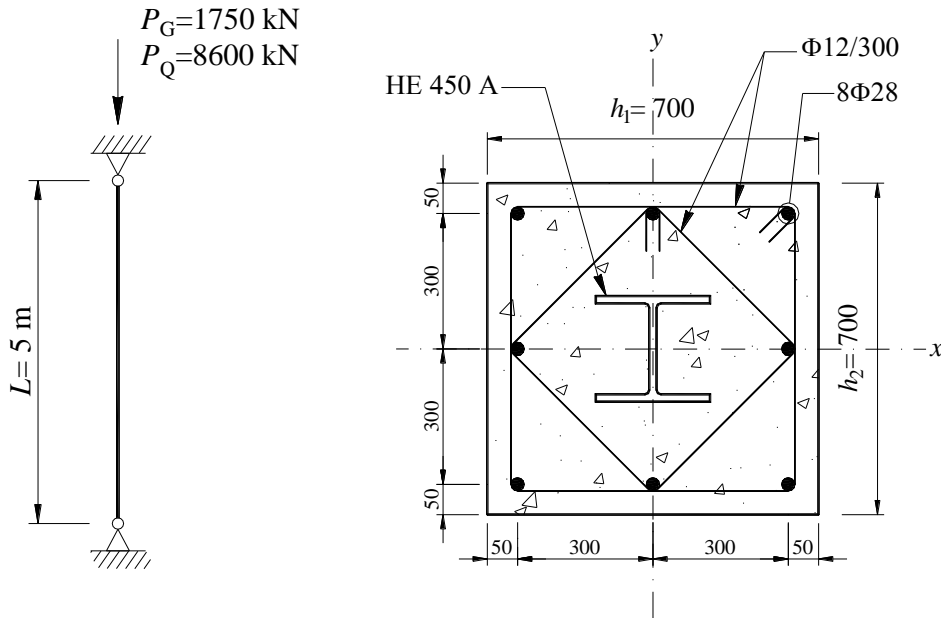
Yük geçiş levhasının gerekli kalınlığının belirlenmesi (Çelik sınıfı : S235)	
YDKT	GKT
$t_p = \sqrt{\frac{V'_r/A_1}{2\phi F_y} \left[ L_p(b_1 + h_1) - \frac{8L_p^2}{3} \right]}$ $= \sqrt{\frac{386(10)^3/16402}{2(0.9)235} \left[ 25(131.40 + 248.14) - \frac{8(25)^2}{3} \right]}$ $= 20.86 \text{mm}$	$t_p = \sqrt{\frac{\Omega V'_r/A_1}{2F_y} \left[ L_p(b_1 + h_1) - \frac{8L_p^2}{3} \right]}$ $= \sqrt{\frac{1.67(254)10^3/16402}{2(235)} \left[ 25(131.40 + 248.14) - \frac{8(25)^2}{3} \right]}$ $= 20.62 \text{mm}$

**Not:** Kompozit kolon basınç kuvveti etkisinde olduğundan, yük geçiş levhasının kaynak boyutlarının *Yönetmelik* Bölüm 13 koşulları uyarınca değerlendirilmesi yeterlidir. Ancak, kolonun çekme veya eğilme etkisinde olması durumunda birleşim dayanımları *Yönetmelik* Bölüm 13 ve Bölüm 14 koşulları uyarınca kontrol edilmelidir.

## Örnek 12.4

Aşağıdaki şekilde enkesit detayı ve yükleme durumu verilen her iki asal eksenini etrafında iki ucu mafsallı çelik gömme kompozit eleman sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 1750\text{kN}$  ve  $P_Q = 8600\text{kN}$  eksenel basınç kuvveti etkisindedir.

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)
- Kompozit elemanda tipik olarak, dış yükün çelik elemana, beton enkesite ve her ikisine birden uygulanması durumlarında beton ve çelik bileşenlerin ortak yüzeyleri arasında iletilmesi gerekli  $V_r'$ , boyuna kayma kuvvetinin belirlenmesi
- Kompozit kolonda dış yükün beton elemana uygulandığı durumda  $V_r'$ , boyuna kayma kuvvetinin iletilmesinde yük geçiş mekanizmalarının yeterliliğinin kontrolü



### Beton sınıfı

$$C 40 \quad f_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2 \quad w_c = 2400 \text{ kg/m}^3$$

### Çelik sınıfı

$$S 355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

### Beton çeliği sınıfı

$$F_{ysr} = 500 \text{ N/mm}^2$$

### Çelik enkesit

HE 450 A			
$A = 17800 \text{ mm}^2$	$d = 440 \text{ mm}$	$h = 344 \text{ mm}$	$t_w = 11.5 \text{ mm}$
$b_f = 300 \text{ mm}$	$t_f = 21 \text{ mm}$	$I_x = 63720 \text{ cm}^4$	$I_y = 9465 \text{ cm}^4$



## Çözüm

a. Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Beton elastisite modülü, *Yönetmelik* 12.2.1 uyarınca,

$$E_c = 0.043w_c^{1.5}\sqrt{f_{ck}} = 0.043(2400)^{1.5}\sqrt{40} = 31975 \text{ N/mm}^2 \quad (12.1)$$

Donatı alanı ve atalet momenti,

$$A_{sr,1} = \frac{\pi d_b^2}{4} = \frac{\pi(28)^2}{4} = 615 \text{ mm}^2$$

$$A_{sr} = 8 \times A_{sr,1} = 8 \times 615 = 4920 \text{ mm}^2$$

$$I_{sr,1} = \frac{\pi d_b^4}{64} = \frac{\pi(28)^4}{64} = 30172 \text{ mm}^4$$

$$I_{srx} = I_{sry} = 8(30172) + 6[615(300)^2] = 33234(10)^4 \text{ mm}^4$$

Kompozit elemanın toplam enkesit alanı,

$$A_g = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$$

Beton alanı ve atalet momenti,

$$A_c = 490000 - 17800 - 8(615) = 467280 \text{ mm}^2$$

$$I_{cx} = \frac{700(700)^3}{12} - 63720(10)^4 - 33234(10)^4 = 19038793330 \text{ mm}^4$$

$$I_{cy} = \frac{700(700)^3}{12} - 9465(10)^4 - 33234(10)^4 = 19581343330 \text{ mm}^4$$

Beton dolgulu kompozit elemanda *Yönetmelik* koşullarının kontrolü

Karakteristik beton dayanımı, *Yönetmelik* 12.2.3 (a) uyarınca,

$$20 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2 \leq 70 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Beton çeliğinin karakteristik akma gerilmesi, *Yönetmelik* 12.2.3 (b) uyarınca,

$$F_{ysr} = 500 \text{ N/mm}^2 \leq 500 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Yapısal çeliğin karakteristik akma gerilmesi, *Yönetmelik* 12.2.3 (c) uyarınca,

$$F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \leq 460 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Yapısal çelik oranı, *Yönetmelik* 12.3.1.1(a) uyarınca,

$$\frac{A_s}{A_g} = \frac{17800}{490000} = 0.036 \geq 0.01 \checkmark$$

Etriye aralığı, *Yönetmelik* 12.3.1.1(b) uyarınca,  $\phi 12$  etriye kullanıldığından

$$s = 300\text{mm} \leq 400\text{mm} \checkmark$$

$$s = 300\text{mm} \leq s_{\text{maks}} = 0.5 \left\{ \begin{array}{l} h_1 = 700\text{mm} \\ h_2 = 700\text{mm} \end{array} \right\}_{\text{min}} = 350\text{mm} \checkmark$$

Boyuna donatı oranı, *Yönetmelik* 12.3.1.1(c) uyarınca,

$$\rho_{\text{sr}} = \frac{A_{\text{sr}}}{A_{\text{g}}} = \frac{4920}{490000} = 0.01 \geq 0.004 \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.3.1.5(a) uyarınca, çelik çekirdek ile en yakın boyuna donatı arasındaki uzaklık,

$$c = \text{maks} \left\{ \begin{array}{l} 1.5d = 1.5(28) = 42\text{mm} \\ 40\text{mm} \end{array} \right\} = 42\text{mm} \leq \frac{700 - 450 - 28}{2} - 50 = 61\text{mm} \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.2.1 uyarınca enine donatı ve boyuna donatı detayları için TS 500 de verilen koşullar gözönüne alınacaktır.

Kompozit elemanın etkin eğilme rijitliği,  $(EI)_{\text{ef}}$ , *Yönetmelik* 12.3.1.2 uyarınca belirlenecektir.

$$C_1 = 0.25 + 3 \left( \frac{A_s + A_{\text{sr}}}{A_{\text{g}}} \right) = 0.25 + 3 \left( \frac{17800 + 4920}{490000} \right) = 0.389 \leq 0.7 \checkmark$$

Eksenel basınç kuvveti dayanımını x ve y eksenleri ile hesaplanan etkin eğilme rijitliğinin küçüğü belirlediğinden,

$$\begin{aligned} (EI)_{\text{efy}} &= E_s I_{\text{sy}} + E_{\text{sr}} I_{\text{sry}} + C_1 E_c I_{\text{cy}} & (12.6) \\ &= 200000(9465)10^4 + 200000(33234)10^4 + 0.389(31975)19581343330 \\ &= 32902002230(10)^4 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Eğilmeli burkulma durumunda asal eksenlere göre eleman burkulma boyu, *Yönetmelik* 6.4.3(a) uyarınca, burkulma boyu katsayısı,  $K=1.0$  olarak alınarak,

$$L_c = KL = 1.0(5000) = 5000 \text{ mm}$$

*Yönetmelik* 12.3.1.2 uyarınca,  $P_e$ , elastik burkulma yükü,

$$P_e = \frac{\pi^2 (EI)_{\text{ef}}}{(L_c)^2} = \frac{\pi^2 (32902002230)10^4}{(5000)^2} 10^{-3} = 129892 \text{ kN}$$

Kompozit elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, *Yönetmelik* 12.3.1.2 uyarınca

$$\begin{aligned} P_{\text{no}} &= F_y A_s + F_{\text{ysr}} A_{\text{sr}} + 0.85 f_{\text{ck}} A_c & (12.5) \\ &= 355(17800)10^{-3} + 500(4920)10^{-3} + 0.85(40)467280(10^{-3}) = 24666 \text{ kN} \end{aligned}$$

Yönetmelik 12.3.1.2, uyarınca,

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{24666}{129892} = 0.19 \leq 2.25 \text{ olduğundan, karakteristik basınç kuvveti dayanımı, } P_n,$$

$$P_n = P_{no} \left[ 0.658^{\frac{P_{no}}{P_e}} \right] = 24666 \left[ 0.658^{0.19} \right] = 22780 \text{ kN} \quad (12.3)$$

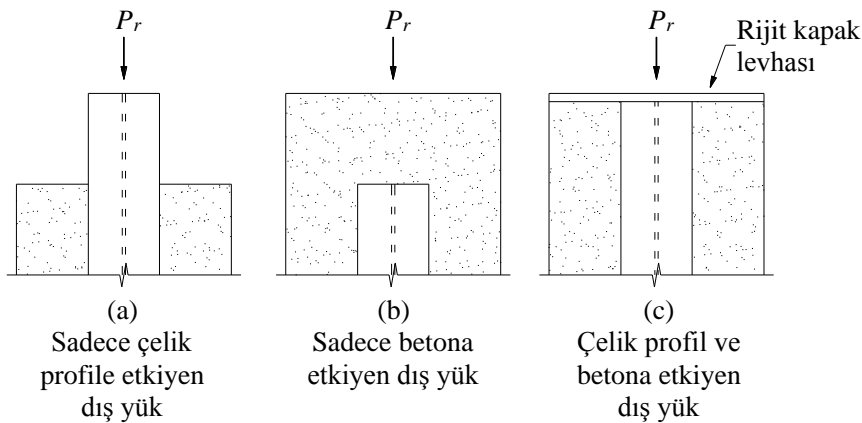
YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(1750) + 1.6(8600) = 15860 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 1750 + 8600 = 10350 \text{ kN}$
<b>b.</b> Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.75(22780) = 17085 \text{ kN}$	$P_{eg} = P_n / \Omega_c = 22780 / 2.0 = 11390 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{15860}{17085} = 0.928 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_{eg}} = \frac{10350}{11390} = 0.909 \leq 1.0 \checkmark$

Kompozit elemanda uygulanan dış yük aktarımına göre, beton ve çelik bileşenlerin ortak yüzeyleri arasındaki yük aktarımı Yönetmelik 12.7 uyarınca kontrol edilecektir.

**d.** Şekil 12.4.1 (a, b veya c) de verilen tipik uygulamalar için, kompozit kolonda dış yükün (basınç kuvvetinin),

- (d.1) sadece çelik profile etkimesi,
- (d.2) sadece betona etkimesi,
- (d.3) çelik profil ve betona birlikte etkimesi,

durumları için Yönetmelik 12.7 uyarınca yük paylaşımı incelenecektir.



Şekil 12.4.1 – Kompozit kolonda tipik dış yük etkisi

**d.1** Yü­kün doğrudan çelik elemana etkimesi durumu, Şekil 12.4.1(a)

<i>Yönetmelik 12.7.1.1 uyarınca, beton enkesite iletilmesi gerekli kuvvet , <math>V_r'</math></i>	
$V_r' = P_r \left( 1 - \frac{F_y A_s}{P_{no}} \right) \quad (12.29)$	
$V_r' = P_r \left( 1 - \frac{355(17800)10^{-3}}{24666} \right) = 0.74P_r$	
YDKT	GKT
<b>d.1</b> Gerekli boyuna kayma kuvveti dayanımı	
$V_r' = 0.74(15860) = 11736.40 \text{ kN}$	$V_r' = 0.74(10350) = 7659 \text{ kN}$

**d.2** Yü­kün doğrudan betona etkimesi durumu, Şekil 12.4.1(b)

<i>Yönetmelik 12.7.1.2 uyarınca, çelik elemana iletilmesi gerekli kuvvet, <math>V_r'</math></i>	
$V_r' = P_r \left( \frac{F_y A_s}{P_{no}} \right) \quad (12.30a)$	
$V_r' = P_r \left( \frac{355(17800)10^{-3}}{24666} \right) = 0.256P_r$	
YDKT	GKT
<b>d.2</b> Gerekli boyuna kayma kuvveti dayanımı	
$V_r' = 0.256(15860) = 4060.16 \text{ kN}$	$V_r' = 0.256(10350) = 2649.50 \text{ kN}$

**d.3** Yükün çelik profil ve betona birlikte etkimesi durumu, Şekil 12.4.1 (c)

Kompozit enkesitin bileşenleri arasında iletilmesi gerekli kuvvet, $V_r'$	
Yükün çelik enkesite doğrudan aktarılan kısmı, eksenel rijitliklerin oranına dayanan elastik dağılım varsayımı ile belirlenebilir.	
$P_{rs} = \left( \frac{E_s A_s}{E_s A_s + E_c A_c + E_{sr} A_{sr}} \right) P_r$	
$P_{rs} = \left( \frac{200000(17800)}{200000(17800) + 31975(467280) + 200000(4920)} \right) P_r = 0.182 P_r$	
$V_r' = \left[ P_{rs} - P_r \left( \frac{F_y A_s}{P_{no}} \right) \right] \quad (12.31)$	
$V_r' = \left[ \left[ 0.182 P_r - P_r \left( \frac{(355)17800(10)^{-3}}{24666} \right) \right] \right] = 0.074 P_r$	
YDKT	GKT
<b>d.3</b> Gerekli boyuna kayma kuvveti dayanımı	
$V_r' = 0.074(15860) = 1176 \text{ kN}$	$V_r' = 0.074(10350) = 766 \text{ kN}$

e. Dış yükün beton elemana uygulandığı durumda  $V_r'$ , boyuna kayma kuvvetinin iletilmesinde kompozit kolonda iki yük geçiş mekanizmasının yeterliliği *Yönetmelik* 12.7.2 uyarınca, incelenmiştir.

**e.1** Doğrudan mesnetlenme ile yük geçişi

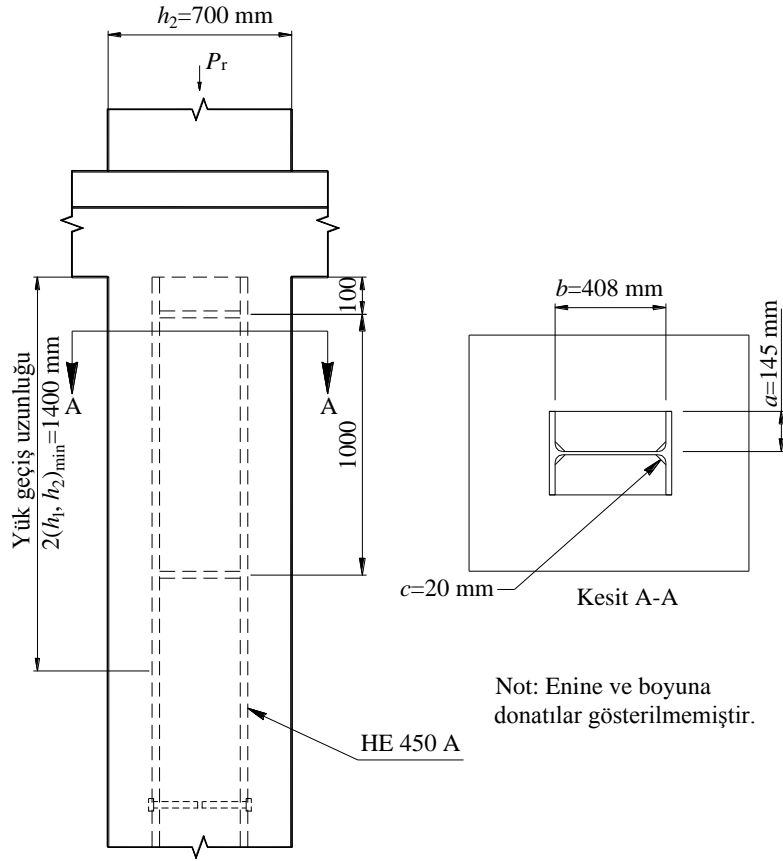
Kompozit gömme kolonda yük geçişi, çelik enkesitin başlıkları arasına kaynaklanan levhalara mesnetlenen beton yüzey alanı ile sağlanabilir (Şekil 12.4.2).

Levha aralığı ve yerleşiminin kontrolü

Yük geçiş uzunluğu içinde, birden fazla ezilme levhası kullanıldığında, betonun uygun yerleşimi için levhalar arasında çelik enkesitin yüksekliğinin en az iki katı uzaklığın sağlanması önerilmektedir.

$$1000 \text{ mm} \geq 2d = 2 \times 450 = 900 \text{ mm} \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.7.3.1 uyarınca, beton gömme kompozit elemanda yük geçişi, yük aktarım bölgesinin üstünde ve altında kutu enkesitli çelik elemanın en küçük kenar genişliğinin iki katı uzaklığı aşmayacak şekilde belirlenen *yük geçiş uzunluğu* içinde sağlanacaktır.



Şekil 12.4.2 Yük geçişinin doğrudan mesnetlenme ile sağlanması

İncelenen örnekte üstteki kolonun betonarme olduğu vasayımıyla, basınç kuvveti,  $P_r$  büyük oranda üstteki betonarme kolondan doğrudan aktarıldığı için, birleşim yüksekliği olarak tanımlanan yük aktarım bölgesinin uzunluğu sıfır olacaktır. Kompozit kolon yük aktarım bölgesi sadece alt tarafa doğru devam ettiğinden ezilme levhalarının kompozit kolonun üst ucundan itibaren aşağıya doğru  $2B = 1400\text{mm}$  olarak belirlenen *yük geçiş uzunluğu* içine yerleştirilmesi yeterlidir.

Seçilen ezilme levhasının boyutları,

$$a = 145\text{ mm}$$

$$b = d - 2t_f = 450 - 2 \times 21 = 408\text{ mm}$$

$$c = 20\text{ mm}$$

olduğundan, ezilme etkisindeki beton alanı,

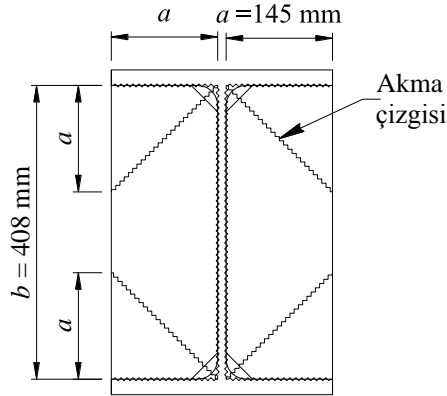
$$A_1 = (2ab - 2c^2) (\text{yük geçiş uzunluğundaki levha sayısı})$$

$$= [2(145 \times 408) - 2(20)^2] \times 2 = 235040\text{ mm}^2$$

YDKT	GKT
Gerekli boyuna kayma kuvveti dayanımı	
$V_r' = 0.256(15860) = 4060.16 \text{ kN}$	$V_r' = 0.256(10350) = 2649.50 \text{ kN}$
<i>Yönetmelik</i> 12.7.2.1 uyarınca, beton ve yük geçiş levhası arasındaki temas yüzeyinde karakteristik ezilme dayanımı	
$R_n = 1.7 f_{ck} A_1 = 1.7(40)235040(10)^{-3} = 15983 \text{ kN}$ (12.32)	
Tasarım ezilme dayanımının kontrolü	Güvenli ezilme dayanımının kontrolü
$R_d = \phi_B R_n = 0.65 \times 15983 = 10389 \text{ kN}$	$R_g = \frac{R_n}{\Omega_B} = \frac{15983}{2.31} = 6919 \text{ kN}$
$R_d = 10389 \text{ kN} \geq V_r' = 4060 \text{ kN} \checkmark$	$R_g = 6919 \text{ kN} \geq V_r' = 2649.50 \text{ kN} \checkmark$

### Yük geçiş levhasının kalınlığının belirlenmesi

Yük geçiş levhasının kalınlığı farklı yöntemler ile belirlenebilir. Bu örnekte, gerekli levha kalınlığı levhanın plastik göçme mekanizmasını belirleyen akma çizgisi (Şekil 12.4.3) teorisi kullanılarak hesaplanmıştır (Bkz. *Kaynak Yayınlar*, Park and Gamble, 2000). Levha kalınlığının belirlenmesinde  $b \geq 2a$  olması durumunda geçerli olan, şekilde verilen akma çizgileri yayılışı gözönüne alınmıştır. Levha köşelerindeki kesimler ihmal edilmiştir.



Şekil 12.4.3 – Olası akma çizgileri

Yük geçiş levhasının gerekli kalınlığının belirlenmesi ( Çelik sınıfı : S235)	
YDKT	GKT
$t_p \geq t_f$ ise $t_p = \sqrt{\frac{2a^2 w_u (3b - 2a)}{3\phi F_y (4a + b)}}$ $t_p < t_f$ ise $t_p = \sqrt{\frac{2a^2 w_u (3b - 2a)}{3\phi F_y (6a + b)}}$ $w_u = \frac{V'_r}{A_1} = \frac{4060.16(10)^3}{235040} = 17.27 \text{ N/mm}^2$ $t_p = \sqrt{\frac{2(145)^2 17.27 [3(408) - 2(145)]}{3(0.90)235 [4(145) + 408]}}$ $= 32.89 \text{ mm} > t_f = 21 \text{ mm} \checkmark$ $t_p = 35 \text{ mm}$	$t_p \geq t_f$ ise $t_p = \sqrt{\left(\frac{2\Omega}{3F_y}\right) \left[ \frac{a^2 w_a (3b - 2a)}{(4a + b)} \right]}$ $t_p < t_f$ ise $t_p = \sqrt{\left(\frac{2\Omega}{3F_y}\right) \left[ \frac{a^2 w_a (3b - 2a)}{(6a + b)} \right]}$ $w_a = \frac{V'_r}{A_1} = \frac{2649.50(10)^3}{235040} = 11.27 \text{ N/mm}^2$ $t_p = \sqrt{\frac{2(1.67)(145)^2 11.27 [3(408) - 2(145)]}{3(235) [4(145) + 408]}}$ $= 32.57 \text{ mm} > t_f = 21 \text{ mm} \checkmark$ $t_p = 35 \text{ mm}$

**Not:** Kompozit kolon basınç kuvveti etkisinde olduğundan, yük geçiş levhasının kaynak boyutlarının *Yönetmelik* Bölüm 13 koşulları uyarınca değerlendirilmesi yeterlidir. Ancak, kolonun çekme veya eğilme etkisinde olması durumunda birleşim dayanımları *Yönetmelik* Bölüm 13 ve Bölüm 14 uyarınca kontrol edilmelidir.

### e.2 Çelik ankrajlar ile yük geçişi

$d_{sa}=19\text{mm}$  olarak seçilen çelik ankrajın alanı,

$$A_{sa} = \frac{\pi d_{sa}^2}{4} = \frac{\pi(19)^2}{4} = 283.53 \text{ mm}^2$$

YDKT	GKT
<i>Yönetmelik</i> 12.8.3.1 uyarınca başlıklı çelik ankrajın karakteristik kesme kuvveti dayanımı,	
$Q_{nv} = F_u A_{sa} = 450(283.53)10^{-3} = 127.59 \text{ kN/ankraj}$ (12.37)	
Tasarım kesme kuvveti dayanımı	Güvenli kesme kuvveti dayanımı
$\phi_v Q_{nv} = 0.65(127.59) = 83 \text{ kN/ankraj}$	$\frac{Q_{nv}}{\Omega_v} = \frac{127.59}{2.31} = 55.23 \text{ kN/ankraj}$
Gerekli ankraj sayısı	
$n_{\text{ankraj}} = \frac{V'_r}{\phi_v Q_{nv}} = \frac{4060.16}{83} = 48.91 \text{ ankraj}$	$n_{\text{ankraj}} = \frac{V'_r}{\Omega_v Q_{nv}} = \frac{2649.50}{55.23} = 47.97 \text{ ankraj}$



*Yönetmelik* 12.7.3.1 uyarınca, beton gömme kompozit elemanda yük geçişi, yük aktarım bölgesinin üstünde ve altında kompozit elemanın en küçük kenar genişliğinin iki katı uzaklığı aşmayacak şekilde belirlenen *yük geçiş uzunluğu* içinde sağlanacaktır. Ayrıca, ankrajlar çelik elemanın en az iki yüzüne ve eksenlerine göre simetrik yerleştirilecektir.

#### Başlıklı çelik ankrajlarda yönetmelik koşullarının kontrolü

*Yönetmelik* 12.8.1 uyarınca,

$$d_{sa} = 19 \text{ mm} \leq 2.5(t_w) = 2.5(11.5) = 28.75 \text{ mm} \checkmark$$

Kompozit kolonda başlıklı çelik ankraj sadece kayma etkisinde kalacağından, *Yönetmelik* 12.8.3 uyarınca,

$$\frac{h_{sa}}{d_{sa}} = \frac{110}{19} = 5.78 \geq 5 \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.8.3.5(a) uyarınca, çelik enkesitin gövdesine yerleştirilen çelik ankrajlar için uygulananan beton örtü kalınlığı,

$$\frac{h_1}{2} - \frac{t_w}{2} - h_{sa} = \frac{700}{2} - \frac{11.5}{2} - 110 = 234.25 \text{ mm} \geq (\text{donatı pas payı} + 10 \text{ mm}) \checkmark$$

Yük geçiş uzunluğu içine yerleştirilecek başlıklı çelik ankrajlarda ara uzaklık,

$$e = \frac{\text{yük geçiş uzunluğu} - \text{elemanın üst ucundan ilk ankraja uzaklık}}{[\text{Toplam ankrajsayısı} / \text{her bir gruptaki ankrajsayısı}] - 1}$$

$$e = \frac{1400 - 140}{[52/4] - 1} = 105 \text{ mm}$$

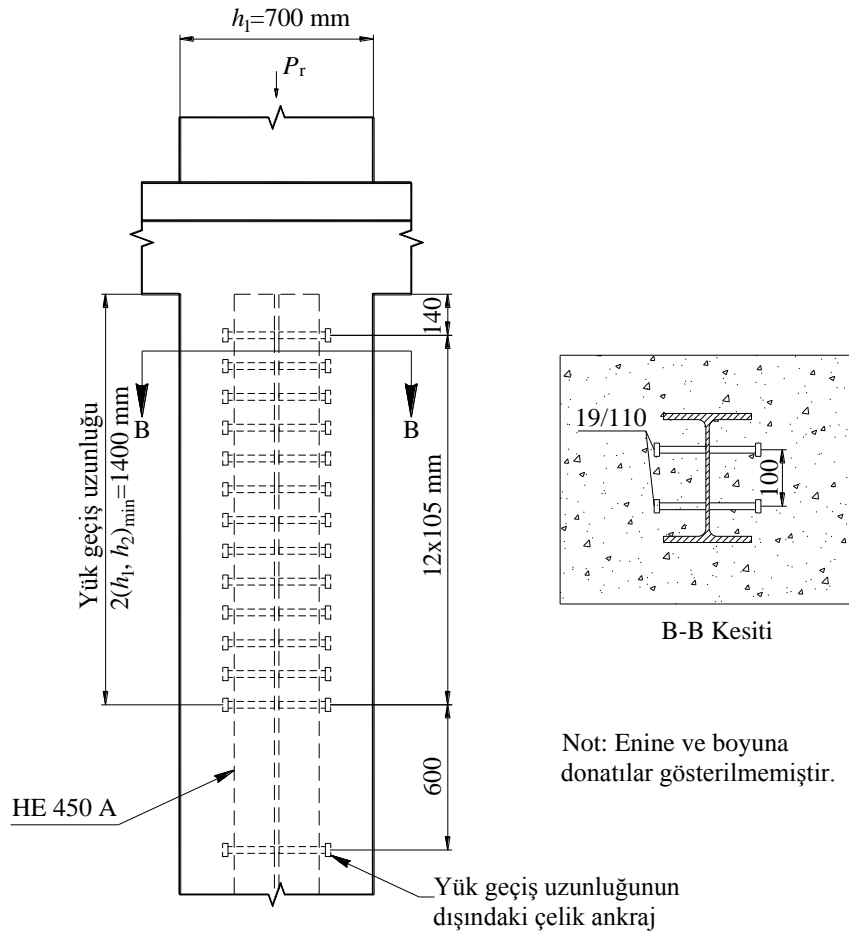
*Yönetmelik* 12.8.3.5(b) uyarınca, çelik enkesitin gövde genişliği içinde iki başlıklı çelik ankraj arasındaki uzaklık,

$$e_1 = 100 \text{ mm} \geq s_{\min} = 4d_{sa} = 4(19) = 76 \text{ mm} \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.8.3.5(c) uyarınca, başlıklı çelik ankrajların arasındaki uzaklık,

$$s_{\min} = 4d_{sa} = 4(19) = 76 \text{ mm} \leq e = 105 \text{ mm} \leq s_{\max} = 32d_{sa} = 32(19) = 608 \text{ mm} \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.7.3.1 uyarınca, yük geçiş uzunluğunun içinde ve dışında çelik enkesitin gövdesinin her iki yüzüne yerleştirilecek çelik ankrajların aralığı uygundur.



Şekil 12.4.4 – Çelik ankrajlar ile yük geçişinin sağlanması

### Örnek 12.5

Örnek 12.4 te verilen eleman aksenal çekme kuvveti etkisindedir.

- Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi (YDKT)
- Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi (GKT)

#### Çözüm

- Elemanın  $P_n$ , karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik* 12.3.1.3 uyarınca, akma sınır durumu esas alınarak,

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} \quad (12.7)$$

$$P_{no} = 355(21800)10^{-3} + 500(4920)10^{-3} = 10199 \text{ kN}$$

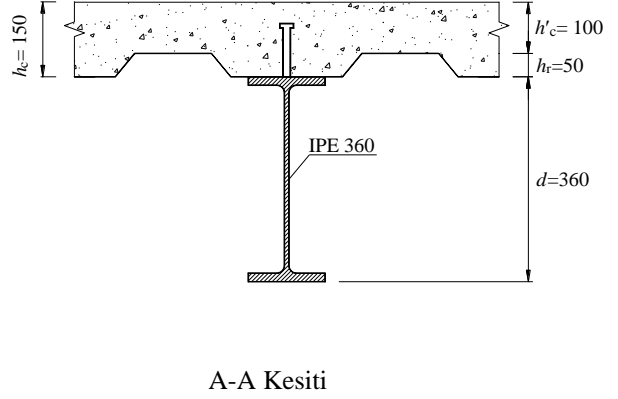
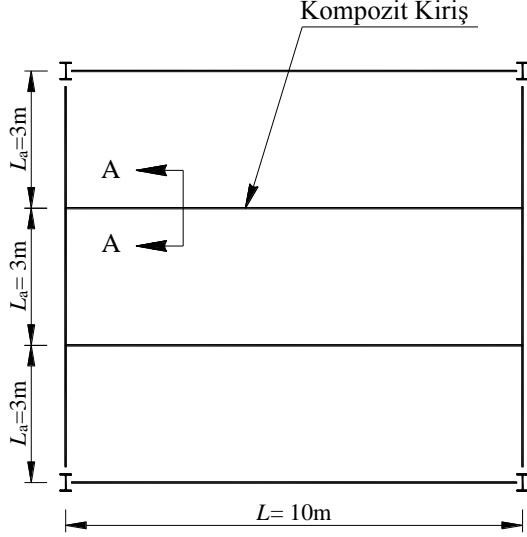
YDKT	GKT
<b>b.</b> Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımı	<b>c.</b> Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımı
$P_d = \phi_t P_n = 0.90(10199) = 9179 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_t = 10199 / 1.67 = 6107 \text{ kN}$

Kompozit elemanda uygulanan dış yük aktarımına göre, beton ve çelik bileşenlerin ortak yüzeyleri arasındaki yük aktarımı *Yönetmelik* 12.7 uyarınca kontrol edilmelidir.

## Örnek 12.6

Aşağıdaki şekilde sistemi ve enkesit detayı verilen kompozit kirişin

- Karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının belirlenmesi (GKT)



### Beton sınıfı

$$C 30 \quad f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

### Çelik sınıfı

$$S 355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

### Çelik enkesit

IPE 360

$$A = 7270 \text{ mm}^2 \quad d = 360 \text{ mm} \quad h = 334.6 \text{ mm}$$

$$b_f = 170 \text{ mm} \quad t_w = 8 \text{ mm} \quad t_f = 12.7 \text{ mm}$$

### Çözüm

- Kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Kompozit kirişte Yönetmelik koşullarının kontrolü

Yönetmelik 12.2.3 (a) uyarınca,

$$20 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2 \leq 70 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Yönetmelik 12.2.3 (c) uyarınca,

$$F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \leq 460 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

### Kompozit kirişte döşeme etkin genişliği

Yönetmelik 12.4.1.1(a) ve (b) uyarınca,

$$\left. \begin{array}{l} b_1' \leq \frac{L}{8} = \frac{10}{8} = 1.25\text{m} \\ b_2' \leq \frac{L_a}{2} = \frac{3}{2} = 1.50\text{m} \end{array} \right\} = 1.25\text{m} \quad \text{min}$$
$$b = 2 \times 1.25 = 2.50\text{m}$$

Yönetmelik 12.4.2.1 (a) uyarınca,

$$\frac{h}{t_w} = \frac{334.6}{8} = 41.825 \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89 \checkmark$$

olduğundan, kompozit enkesitte plastik gerilme dağılımı yöntemi ile akma sınır durumu için karakteristik eğime momenti dayanımı belirlenecektir.

Yönetmelik 12.4.2.3 (f) uyarınca, çelik sac hadveleri çelik kirişin boyuna eksenine paralel yerleştirildiğinden, çelik sacın üst kotunun altında kalan betonun katkısı tasarımda hesaba katılabilir. Bu durumda, çelik sac geometrisi güvenli tarafta kalınarak gözönüne alınarak,

$$A_c = (2500 \times 100) + (0.5 \times 2500 \times 50) = 312500 \text{mm}^2$$

Kompozit kirişin tasarımında gözönüne alınacak basınç kuvveti,

$$C_s = P_{yt} = F_y A_s = 355(7270)10^{-3} = 2580.85 \text{kN} \quad (12.20a)$$

$$C_c = 0.85 f_{ck} A_c = 0.85(30)(312500)10^{-3} = 7968.75 \text{kN} \quad (12.20b)$$

Tam etkileşimli kompozit kiriş varsayımı ile betondaki basınç kuvveti,

$$C = (C_s; C_c)_{\min} = 2580.85 \text{kN}$$

$C_s < C_c$  olduğundan, plastik tarafsız eksen betonarme döşeme içindedir.

Bu durumda, beton basınç bloğunun derinliği,

$$a = \frac{C}{0.85 f_{ck} b} = \frac{2580850}{0.85(30)2500} = 40.48 \text{mm} \quad (12.19)$$

Kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımı,

$$M_n = C_c \left( h_c - \frac{a}{2} \right) + P_{yt} \left( \frac{d}{2} \right) \quad (12.18)$$

$$M_n = 2580.85 \left( 150 - \frac{40.48}{2} \right) 10^{-3} + 2580.85 \left( \frac{360}{2} \right) 10^{-3} = 799 \text{kNm}$$

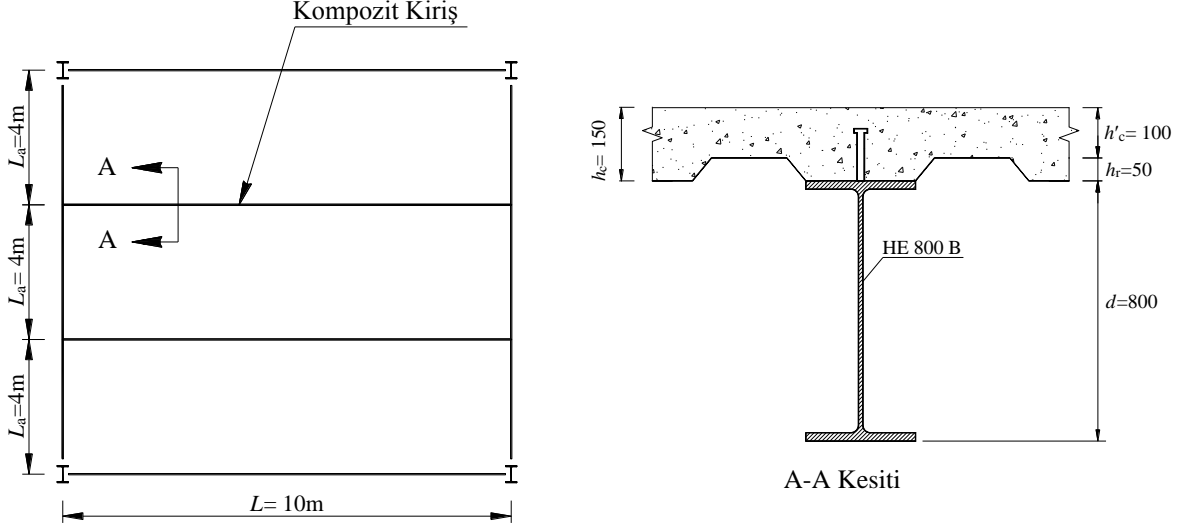
Yönetmelik 12.4.2 uyarınca,

YDKT	GKT
<b>b.</b> Kompozit kirişin tasarım eğilme momenti dayanımı	<b>c.</b> Kompozit kirişin güvenli eğilme momenti dayanımı
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(799) = 719.10 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 799 / 1.67 = 478.44 \text{ kNm}$

## Örnek 12.7

Aşağıdaki şekilde sistemi ve enkesit detayı verilen kompozit kirişin

- Karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının belirlenmesi (GKT)



### Beton sınıfı

$$C 30 \quad f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

### Çelik sınıfı

$$S 355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

### Çelik enkesit

HE 800 B

$$A = 33420 \text{ mm}^2 \quad d = 800 \text{ mm} \quad h = 734 \text{ mm}$$

$$b_f = 300 \text{ mm} \quad t_f = 33 \text{ mm} \quad t_w = 17.5 \text{ mm}$$

### Çözüm

- Kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Kompozit kirişte Yönetmelik koşullarının kontrolü

Yönetmelik 12.2.3(a) uyarınca,

$$20 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2 \leq 70 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Yönetmelik 12.2.3(c) uyarınca,

$$F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \leq 460 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

### Kompozit kirişte döşeme etkin genişliği

Yönetmelik 12.4.1.1(a) ve (b) uyarınca,

$$\left. \begin{array}{l} b'_1 \leq \frac{L}{8} = \frac{10}{8} = 1.25\text{m} \\ b'_2 \leq \frac{L_a}{2} = \frac{4}{2} = 2.00\text{m} \end{array} \right\} = 1.25\text{m}$$
$$b = 2 \times 1.25 = 2.50\text{m}$$

Yönetmelik 12.4.2.1 (a) uyarınca,

$$\frac{h}{t_w} = \frac{734}{17.5} = 41.94 \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89 \checkmark$$

olduğundan, kompozit enkesitte plastik gerilme dağılımı yöntemi ile akma sınır durumu için karakteristik eğime momenti dayanımı belirlenecektir.

Yönetmelik 12.4.2.3 (f) uyarınca, çelik sac hadveleri çelik kirişin boyuna eksenine paralel yerleştirildiğinden, çelik sacın üst kotunun altında kalan betonun katkısı tasarımda hesaba katılabilir. Bu durumda, çelik sac geometrisi güvenli tarafta kalınarak gözönüne alınarak,

$$A_c = (2500 \times 100) + (0.5 \times 2500 \times 50) = 312500 \text{mm}^2$$

Kompozit kirişin tasarımında gözönüne alınacak basınç kuvveti,

$$C_s = F_y A_s = 355(33420)10^{-3} = 11864.10 \text{kN} \quad (12.20a)$$

$$C_c = 0.85 f_{ck} A_c = 0.85(30)(312500)10^{-3} = 7968.65 \text{kN} \quad (12.20b)$$

Tam etkileşimli kompozit kiriş varsayımı ile basınç kuvveti,

$$C = (C_s; C_c)_{\min} = 7968.65 \text{kN}$$

$C_s > C_c$  olduğundan, plastik tarafsız eksen çelik enkesitten geçmektedir.

Bu durumda, basınç etkisindeki çelik alanı,

$$C_c + F_y A_{sc} = P_{yt} - F_y A_{sc}$$

$$A_{sc} = \frac{P_{yt} - C_c}{2F_y} = \frac{11864.10 - 7968.75}{2(355)10^{-3}} = 5486.41 \text{mm}^2$$

olduğundan, plastik tarafsız eksenin çelik enkesitin başlığının üstünden uzaklığı (veya basınçta kalan başlık kalınlığı)

$$t'_f = \frac{A_{sc}}{b_f} = \frac{5486.41}{300} = 18.29 \text{mm} < t_f = 33 \text{mm}$$

Çekme kuvveti çelik enkesitte plastik tarafsız eksenin altındaki alanın ağırlık merkezinde etmektedir ve yeri belirlenmelidir.



	A [mm <sup>2</sup> ]	y [mm]	Ay [mm <sup>3</sup> ]
HE 800 B	33420	800/2 = 400	13368000
$b_f t'_f$	$300(-18.29) = -5487$	$18.29/2 = 9.145$	-50178.62
Toplam	27933		13317821.39

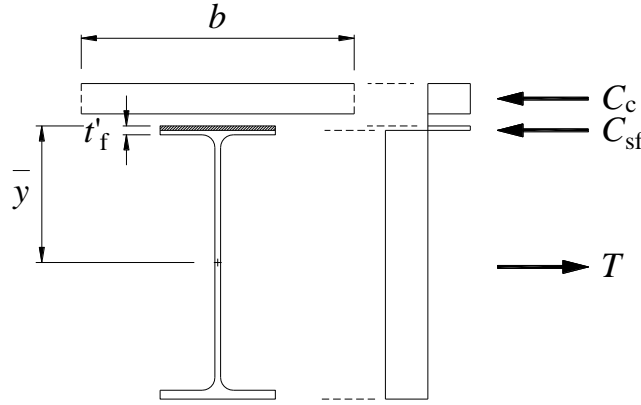
$$\bar{y} = \frac{\sum Ay}{\sum A} = \frac{13317821.39}{27933} = 476.78 \text{ mm}$$

Betonda basınç bloğunun derinliği,

$$a = \frac{C}{0.85 f_{ck} b} = \frac{7968.75(10)^3}{0.85(30)2500} = 125 \text{ mm}$$

Çelik enkesitin başlık bölümündeki basınç kuvveti,

$$C_{sf} = b_f t'_f F_y = 300(18.29)355(10)^{-3} = 1947.89 \text{ kNm}$$



Şekil 12.7.1 Plastik tarafsız eksen ve iç kuvvetler

Tam etkileşimli kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımı,

$$M_n = C_c \left( \bar{y} + h_c - \frac{a}{2} \right) + C_{sf} \left( \bar{y} - \frac{t'_f}{2} \right)$$

$$M_n = 7968.75 \left( 476.78 + 150 - \frac{125}{2} \right) 10^{-3} + 1947.89 \left( 476.78 - \frac{18.29}{2} \right) 10^{-3} = 5407 \text{ kNm}$$

veya kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımı, *Yönetmelik* Denk.(12.18) uygulanarak belirlenebilir.

$$M_n = C(d_1 + d_2) + P_{yt}(d_3 - d_2) \quad (12.18)$$

$$M_n = 7968.75 \left[ \left( 150 - \frac{125}{2} \right) + \left( \frac{18.29}{2} \right) \right] 10^{-3} + 11864.10 \left[ \left( \frac{800}{2} \right) - \left( \frac{18.29}{2} \right) \right] 10^{-3}$$

$$M_n = 5407 \text{ kNm}$$

*Yönetmelik 12.4.2 uyarınca,*

YDKT	GKT
<b>b.</b> Kompozit kirişin tasarım eğilme momenti dayanımı	<b>c.</b> Kompozit kirişin güvenli eğilme momenti dayanımı
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(5407) = 4866.30 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 5407 / 1.67 = 3237.72 \text{ kNm}$

## Örnek 12.8

Basit mesnetli kompozit kirişe ait sistem, yük bilgileri ve enkesit detayı aşağıdaki şekilde verilmektedir.

Betonarme döşeme, çelik kirişe mesnetlenen trapez enkesitli olarak şekil verilmiş çelik sac üzerine uygulanmıştır. Çelik sac hadveleri çelik kiriş boyuna eksenine paralel konumda yerleştirilmiştir.

### Sabit ve hareketli yükler

Yapım aşaması

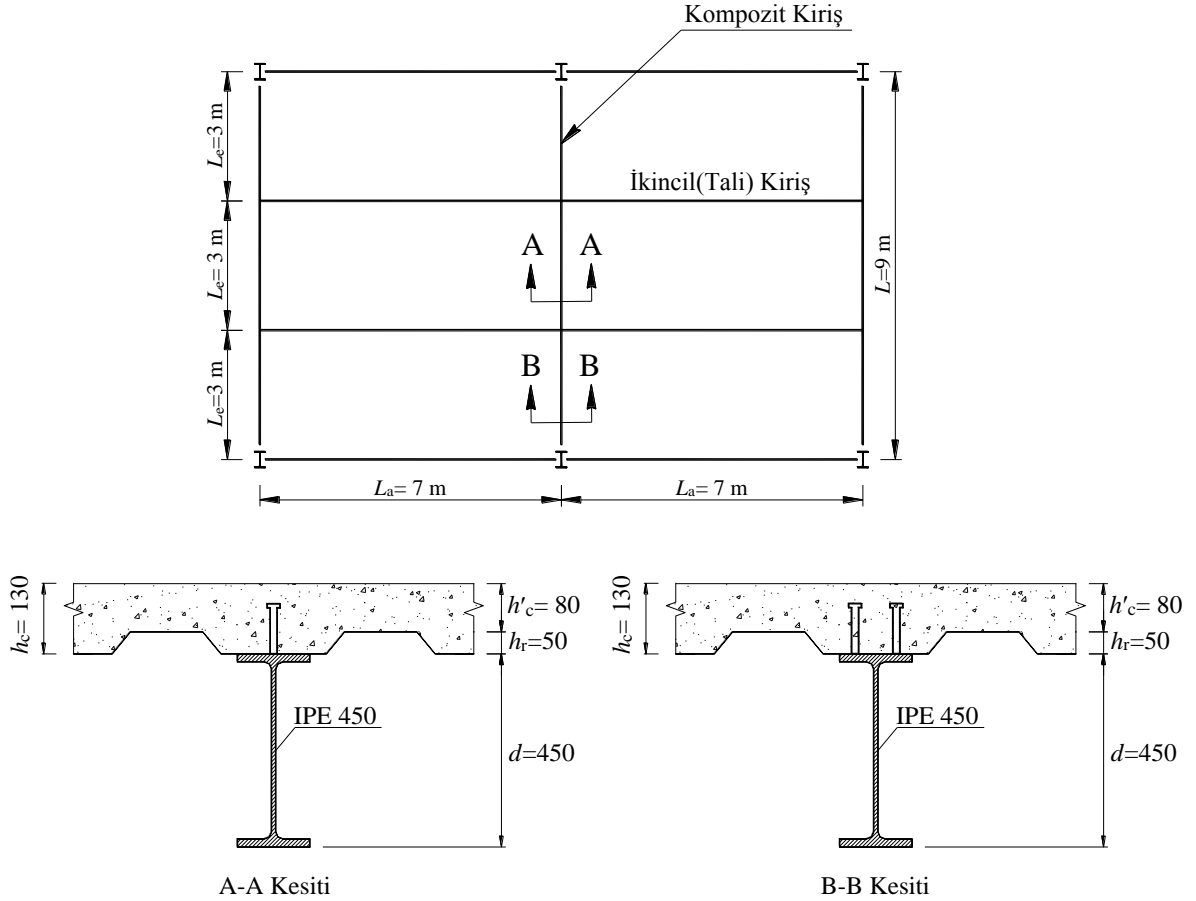
Sabit yükler (Çelik sac + beton) : 2.5 kN/m<sup>2</sup>

Hareketli yükler (beton dökümü sırasındaki) : 1.0 kN/m<sup>2</sup>

Kompozit çalışma aşaması

Sabit yükler (sıva + kaplama) : 2.0kN/m<sup>2</sup>

Hareketli yükler : 5.0kN/m<sup>2</sup>



- Kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Kompozit kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Kompozit kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü(GKT)
- Başlıklı çelik ankraj sayısının belirlenmesi
- Kompozit kirişte düşey yerdeğiştirme (sehim) kontrolü

f. Kompozit kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

g. Kompozit kirişin tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)

h. Kompozit kirişin güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü(GKT)

### Beton sınıfı

$$C 30 \quad f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

### Çelik sınıfı

$$S 355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

### Çelik enkesit

IPE 450

$$A = 9880 \text{ mm}^2 \quad d = 450 \text{ mm} \quad h = 378.8 \text{ mm}$$

$$b_f = 190 \text{ mm} \quad t_f = 14.6 \text{ mm} \quad t_w = 9.4 \text{ mm} \quad I_x = 33740 \text{ cm}^4$$

### Çelik ankrajlar

$$19/100 \quad F_u = 450 \text{ N/mm}^2$$

### Çelik döşeme sacı

$$h_r = 50 \text{ mm} \quad w_r = 165 \text{ mm} \quad t_{sac} = 1.2 \text{ mm}$$

### Çözüm

#### Kompozit kiriş Yönetmelik koşullarının kontrolü

Yönetmelik 12.2.3 (a) uyarınca,

$$20 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2 \leq 70 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Yönetmelik 12.2.3 (c) uyarınca,

$$F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \leq 460 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

#### Şekil verilmiş çelik döşeme sacı ve başlıklı çelik ankraj Yönetmelik koşullarının kontrolü

Yönetmelik 12.4.2.3 uyarınca,

$$(a) \quad h_r = 50 \text{ mm} \leq 75 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$w_r = 165 \text{ mm} \geq 50 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$(b) \quad h_{sa} - t_{sac} - h_r = 100 - 1.2 - 50 = 48.8 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$h_c - t_{sac} - h_{sa} = 130 - 1.2 - 100 = 28.8 \text{ mm} \geq 12 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$(c) \quad h_c - h_r = 130 - 50 = 80 \text{ mm} \geq 50 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Yönetmelik 12.8.1 uyarınca,

$$d_{sa} = 19 \text{ mm} \leq 19 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Ayrıca, profilin başlığına gövde hizası üzerinden kaynaklanmadığından,

$$d_{sa} = 19 \text{ mm} \leq 2.5t_f = 2.5 \times 14.6 = 36.5 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Yönetmelik 12.8.2 uyarınca,

$$h_{sa} = 100 \text{ mm} \geq 4d_{sa} = 4 \times 19 = 76 \text{ mm} \quad \checkmark$$

## Yapım aşaması

### Yapım aşamasında düşey yerdeğiştirme (sehim) kontrolü

Sabit yükler

Çelik sac +beton : 2.5 kN/m<sup>2</sup>

Hareketli yükler (beton dökümü aşamasındaki yükler) : 1.0 kN/m<sup>2</sup>

Sabit yükler altında ikincil kirişlerin mesnet tepkisi, kiriş ağırlığı,  $w_g=0.5$  kN/m alınarak,

$$P_G = (2.5 \times 3 + 0.5) \frac{7}{2} = 28 \text{ kN}$$

olmak üzere, çelik kiriş ağırlığı  $w_g=1.0$  kN/m alınarak, IPE 450 enkesitli çelik kirişte sabit yüklerden düşey yerdeğiştirme,

$$\Delta_1 = \frac{P_G L^3}{28EI} + \frac{5w_g L^4}{384EI}$$

$$\Delta_1 = \frac{2(28)(9000)^3 (10)^3}{28(200000)33740(10)^4} + \frac{5(1)(9000)^4}{384(200000)33740(10)^4}$$

$$\Delta_1 = 21.61 + 1.266 = 22.87 \text{ mm} = L/394 \leq L/360 \checkmark$$

Yapım aşamasında IPE 450 enkesitli çelik kirişte sabit yükler altında düşey yerdeğiştirmenin L/360 veya 25mm sınırını aşmaması önerilmektedir.

Bu koşulun sağlanmadığı durumda çelik kirişe ters sehim verilmesi veya yapım aşamasında geçici destek kullanımı ile çelik kirişin düşey yerdeğiştirmesi azaltılabilir. (Bkz. *Kaynak Yayınlar*, AISC Design Guide 3).

Yapım aşamasında hareketli yük etkisi için ikincil kirişlerin mesnet tepkisi,

$$P_Q = (1.0 \times 3) \frac{7}{2} = 10.5 \text{ kN}$$

olmak üzere, yapım aşamasında IPE 450 enkesitli çelik kirişte hareketli yüklerden düşey yerdeğiştirme,

$$\Delta_2 = \frac{P_Q L^3}{28EI} = \frac{2(10.5)(9000)^3 (10)^3}{28(200000)33740(10)^4} = 8.10 \text{ mm}$$

Yapım aşamasında, çelik kirişte toplam düşey yerdeğiştirme,

$$\Delta_{\text{yapım}} = \Delta_1 + \Delta_2 = 22.87 + 8.10 = 30.97 \text{ mm} = L/290 \leq L/300 \checkmark$$

Ayrıca, beton gerekli dayanımına ulaşmaya kadar, çelik enkesitin yapım aşamasındaki sabit ve hareketli yükler altındaki eğilme dayanımı, *Yönetmelik* Bölüm 9 da verilen kurallar gözönüne alınarak kontrol edilmelidir.

a. Kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 12.4.2.1 (a) uyarınca,

$$\frac{h}{t_w} = \frac{378.8}{9.4} = 40.3 \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89 \checkmark$$

olduğundan, kompozit enkesitte plastik gerilme dağılımı yöntemi ile akma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı belirlenecektir.

Kompozit kirişte döşeme etkin genişliği

Yönetmelik 12.4.1.1(a) ve (b) uyarınca,

$$\left. \begin{array}{l} b'_1 \leq \frac{L}{8} = \frac{9}{8} = 1.125 \text{ m} \\ b'_2 \leq \frac{L_a}{2} = \frac{7}{2} = 3.50 \text{ m} \end{array} \right\}_{\min} = 1.125 \text{ m}$$
$$b = 2 \times 1.125 = 2.25 \text{ m}$$

Yönetmelik 12.4.2.3(f) uyarınca, çelik sac hadveleri çelik kirişin boyuna eksenine paralel yerleştirildiğinden, çelik sacın üst kotunun altında kalan betonun katkısı tasarımda hesaba katılabilir. Bu durumda, çelik sac geometrisi güvenli tarafta kalınarak gözönüne alınarak,

$$A_c = (2250 \times 80) + (0.5 \times 2250 \times 50) = 236250 \text{ mm}^2$$

Kompozit döşemenin tasarımında gözönüne alınacak basınç kuvveti,

$$C_s = P_{yt} = F_y A_s = 355(9880)10^{-3} = 3507 \text{ kN} \quad (12.20a)$$

$$C_c = 0.85 f_{ck} A_c = 0.85(30)(236250)10^{-3} = 6024 \text{ kN} \quad (12.20b)$$

$$(C_s; C_c)_{\min} = 3507 \text{ kN}$$

$C_s < C_c$  olduğundan, plastik tarafsız eksen betonarme döşeme içindedir.

Bu durumda, beton basınç bloğunun derinliği,

$$a = \frac{C}{0.85 f_{ck} b} = \frac{3507(10)^3}{0.85(30)2250} = 61 \text{ mm} \quad (12.19)$$

Kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımı,

$$M_n = C_c \left( h_c - \frac{a}{2} \right) + P_{yt} \left( \frac{d}{2} \right) \quad (12.18)$$

$$M_n = 3507 \left( 130 - \frac{61}{2} \right) 10^{-3} + 3507 \left( \frac{450}{2} \right) 10^{-3} = 1138 \text{ kNm}$$

veya

$$y = \frac{d}{2} + h_c - \frac{a}{2} = \frac{450}{2} + 130 - \frac{61}{2} = 324.50 \text{ mm}$$

$$M_n = Cy$$

$$M_n = 3507(324.5)10^{-3} = 1138 \text{ kNm}$$

Yönetmelik 12.4.2 uyarınca,

YDKT	GKT
İkincil kirişlerin mesnet tepkisi	
$w_u = 1.2(2.5+2)3 + 1.2(0.5) + 1.6(5)3$ $w_u = 40.8 \text{ kN/m}$ $P_u = \frac{w_u L_a}{2} = \frac{40.8(7)}{2} = 142.8 \text{ kN}$	$w_a = (2.5+2)3 + 0.5 + (5)3$ $w_a = 29.0 \text{ kN/m}$ $P_a = \frac{w_a L_a}{2} = \frac{29(7)}{2} = 101.50 \text{ kN}$
Kompozit kirişte gerekli eğilme momenti dayanımı	
$M_u = \sum P_u L_c + \frac{(1.2 \times w_g) L^2}{8}$ $= 2 \times 142.8(3) + \frac{(1.2 \times 1.0) 9^2}{8} = 869 \text{ kNm}$	$M_a = \sum P_a L_c + \frac{w_g L^2}{8}$ $= 2 \times 101.50(3) + \frac{(1.0) 9^2}{8} = 619 \text{ kNm}$
<b>b.</b> Kompozit kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kompozit kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(1138) = 1024 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 1138 / 1.67 = 681 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{869}{1024} = 0.85 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{619}{681} = 0.91 \leq 1.0 \checkmark$

**d.** Başlıklı çelik ankrajların sayısı ve yerleşimi

Beton elastisite modülü, Yönetmelik 12.2.1 uyarınca,

$$E_c = 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} = 0.043(2400)^{1.5} \sqrt{30} = 27690 \text{ N/mm}^2 \quad (12.1)$$

Yönetmelik 12.4.2 uyarınca,

$$A_{sa} = \frac{\pi d_{sa}^2}{4} = \frac{\pi (19)^2}{4} = 284 \text{ mm}^2$$

Yönetmelik Tablo 12.6 uyarınca, hadveleri çelik kiriş boyuna eksenine paralel olarak yerleştirildiği çelik döşeme sacı üzerinden çelik ankrajların kaynaklanması durumunda,

$$\frac{w_r}{h_r} = \frac{165}{50} = 3.3 \geq 1.5 \text{ olduğundan,}$$

$$R_g = 1.0$$

$$R_p = 0.75$$

$$Q_n = 0.5A_{sa}\sqrt{f_{ck}E_c} \leq R_gR_pA_{sa}F_u \quad (12.35)$$

$$Q_n = 0.5(284)\sqrt{30(27690)} = 194422 \text{ N} \leq 1.0(0.75)284(450) = 95850 \text{ N} \times$$

$$Q_n = 95850 \text{ N}$$

Tam etkileşimli kompozit kiriş varsayımı ile, karakteristik eğilme momenti dayanımını belirleyen basınç kuvveti,

$$C = (C_s; C_c)_{\min} = 3507 \text{ kN}$$

*Yönetmelik* 12.4.2.4(a) uyarınca, çelik ankrajlar ile aktarılabacak kesme kuvveti,  $V'$ ,

$$V' = 3507 \text{ kN}$$

*Yönetmelik* 12.8.2.3 uyarınca, tekil yük ile eğilme momentinin sıfır olduğu en yakın nokta (mesnet) arasında kullanılacak çelik ankraj sayısı,

$$N_{\text{ankraj}} = \frac{V'}{Q_n} = \frac{3507}{95.85} = 37 \text{ adet}$$

olur. Bu durumda, kiriş başlığında yanyana 2 adet çelik ankraj elemanı  $e = 125 \text{ mm}$  aralık ile kullanıldığında, ankrajlar,  $(2 \times 20 = 40 \text{ adet} \geq 37 \text{ adet} \checkmark)$  olmak üzere Şekil 12.8.1 de görüldüğü gibi yerleştirilmektedir.

Kompozit kirişin iki tali kiriş arasında kalan bölümünde eğilme momenti değeri, sadece kompozit kirişin kendi ağırlığı ile değiştiğinden iki tali kiriş arasındaki eğilme momenti yayılımı yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Bu durumda, başlıklı çelik ankrajların, eğilme momentinin sıfır olduğu nokta ile en büyük olduğu nokta arasında yerleştirilmesi yeterli olacaktır. Kirişin orta  $L/3$  uzunluğu boyunca da tek sıra başlıklı çelik ankraj, merkezleri arasındaki maksimum uzaklık koşulu sağlanacak şekilde eşit aralıklı olarak yerleştirilmiştir. Böylece,  $(2 \times 20 + 3 + 2 \times 20)$  olmak üzere, toplam 83 adet çelik ankraj kullanılacaktır (Şekil 12.8.1).

Kesme kuvveti doğrultusu boyunca, çelik ankrajın merkezi ile serbest kenar arasındaki minimum uzaklık 200mm koşuluna uygun yerleştirilmiştir, (*Yönetmelik* 12.8.2.4(c)).

*Yönetmelik* 12.8.2.4(d) uyarınca, başlıklı çelik ankrajların, kiriş başlığındaki ve kiriş boyuna eksenini doğrultusundaki merkezleri arasındaki minimum uzaklık çapının 4 katı olmalıdır.

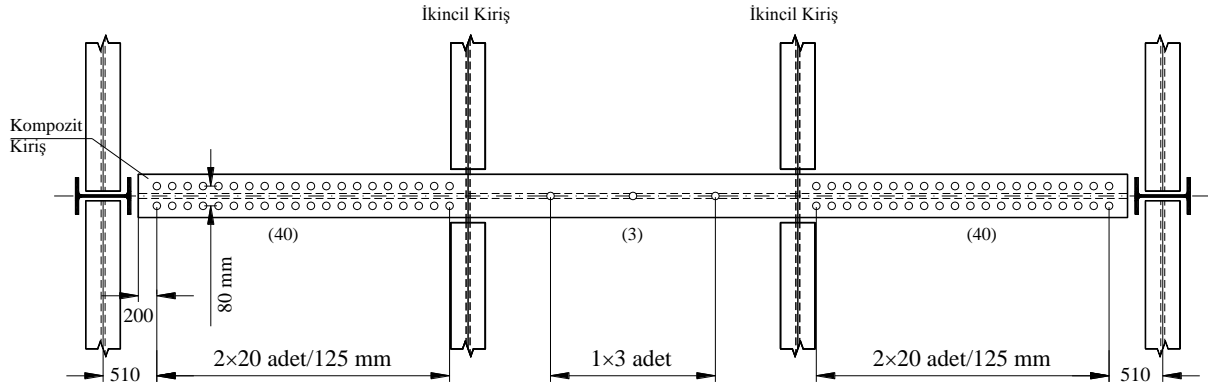
$$80 \text{ mm} \geq 4d_{sa} = 4 \times 19 = 76 \text{ mm} \checkmark$$

$$125 \text{ mm} \geq 4d_{sa} = 4 \times 19 = 76 \text{ mm} \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.8.2.4(e) uyarınca, başlıklı çelik ankrajların, merkezleri arasındaki maksimum uzaklık döşeme kalınlığının 8 katını veya 900mm aşmamalıdır.

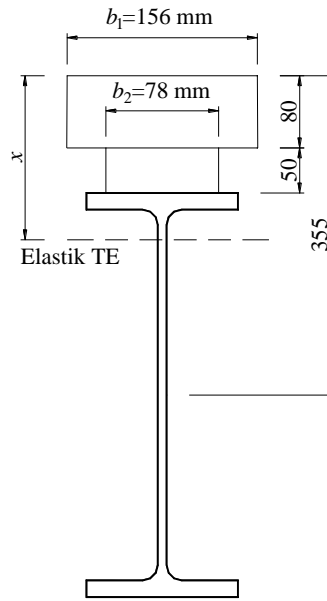
$$125 \text{ mm} \leq (8h_c = 8 \times 130 = 1040 \text{ mm veya } 900 \text{ mm}) \checkmark$$





Şekil 12.8.1 Başlıklı çelik ankraj yerleşimi

e. Kompozit kirişte düşey yerdeğiştirme (sehim) kontrolü



Şekil 12.8.2 – Dönüştürülmüş enkesit modeli

Kompozit kirişin sehim, dönüştürülmüş atalet momenti kullanılarak belirlenebilir. Betonun zamana bağlı deformasyonunun gözönüne alınması amacıyla, *Yönetmelik* 12.4.1.3 uyarınca, beton döşeme genişliği,  $2n$  oranında azaltılarak sehim kontrolleri yapılmıştır. Çelik sacın üst kotunun altında kalan betonun katkısı da gözönüne alınmıştır.

Eşdeğer çelik enkesit için genişlik,

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{27690} = 7.22$$

$$b_1 = \frac{b}{2n} = \frac{2250}{2(7.22)} = 156\text{mm}$$

$$b_2 = \frac{0.5(2250)}{2(7.22)} = 78\text{mm}$$

Elastik tarafsız eksenin çelik enkesitte olduğu varsayımı ile,

$$9880(355-x) = (156 \times 80)(x-80/2) + (78 \times 50)(x-80-50/2) = 0$$

$$x = 168 \text{ mm} > h_c = 130 \text{ mm} \checkmark$$

$$I_{tr} = 33740(10)^4 + 9880(355-186)^2 + \frac{156 \times 80^3}{12} + (156 \times 80)(186-80/2) + \dots \\ \dots + \frac{78 \times 50^3}{12} + (78 \times 50)(186-80-50/2)^2 = 91866(10)^4 \text{ mm}^4$$

*Yönetmelik* 12.4.1.3 uyarınca,

$$I = 0.75I_{tr} = 68900(10)^4 \text{ mm}^4 \quad (12.17a)$$

Hareketli yük etkisinde kompozit kirişin düşey yerdeğiştirmesi, ikincil kirişlerin mesnet tepkileri

$$P_Q = (5 \times 3) \frac{7}{2} = 52.5 \text{ kN}$$

olduğundan,

$$\Delta_3 = \frac{P_Q L^3}{28EI} = \frac{2(52.5)(9000)^3 (10)^3}{28(200000)68900(10)^4} = 19.84 \text{ mm} = L/454 \leq L/360 \checkmark$$

Sabit yükler (sıva+kaplama) etkisinde kompozit kirişin düşey yerdeğiştirmesi, ikincil kirişlerin mesnet tepkileri

$$P_G = (2 \times 3) \frac{7}{2} = 21 \text{ kN}$$

olduğundan,

$$\Delta_4 = \frac{P_G L^3}{28EI} = \frac{2(21)(9000)^3 (10)^3}{28(200000)68900(10)^4} = 7.94 \text{ mm}$$

toplam yükler altında kompozit kirişin düşey yerdeğiştirmesi,

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_3 + \Delta_4 = 22.23 + 19.84 + 7.94 = 50 \text{ mm} = L/180 > L/300 \star$$

Bu durumda, kompozit kiriş düşey yerdeğiştirmesi tavsiye edilen sınır değeri aştığından, bu örnekte kiriş kesitinin değıştirilmesi yerine yapım aşamasında çelik enkesite ters sehim verilerek düşey yerdeğiştirmenin sınır değerin altına inmesi sağlanabilir (Bkz. *Kaynak Yayınlar*, AISC Design Guide 3). Örneğın, 25mm civarında ters sehim ile kompozit kirişin toplam yükler altında düşey yerdeğiştirmesinin,  $L/300$  sınır değerin altında kalması sağlanır.

**f.** Kompozit kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik* 12.5.2 uyarınca, betonarme döşemenin çelik kirişe mesnetlenen şekil verilmiş çelik sac üzerinden uygulandığı çelik ankrajlı kompozit kirişlerde, sadece çelik enkesit

gözönüne alınarak, *Yönetmelik* Bölüm 10 da verilen koşullar gözönüne alınır. Bu durumda, IPE 450 enkesitli kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımı, *Yönetmelik* 10.2.1(a) uyarınca,

$$h/t_w = 378.8/9.4 = 40.29 \leq 2.24\sqrt{E/F_y} = 2.24\sqrt{200000/355} = 53.17 \text{ olduğundan,}$$

$\phi_v = 1.00$  (YDKT) veya  $\Omega_v = 1.50$  (GKT) ve  $C_{v1} = 1.0$  olarak alınacaktır.

Kompozit kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ , *Yönetmelik* 10.2 uyarınca,

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (10.1)$$

$$V_n = 0.6(355)(450 \times 9.4)1.0(10)^{-3} = 901 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
İkincil kirişlerin mesnet tepkisi	
$w_u = 1.2(2.5 + 2)3 + 1.2(0.5) + 1.6(5)3$ $= 40.8 \text{ kN/m}$ $P_u = \frac{w_u L_a}{2} = \frac{40.8(7)}{2} = 142.8 \text{ kN}$	$w_a = (2.5 + 2)3 + (0.5) + (5)3$ $= 29 \text{ kN/m}$ $P_a = \frac{w_a L_a}{2} = \frac{29(7)}{2} = 101.50 \text{ kN}$
Kompozit kirişte gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$V_u = \sum P_u + \frac{(1.2 \times w_g)L}{2}$ $= 2 \times 142.8 + \frac{(1.2 \times 1.0)9}{2} = 291 \text{ kN}$	$V_a = \sum P_a + \frac{(w_g)L}{2}$ $= 2 \times 101.50 + \frac{(1.0)9}{2} = 207.50 \text{ kN}$
<b>g.</b> Kompozit kirişin tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>h.</b> Kompozit kirişin güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 1.0(901) = 901 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 901 / 1.50 = 601 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{291}{901} = 0.33 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{207.50}{601} = 0.35 \leq 1.0 \checkmark$

## Örnek 12.9

Basit mesnetli kompozit kirişe ait sistem, yük bilgileri ve enkesit detayı aşağıdaki şekilde verilmektedir.

Betonarme döşeme, çelik kirişe mesnetlenen trapez enkesitli olarak şekil verilmiş çelik sac üzerine uygulanmıştır. Çelik sac hadveleri çelik kiriş boyuna eksenine dik konumda yerleştirilmiştir.

### Sabit ve hareketli yükler

Yapım aşaması

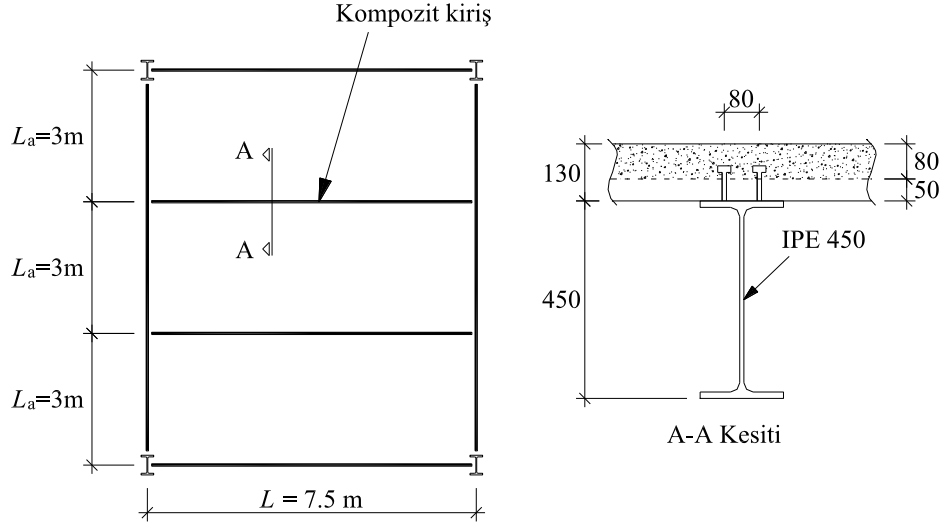
Sabit yükler (Çelik sac +beton) : 2.5 kN/m<sup>2</sup>

Hareketli yükler (beton dökümü sırasındaki) : 1.0 kN/m<sup>2</sup>

Kompozit çalışma aşaması

Sabit yükler (sıva+kaplama) : 2.0 kN/m<sup>2</sup>

Hareketli yükler : 5.0 kN/m<sup>2</sup>



- Kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Kompozit kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Kompozit kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)
- Başlıklı çelik ankraj sayısının belirlenmesi
- Kompozit kirişte düşey yerdeğiştirme (sehim) kontrolü
- Kompozit kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi
- Kompozit kirişin tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Kompozit kirişin güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü (GKT)

### **Beton sınıfı**

C 30  $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

### **Çelik sınıfı**

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

## Çelik enkesit

IPE 450

$$A = 9880 \text{ mm}^2 \quad d = 450 \text{ mm} \quad h = 378.8 \text{ mm}$$

$$b_f = 190 \text{ mm} \quad t_f = 14.6 \text{ mm} \quad t_w = 9.4 \text{ mm} \quad I_x = 33740 \text{ cm}^4$$

## Çelik ankrajlar

$$19/100 \quad F_u = 450 \text{ N/mm}^2$$

## Çelik döşeme sacı

$$h_r = 50 \text{ mm} \quad w_r = 165 \text{ mm} \quad t_{\text{sac}} = 1.2 \text{ mm}$$

## Çözüm

### Kompozit kiriş *Yönetmelik* koşullarının kontrolü

*Yönetmelik* 12.2.3 (a) uyarınca,

$$20 \text{ N/mm}^2 \leq f_{\text{ck}} = 30 \text{ N/mm}^2 \leq 70 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.2.3 (c) uyarınca,

$$F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \leq 460 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

### Şekil verilmiş çelik döşeme sacı ve başlıklı çelik ankraj *Yönetmelik* koşullarının kontrolü

*Yönetmelik* 12.4.2.3 uyarınca,

$$(d) \quad h_r = 50 \text{ mm} \leq 75 \text{ mm} \checkmark$$

$$w_r = 165 \text{ mm} \geq 50 \text{ mm} \checkmark$$

$$(e) \quad h_{\text{sa}} - t_{\text{sac}} - h_r = 100 - 1.2 - 50 = 48.8 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \checkmark$$

$$h_c - t_{\text{sac}} - h_{\text{sa}} = 130 - 1.2 - 100 = 28.8 \text{ mm} \geq 12 \text{ mm} \checkmark$$

$$(f) \quad h_c - h_r = 130 - 50 = 80 \text{ mm} \geq 50 \text{ mm} \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.8.1 uyarınca,

$$d_{\text{sa}} = 19 \text{ mm} \leq 19 \text{ mm} \checkmark$$

*Yönetmelik* 12.8.2 uyarınca,

$$h_{\text{sa}} = 100 \text{ mm} \geq 4d_{\text{sa}} = 4 \times 19 = 76 \text{ mm} \checkmark$$

## Yapım aşaması

### Yapım aşamasında düşey yerdeğiştirme (sehim) kontrolü

Sabit yükler

$$\text{Çelik sac + beton} \quad : 2.5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Hareketli yükler (beton dökümü aşamasındaki yükler)} \quad : 1.0 \text{ kN/m}^2$$

Kiriş ağırlığı,  $w_g = 1.0 \text{ kN/m}$  alınarak,

$$w_G = (2.5 \times 3 + 1.0) = 8.5 \text{ kN/m}$$

olmak üzere, IPE 450 enkesitli çelik kirişte sabit yükler altında düşey yerdeğiştirme,

$$\Delta_1 = \frac{5w_G L^4}{384EI} = \frac{5(8.5)(7500)^4}{384(200000)33740(10)^4} = 5.19\text{mm}$$

$$\Delta_1 = L/1445 \leq L/360 \checkmark$$

Yapım aşamasında IPE 450 enkesitli çelik kirişte sabit yükler altında düşey yerdeğiştirmenin L/360 veya 25mm sınırını aşmaması önerilmektedir. Bu koşulun sağlanamadığı durumda çelik kirişe ters sehim verilmesi veya yapım aşamasında geçici destek kullanımı ile çelik kirişin düşey yerdeğiştirmesi azaltılabilir. (Bkz. AISC Design Guide 3).

Yapım aşamasında hareketli yük etkisi,

$$w_Q = (1.0 \times 3) = 3.0\text{kN/m}$$

olmak üzere, yapım aşamasında IPE 450 enkesitli çelik kirişte hareketli yüklerden düşey yerdeğiştirme,

$$\Delta_2 = \frac{5w_Q L^4}{384EI} = \frac{5(3.0)(7500)^4}{384(200000)33740(10)^4} = 1.83\text{mm}$$

Yapım aşamasında, beton yeterli dayanıma ulaşmadan önce, çelik kirişte toplam düşey yerdeğiştirme,

$$\Delta_{\text{yapım}} = \Delta_1 + \Delta_2 = 5.19 + 1.83 = 7.02\text{mm} = L/1068$$

Ayrıca, beton gerekli dayanımına ulaşıncaya kadar, çelik enkesitin yapım aşamasındaki sabit ve hareketli yükler altındaki eğilme dayanımı, *Yönetmelik* Bölüm 9 da verilen kurallar gözönüne alınarak kontrol edilmelidir.

**a. Kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi**

*Yönetmelik* 12.4.2.1 (a) uyarınca,

$$\frac{h}{t_w} = \frac{378.8}{9.4} = 40.3 \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89 \checkmark$$

olduğundan, kompozit enkesitte plastik gerilme dağılımı yöntemi ile akma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı belirlenecektir.

Kompozit kirişte dökeme etkin genişliği

*Yönetmelik* 12.4.1.1(a) ve (b) uyarınca,

$$\left. \begin{array}{l} b'_1 \leq \frac{L}{8} = \frac{7.5}{8} = 0.9375\text{m} \\ b'_2 \leq \frac{L_a}{2} = \frac{3}{2} = 1.50\text{m} \end{array} \right\}_{\min} = 0.9375\text{m}$$

$$b = 2 \times 0.9375 = 1.875\text{m}$$

*Yönetmelik* 12.4.2.3(f) uyarınca, çelik sac hadveleri çelik kirişin boyuna eksenine dik yerleştirildiğinden, çelik sacın üst kotunun altında kalan betonun katkısı tasarımda ihmal edilecektir.

$$A_c = (1875 \times 80) = 150000\text{mm}^2$$

Kompozit kirişin tasarımında gözönüne alınacak basınç kuvveti,  $C$ ,

$$C_s = P_{yt} = F_y A_s = 355(9880)10^{-3} = 3507 \text{ kN} \quad (12.20a)$$

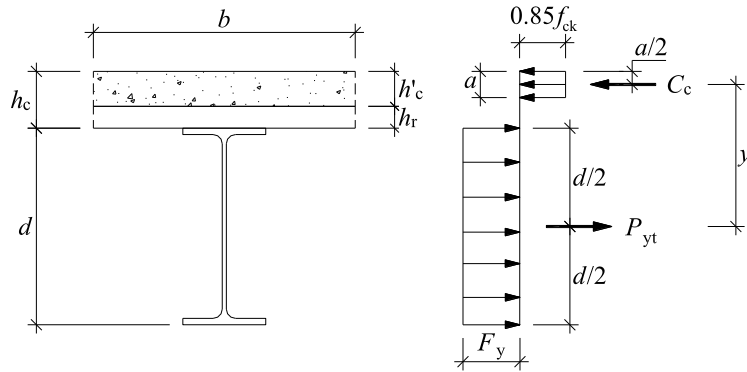
$$C_c = 0.85 f_{ck} A_c = 0.85(30)(150000)10^{-3} = 3825 \text{ kN} \quad (12.20b)$$

$$C = (C_s; C_c)_{\min} = 3507 \text{ kN}$$

$C_s < C_c$  olduğundan, plastik tarafsız eksen betonarme döşeme içindedir.

Bu durumda beton basınç bloğunun derinliği,

$$a = \frac{C}{0.85 f_{ck} b} = \frac{3507(10)^3}{0.85(30)1875} = 73.35 \text{ mm} \quad (12.19)$$



Şekil 12.9.1 Kompozit enkesitte plastik gerilme yayılımı

$$y = \frac{d}{2} + h_c - \frac{a}{2} = \frac{450}{2} + 130 - \frac{73.35}{2} = 318.33 \text{ mm}$$

$$M_n = C y = 3507(318.33)10^{-3} = 1116 \text{ kNm}$$

veya,

$$M_n = C_c \left( h_c - \frac{a}{2} \right) + P_{yt} \left( \frac{d}{2} \right) \quad (12.18)$$

$$= 3507 \left( 130 - \frac{73.35}{2} \right) 10^{-3} + 3507 \left( \frac{450}{2} \right) 10^{-3} = 1116 \text{ kNm}$$

## Kompozit kiriş yükleri

### Sabit yükler

Çelik sac +beton : 2.5 kN/m<sup>2</sup>

Sıva+kaplama : 2.0 kN/m<sup>2</sup>

Hareketli yükler : 4.0 kN/m<sup>2</sup>

Kiriş ağırlığı,  $w_g = 1.0$  kN/m alınarak,

$$w_G = (4.5 \times 3 + 1.0) = 14.5 \text{ kN/m}$$

$$w_Q = (4 \times 3) = 12 \text{ kN/m}$$

Kompozit kirişte gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2(14.5) + 1.6(12) = 36.6 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{(36.6)7.5^2}{8} = 257.14 \text{ kNm}$	$w_a = 14.5 + 12 = 26.5 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{(26.5)7.5^2}{8} = 186.33 \text{ kNm}$
<b>b. Kompozit kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Kompozit kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(1116) = 1005 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 1116 / 1.67 = 668.26 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{257.14}{1005} = 0.26 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{186.33}{668.26} = 0.28 \leq 1.0 \checkmark$

### d. Başlıklı çelik ankrajların sayısı ve yerleşimi

Beton elastisite modülü, *Yönetmelik* 12.2.1 uyarınca,

$$E_c = 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} = 0.043 (2400)^{1.5} \sqrt{30} = 27690 \text{ N/mm}^2 \quad (12.1)$$

*Yönetmelik* 12.4.2 uyarınca,

$$A_{sa} = \frac{\pi d_{sa}^2}{4} = \frac{\pi (19)^2}{4} = 284 \text{ mm}^2$$

*Yönetmelik* Tablo 12.6 uyarınca, hadveleri çelik kiriş boyuna eksenine dik olarak yerleştirildiği aynı hadve içinde iki adet çelik ankrajın kaynaklanması durumunda, *Yönetmelik* 12.8.2.1 uyarınca,

$e_{og} \geq 50 \text{ mm}$  olduğundan, (*Yönetmelik* Tablo 12.6),

$$R_g = 0.85$$

$$R_p = 0.75$$

$$Q_n = 0.5 A_{sa} \sqrt{f_{ck} E_c} \leq R_g R_p A_{sa} F_u \quad (12.35)$$



$$Q_n = 0.5(284)\sqrt{30(27690)} = 194422 \text{ N} \leq 0.85(0.75)284(450) = 81472.50 \text{ N} \times$$

$$Q_n = 81472.50 \text{ N}$$

Tam etkileşimli durumda, karakteristik eğilme momenti dayanımını belirleyen basınç kuvveti,

$$C = (C_s; C_c)_{\min} = 3507 \text{ kN}$$

olduğundan, *Yönetmelik* 12.4.2.4(a) uyarınca, çelik ankrajlar ile aktarılacak kesme kuvveti,  $V'$ ,

$$V' = C = 3507 \text{ kN}$$

alınarak, *Yönetmelik* 12.8.2.3 uyarınca, maksimum moment ile eğilme momentinin sıfır olduğu en yakın nokta (mesnet) arasında kullanılacak çelik ankraj sayısı,

$$N_{\text{ankraj}} = \frac{V'}{Q_n} = \frac{3507}{81.47} = 43 \text{ adet}$$

Bu durumda, kiriş başlığında toplam kullanılması gerekli ankraj ( $2 \times 43 = 86$ ) adet olur.

Kirişte eğilme gerekli momenti dayanımı önemli bir oranda aşıldığından, kısmi etkileşimli kompozit kiriş varsayımı ile çelik ankraj sayısı azaltılabilir. Çelik ankraj sayısının belirlenmesinde, kısmi etkileşimli dayanımın en az, tam etkileşimli dayanımın yarısına eşit olması önerilmektedir.

Kısmi etkileşim için, maksimum moment ile eğilme momentinin sıfır olduğu en yakın nokta (mesnet) arasında kullanılacak çelik ankraj sayısı,

$$N_{\text{ankraj}} = 25 \text{ adet olarak seçildiğinde,}$$

$$\sum Q_n = 25(81.47) = 2037 \text{ kN} \leq 3507 \text{ kN}$$

$$V' \geq 0.50(3507) = 1754 \text{ kN} \checkmark$$

$$C = V' = 2037 \text{ kN} \leq A_s F_y$$

Bu durumda, plastik tarafsız eksen çelik kiriş içinde olacaktır. Tarafsız eksenin başlıkta olduğu varsayımı ile, başlıkta tarafsız eksenin derinliği,

$$P_{yt} - C_s = (A_s F_y - b_f t'_f F_y) - b_f t'_f F_y = V'$$

$$[3507 - (190)t'_f(355)10^{-3}] - (190)t'_f(355)10^{-3} = 2037$$

$$t'_f = 10.90 \text{ mm} < t_f = 14.6 \text{ mm} \checkmark$$

Çekme kuvveti çelik enkesitte tarafsız eksenin altındaki alanın merkezinde etkimektedir ve yeri belirlenmelidir.

	A [mm <sup>2</sup> ]	y [mm]	Ay [mm <sup>3</sup> ]
IPE 450	9880	450 / 2 = 225	2223000
$b_f t'_f$	190(-10.90) = -2071	10.9 / 2 = 5.45	-11287
Toplam	7809		2211713

$$\bar{y} = \frac{\sum Ay}{\sum A} = \frac{2211713}{7809} = 283.23 \text{ mm}$$

Betonda basınç bloğunun derinliği,

$$a = \frac{C}{0.85 f_{ck} b} = \frac{2037(10)^3}{0.85(30)1875} = 42.6 \text{ mm}$$

Çelik enkesitin basınç etkisindeki başlık bölümünde basınç kuvveti dayanımı,

$$C_s = b_f t'_f F_y = 190(10.90)355(10)^{-3} = 735.21 \text{ kNm}$$

Kısmi etkileşimli kompozit kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımı,

$$M_n = C \left( \bar{y} + h_c - \frac{a}{2} \right) + C_s \left( \bar{y} - \frac{t'_f}{2} \right)$$

$$M_n = 2037 \left( 283.23 + 130 - \frac{42.6}{2} \right) 10^{-3} + 735.21 \left( 283.23 - \frac{10.90}{2} \right) 10^{-3} = 1003 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Kısmi etkileşimli kompozit kirişte gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2(14.5) + 1.6(12) = 36.6 \text{ kN/m}$	$w_a = 14.5 + 12 = 26.5 \text{ kN/m}$
$M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{(36.6)7.5^2}{8} = 257.14 \text{ kNm}$	$M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{(26.5)7.5^2}{8} = 186.33 \text{ kNm}$
<b>b.</b> Kısmi etkileşimli kompozit kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kısmi etkileşimli kompozit kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(1003) = 902.70 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 1003 / 1.67 = 600.60 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{257.14}{902.70} = 0.28 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{186.33}{600.60} = 0.31 \leq 1.0 \checkmark$

*Yönetmelik* 12.8.2.3 uyarınca, maksimum moment ile eğilme momentinin sıfır olduğu en yakın nokta (mesnet) arasında kullanılacak çelik ankraj sayısı, 25 adet olmak üzere, kiriş açıklığında 50 adet ankraj elemanı yeterlidir.

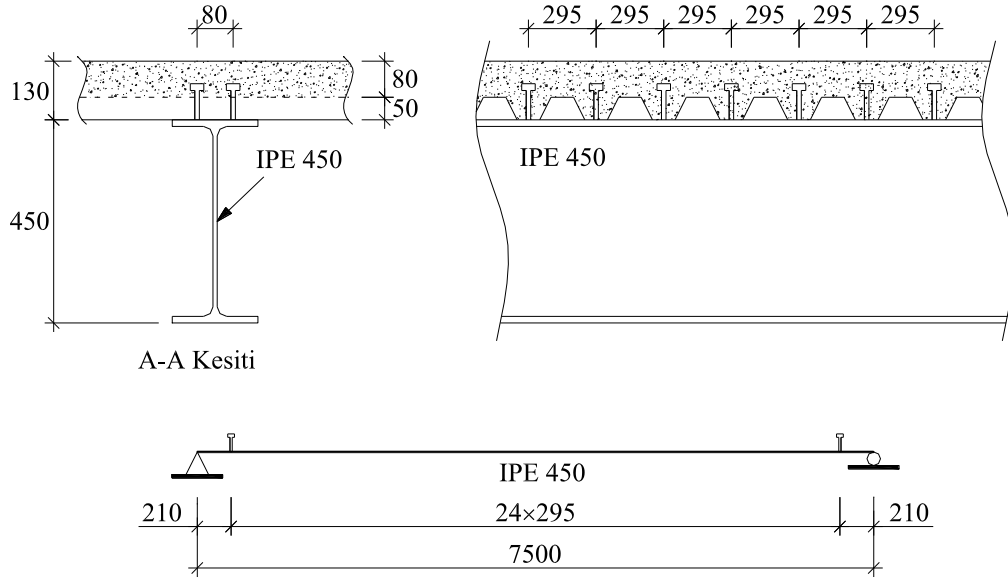
*Yönetmelik* 12.8.2.4(d) uyarınca, başlıklı çelik ankrajların, kiriş başlığındaki ve kiriş boyuna eksenini doğrultusundaki merkezleri arasındaki minimum uzaklık çapının 4 katı olmalıdır.

$$80 \text{ mm} \geq 4d_{sa} = 4 \times 19 = 76 \text{ mm} \checkmark$$

$$300\text{mm} \geq 4d_{sa} = 4 \times 19 = 76\text{mm} \quad \checkmark$$

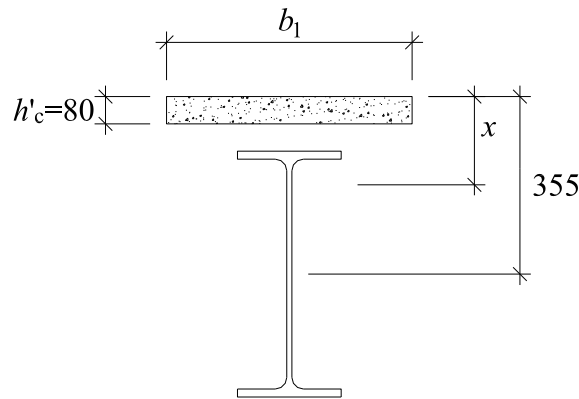
*Yönetmelik* 12.8.2.4(e) uyarınca, başlıklı çelik ankrajların, merkezleri arasındaki maksimum uzaklık döşeme kalınlığının 8 katını veya 900mm aşmamalıdır.

$$300\text{mm} \leq (8h_c = 8 \times 130 = 1040\text{mm} \text{ veya } 900\text{mm}) \quad \checkmark$$



**Şekil 12.9.2** – Başlıklı çelik ankraj yerleşimi

e. Kısmi etkileşimli kompozit kirişte düşey yerdeğiştirme (sehim) kontrolü



**Şekil 12.9.3** – Dönüştürülmüş eşdeğer çelik enkesit modeli

Kompozit kirişin sehim, dönüştürülmüş atalet momenti kullanılarak belirlenebilir. Betonun zamana bağlı deformasyonunun gözönüne alınması amacıyla, *Yönetmelik* 12.4.1.3 uyarınca, beton döşeme genişliği,  $2n$  oranında azaltılarak sehim kontrolleri yapılmıştır. Eşdeğer çelik enkesit için genişlik,

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{27690} = 7.22$$

$$b_1 = \frac{b}{2n} = \frac{1875}{2(7.22)} = 130\text{mm}$$

Elastik tarafsız eksenin çelik enkesitte olduğu varsayımı ile,

$$9880(355 - x) = (130 \times 80)(x - 80/2) = 0$$

$$x = 193\text{mm} > h_c = 130\text{mm} \checkmark$$

Çatlamamış beton gözönüne alınarak,  $2n$  oranı ile dönüştürülmüş tüm eşdeğer çelik kesitin atalet momenti,

$$I_{tr} = 33740(10)^4 + 9880(355 - 193)^2 + \frac{130 \times 80^3}{12} \dots$$

$$\dots + (130 \times 80)(193 - 80/2)^2 = 84569(10)^4 \text{ mm}^4$$

Yönetmelik 12.4.1.3 uyarınca, kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde enkesit atalet momenti,

$$I = 0.75 \left[ I_s + \sqrt{\frac{\Sigma Q_n}{\min(A_s F_y, 0.85 f_{ck} A_c)}} (I_{tr} - I_s) \right] \quad (12.17b)$$

$$I = 0.75 \left[ 33740 + \sqrt{\frac{2037}{\min(3507, 3825)}} (84569 - 33740) \right] 10^4 = 54354(10)^4 \text{ mm}^4$$

Hareketli yük etkisinde kompozit kirişin düşey yerdeğiştirmesi,

$$w_Q = (5 \times 3) = 15\text{kN/m}$$

$$\Delta_3 = \frac{5w_Q L^4}{384EI} = \frac{5(15)(7500)^4}{384(200000)54354(10)^4} = 25.99\text{mm}$$

$$= L/288$$

Sabit yükler (sıva+kaplama) etkisinde kompozit kirişin düşey yerdeğiştirmesi,

$$w_G = (2 \times 3) = 6\text{kN/m}$$

$$\Delta_4 = \frac{5w_G L^4}{384EI} = \frac{5(6)(7500)^4}{384(200000)54354(10)^4} = 2.39\text{mm}$$

Toplam yükler altında kompozit kirişin düşey yerdeğiştirmesi,

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_3 + \Delta_4 = 5.19 + 25.99 + 2.39 = 33.58\text{mm} = L/223 > L/300 \star$$

Bu durumda, kompozit kiriş düşey yerdeğiştirmesi tavsiye edilen sınır değeri aştığından, bu örnekte kiriş kesitinin değıştirilmesi yerine yapım aşamasında çelik enkesite ters sehim verilerek düşey yerdeğiştirmenin sınır değerin altına inmesi sağlanabilir (Bkz. AISC Design Guide 3). Örneğin, 25mm civarında ters sehim ile toplam yükler altında kompozit kirişin düşey yerdeğiştirmesi,  $L/300$  sınır değeri aşmayacaktır.

**f.** Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik* 12.5.2 uyarınca, betonarme döşemenin çelik kirişe mesnetlenen şekil verilmiş çelik sac üzerinden uygulandığı çelik ankrajlı kompozit kirişlerde, sadece çelik enkesit gözönüne alınarak, *Yönetmelik* Bölüm 10 da verilen koşullar gözönüne alınır. Bu durumda, IPE 450 enkesitli kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımı, *Yönetmelik* 10.2.1(a) uyarınca,

$$h/t_w = 378.8/9.4 = 40.29 \leq 2.24\sqrt{E/F_y} = 2.24\sqrt{200000/355} = 53.17 \text{ olduğundan,}$$

$$\phi_v = 1.00 \text{ (YDKT) veya } \Omega_v = 1.50 \text{ (GKT) ve } C_{v1} = 1.0 \text{ olarak alınacaktır.}$$

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ ,

*Yönetmelik* 10.2 uyarınca,

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (10.1)$$

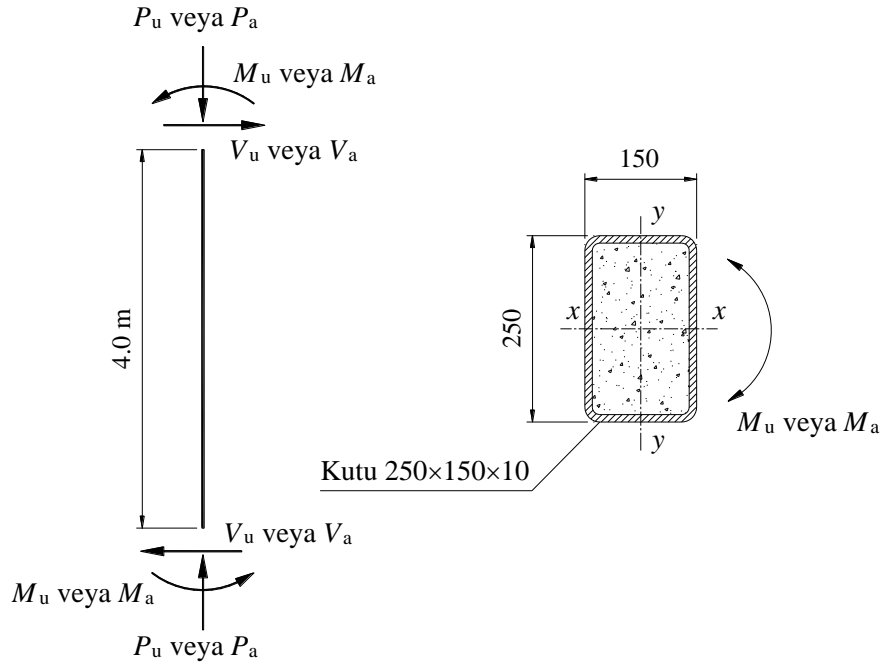
$$V_n = 0.6(355)(450 \times 9.4)1.0(10)^{-3} = 901 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Kompozit kirişte gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$w_u = 1.2(14.5) + 1.6(12) = 36.6 \text{ kN/m}$ $P_u = \frac{w_u L_a}{2} = \frac{36.6(7.5)}{2} = 137.25 \text{ kN}$	$w_a = 14.5 + 12 = 26.5 \text{ kN/m}$ $P_a = \frac{w_a L_a}{2} = \frac{26.5(7.5)}{2} = 99.38 \text{ kN}$
<b>g.</b> Kirişin tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>h.</b> Kirişin güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 1.0(901) = 901 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 901 / 1.50 = 601 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{137.25}{901} = 0.15 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{99.38}{601} = 0.17 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 12.10

Aşağıdaki şekilde enkesit detayı ve yükleme durumu verilen beton dogulu kompozit eleman, sabit ve hareketli yükleri içeren YDKT ve GKT yük birleşimleri altında doğrudan analiz yöntemi kullanılarak elde edilen iç kuvvetlerin etkisindedir.

- Eğilme ve eksenel kuvvetin bileşik etkisindeki elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT).
- Eğilme ve eksenel kuvvetin bileşik etkisindeki elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT).
- Elemanın tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)



#### Gerekli dayanımlar (iç kuvvetler)

YDKT	GKT
$P_u = 574 \text{ kN}$	$P_a = 437 \text{ kN}$
$M_u = 163 \text{ kNm}$	$M_a = 73 \text{ kNm}$
$V_u = 76 \text{ kN}$	$V_a = 46 \text{ kN}$

#### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1B)

#### Beton sınıfı

C35  $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$   $w_c = 2400 \text{ kg/m}^3$  (TS 500)

$$E_c = 0.043w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \quad (12.1)$$

$$E_c = 0.043(2400)^{1.5} \sqrt{35} \cong 29910 \text{ MPa}$$

## Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu eleman

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Kutu 250×150×10

$H = 250 \text{ mm}$	$B = 150 \text{ mm}$	$t = 0.93 \times 10 = 9.3 \text{ mm}$
$h = H - 3t = 222.1 \text{ mm}$	$b = B - 3t = 122.1 \text{ mm}$	$A_s = 6871 \text{ mm}^2$
$W_{px} = 557.3 \text{ cm}^3$	$I_{sx} = 5625.4 \text{ cm}^4$	$I_{sy} = 2537.0 \text{ cm}^4$
$r_i = t = 9.3 \text{ mm}$		

Kompozit enkesit tasarımı için gerekli bilgiler

$h_i = H - 2t = 231.4 \text{ mm}$	$b_i = B - 2t = 131.4 \text{ mm}$	$A_c = 30332 \text{ mm}^2$
$A_g = A_s + A_c = 37203 \text{ mm}^2$	$A_{sr} = 0.0 \text{ mm}^2$	$I_{cx} = 13471.8 \text{ cm}^4$
$I_{cy} = 4344.8 \text{ cm}^4$		

## Çözüm

Malzeme sınıflarına ait sınırların kontrolü,

Yönetmelik 12.2.3 uyarınca,

- (a) Beton sınıfı : C35  $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$   $20 \text{ MPa} \leq 35 \text{ MPa} \leq 70 \text{ MPa}$  ✓  
(b) Beton çeliği kullanılmamaktadır.  
(c) Çelik sınıfı : S355  $F_y = 355 \text{ MPa}$   $355 \text{ MPa} \leq 460 \text{ MPa}$  ✓

Yapısal çelik minimum enkesit alanı,

Yönetmelik 12.3.2.1 uyarınca,

$$A_s \geq 0.01A_g \quad 6871 \text{ mm}^2 \geq 0.01(37203) = 372.0 \text{ mm}^2 \quad \checkmark$$

Eksenel basınç etkisinde yerel burkulma kontrolü,

Yönetmelik 12.2.4 uyarınca ve Tablo 12.1A kullanılarak,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{222.1}{9.3} = 23.9 \leq \lambda_p = 2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.26 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.6$$

Eğilme momentinin basınç bileşeni etkisinde yerel burkulma kontrolü,

Yönetmelik 12.2.4 uyarınca ve Tablo 12.1B kullanılarak,

Başlık enkesit parçasında

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{122.1}{9.3} = 13.1 \leq \lambda_p = 2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.26 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.6$$

Gövde enkesit parçasında

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{222.1}{9.3} = 23.9 \leq \lambda_p = 3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.00 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 71.2$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 12.1A ve Tablo 12.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit *kompakt* olarak sınıflandırılır.

Kompozit enkesitin eksenel basınç kuvveti dayanımının ( $P_{no}$ ) belirlenmesi

*Yönetmelik 12.3.2.2(a)* uyarınca kompakt enkesitler için

$$P_{no} = P_p \quad (12.8)$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f_{ck} \left( A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (12.9)$$

$$C_2 = 0.85 \text{ (Kutu enkesit)} \quad A_{sr} = 0.0$$

$$P_p = (355)(6871)10^{-3} + 0.85(35)(30332)10^{-3} = 3341.58 \text{ kN}$$

$$P_{no} = 3341.58 \text{ kN}$$

Kompozit elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımının ( $P_n$ ) belirlenmesi

$$C_3 = 0.45 + 3 \left( \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.9$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left( \frac{6871 + 0.0}{37203} \right) \leq 0.9 \quad C_3 = 1.00 \leq 0.9 \times$$

$$C_3 = 0.90$$

$$(EI)_{ef} = E_s I_{sy} + E_{sr} I_{sr} + C_3 E_c I_{cy} \quad (12.15)$$

$$(EI)_{ef} = (200000)(2537 \times 10^4) + 0.90(29910)(4344.8 \times 10^4)$$

$$(EI)_{ef} = 6.2436 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$P_e = \pi^2 (EI)_{ef} / (L_c)^2$$

Doğrudan analiz yönteminin kullanılması nedeniyle, burkulma boyu katsayısı,  $K$  her iki doğrultu için de  $K = 1.0$  olarak alınacaktır. Kompozit enkesitli elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımının elde edilmesinde y-y eksenini (zayıf eksen) etrafında eğilmeli burkulma sınır durumu belirleyici olacaktır. Buna göre,

$$L_c = KL \quad L_c = (1.0)(4000) = 4000 \text{ mm}$$

$$P_e = \pi^2 (6.2436 \times 10^{12}) / (4000)^2 10^{-3}$$

$$P_e = 3851.4 \text{ kN}$$



Yönetmelik 12.3.1.2(a) uyarınca,

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{3341.58}{3851.4} = 0.87 \leq 2.25$$

$$P_n = P_{no} \left[ 0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right] \quad (12.3)$$

$$P_n = 3341.58 \left[ 0.658 \frac{3341.58}{3851.4} \right] = 2324.0 \text{ kN}$$

Kompozit enkesitin eğilme momenti dayanımının ( $M_p$ ) belirlenmesi

Kompozit enkesitin eğilme momenti dayanımı,  $M_p$ , Tablo 12.4 te B noktası için tanımlanan ifadeler kullanılarak hesaplanabilir.

$$M_B = M_D - W_{sn} F_y - \frac{1}{2} W_{cn} (0.85 f_{ck})$$

$$M_D = W_{px} F_y + \frac{W_c}{2} (0.85 f_{ck}) \quad W_c = \frac{b_i h_i^2}{4} - 0.192 r_i^3$$

$$W_c = \frac{(131.4)(231.4)^2}{4} - 0.192(9.3)^3 = 1758830.3 \text{ mm}^3$$

$$M_D = (557.3 \times 10^3)(355)10^{-6} + \frac{(1758830.3)}{2}(0.85 \times 35)10^{-6} = 224.0 \text{ kNm}$$

$$W_{sn} = 2th_n^2$$

$$W_{cn} = b_i h_n^2$$

$$h_n = \frac{0.85 f_{ck} A_c}{2[0.85 f_{ck} b_i + 4tF_y]} \leq \frac{h_i}{2}$$

$$h_n = \frac{0.85(35)(30332)}{2[0.85(35)(131.4) + 4(9.3)355]} \leq \frac{h_i}{2} = \frac{231.4}{2}$$

$$h_n = 26.4 \text{ mm} \leq \frac{h_i}{2} = \frac{231.4}{2} = 115.7 \text{ mm} \checkmark$$

$$W_{sn} = 2(9.3)(26.4)^2 = 12963.5 \text{ mm}^3$$

$$W_{cn} = (131.4)(26.4)^2 = 91580.5 \text{ mm}^3$$

$$M_p = M_B = 224.0 - (12963.5)(355)10^{-6} - \frac{1}{2}(91580.5)(0.85 \times 35)10^{-6}$$

$$M_p = 218.0 \text{ kNm}$$

Kompozit elemanın eğilme momenti dayanımının ( $M_n$ ) belirlenmesi

Yönetmelik 12.4.4(a) uyarınca,

$$M_n = M_p \quad (12.26a)$$

$$M_n = 218.0 \text{ kNm}$$

Eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkileşimi genel karşılıklı etki diyagramları ile *Yönetmelik* 12.6.1 esas alınarak değerlendirilebilir. Buna göre,

YDKT	GKT
<b>a.</b> Kompozit enkesitli elemanın tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Kompozit enkesitli elemanın güvenli dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.75(2287.63) = 1715.7 \text{ kN}$ $M_d = \phi_b M_n = 0.90(218.0) = 196.2 \text{ kNm}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 2287.63 / 2.0 = 1143.8 \text{ kN}$ $M_g = M_n / \Omega_b = 218.0 / 1.67 = 130.5 \text{ kNm}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{574}{1715.7} = 0.33 > 0.20$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{437}{1143.8} = 0.38 > 0.20$
$\frac{P_u}{P_d} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_u}{M_d} \right) \leq 1.0$ (11.1a) $\frac{574}{1715.7} + \frac{8}{9} \left( \frac{163}{196.2} \right) = 1.07 > 1.0 \times$	$\frac{P_a}{P_g} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_a}{M_g} \right) \leq 1.0$ (11.1a) $\frac{437}{1143.8} + \frac{8}{9} \left( \frac{73}{130.5} \right) = 0.88 \leq 1.0 \checkmark$

Yukarıda esas alınan yöntem daha büyük oranda güvenli tarafta kalan bir yaklaşım olması nedeniyle kompozit eleman, tasarım dayanımı kontrolüne göre yetersiz olarak değerlendirilebilir. Bu durumda daha hassas bir dayanım kontrolü için eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkileşimi, geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramları ile *Yönetmelik* 12.6.2 esas alınarak incelenebilir.

Bu durumda *Yönetmelik* Şekil 12.7 de gösterilen geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramlarının oluşturulabilmesi için *Yönetmelik* Tablo 12.4 te verilen ifadeler kullanılarak A, E, C, D ve B noktalarının koordinatlarının belirlenmesi gerekmektedir.

#### A Noktasının koordinatları

$$P_A = A_s F_y + 0.85 f_{ck} A_c$$

$$b_i = 150 - 2(9.3) = 131.4 \text{ mm}$$

$$h_i = 250 - 2(9.3) = 231.4 \text{ mm}$$

$$r_i = 9.3 \text{ mm}$$

$$A_c = b_i h_i - 0.8584 r_i^2 \quad A_c = (131.4)(231.4) - 0.8584(9.3)^2 \cong 30332 \text{ mm}^2$$

$$P_A = (6871)(355)10^{-3} + 0.85(35)(30332)10^{-3}$$

$$P_A = 3341.58 \text{ kN}$$

$$M_A = 0.0 \text{ kNm}$$

#### D Noktasının koordinatları

$$P_D = \frac{0.85 f_{ck} A_c}{2}$$

$$P_D = \frac{0.85(35)(30332)}{2} 10^{-3}$$

$$P_D = 451.2 \text{ kN}$$

$$W_c = \frac{(131.4)(231.4)^2}{4} - 0.192(9.3)^3 = 1758830.3 \text{ mm}^3$$

$$M_D = W_{px} F_y + \frac{W_c}{2} (0.85 f_{ck})$$

$$M_D = (557.3 \times 10^3)(355)10^{-6} + \frac{(1758830.3)}{2} (0.85 \times 35)10^{-6}$$

$$M_D = 224.0 \text{ kNm}$$

### B Noktasının koordinatları

$$P_B = 0$$

$$h_n = \frac{0.85 f_{ck} A_c}{2[0.85 f_{ck} b_1 + 4tF_y]} \leq \frac{h_i}{2}$$

$$h_n = \frac{0.85(35)(30332)}{2[0.85(35)(131.4) + 4(9.3)355]} \leq \frac{h_i}{2} = \frac{231.4}{2}$$

$$h_n = 26.4 \text{ mm} \leq \frac{h_i}{2} = \frac{231.4}{2} = 115.7 \text{ mm} \checkmark$$

$$W_{sn} = 2(9.3)(26.4)^2 = 12963.5 \text{ mm}^3$$

$$W_{cn} = (131.4)(26.4)^2 = 91580.5 \text{ mm}^3$$

$$M_B = 224.0 - (12963.5)(355)10^{-6} - \frac{1}{2}(91580.5)(0.85 \times 35)10^{-6}$$

$$M_B = 218.0 \text{ kNm}$$

### C Noktasının koordinatları

$$P_C = 0.85 f_{ck} A_c$$

$$P_C = 0.85(35)(30332)10^{-3}$$

$$P_C = 902.4 \text{ kN}$$

$$M_C = M_B$$

$$M_C = 218.0 \text{ kNm}$$

### E Noktasının koordinatları

$$P_E = \frac{0.85 f_{ck} A_c}{2} + 0.85 f_{ck} b_1 h_E + 4F_y t h_E$$

$$h_E = \frac{h_n}{2} + \frac{H}{4}$$

$$h_E = \frac{(26.4)}{2} + \frac{250}{4} = 75.7 \text{ mm}$$

$$P_E = \frac{0.85(35)(30332)}{2} 10^{-3} + 0.85(35)(131.4)(75.7)10^{-3} + 4(355)(9.3)(75.7)10^{-3}$$

$$P_E = 1746.8 \text{ kN}$$

$$W_{cE} = (131.4)(75.7)^2 = 752986.4 \text{ mm}^3$$

$$W_{sE} = 2(9.3)(75.7)^2 = 106587.1 \text{ mm}^3$$

$$M_E = M_D - F_y W_{sE} - \frac{1}{2} W_{cE} (0.85 f_{ck})$$

$$M_E = 224.0 - (355)(106587.1)10^{-6} - \frac{1}{2}(752986.4)(0.85 \times 35)10^{-6}$$

$$M_E = 175.0 \text{ kNm}$$

Bu noktanın koordinatları, etkileşim eğrisinin daha hassas olarak oluşturulmasını sağlamaktadır. Etkileşim eğrisi, güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla, bu noktanın etkisi terkedilerek de oluşturulabilir.

Azaltma katsayısı,  $\lambda$

*Yönetmelik* 12.6.2 uyarınca, kompozit enkesitte plastik gerilme yayılımı esas alınarak, eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkileşimi için hesaplanan eksenel kuvvet dayanım değerleri (A, E, C, D ve B noktalarının ordinatları), kompozit elemanın boyuna bağlı narinliği nedeniyle, azaltma katsayısı,  $\lambda$  ile çarpılarak azaltılmalıdır.

$$P_{no} = P_A = 3341.58 \text{ kN}$$

$$P_n = 2324.0 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{P_n}{P_{no}} = \frac{2324.0}{3341.58} = 0.695$$

$$P_{A'} = \lambda P_A$$

$$P_{A'} = (0.695)(3341.58) = 2322.4 \text{ kN}$$

$$P_{B'} = \lambda P_B$$

$$P_{B'} = (0.695)(0.0) = 0.0 \text{ kN}$$

$$P_{C'} = \lambda P_C$$

$$P_{C'} = (0.695)(902.4) = 627.2 \text{ kN}$$

$$P_{D'} = \lambda P_D$$

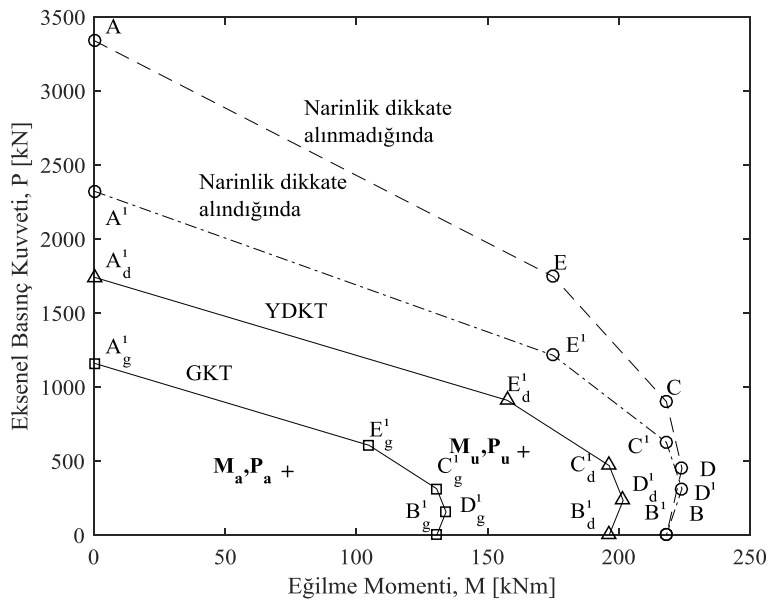
$$P_{D'} = (0.695)(451.2) = 313.6 \text{ kN}$$

$$P_{E'} = \lambda P_E$$

$$P_{E'} = (0.695)(1746.8) = 1214.0 \text{ kN}$$

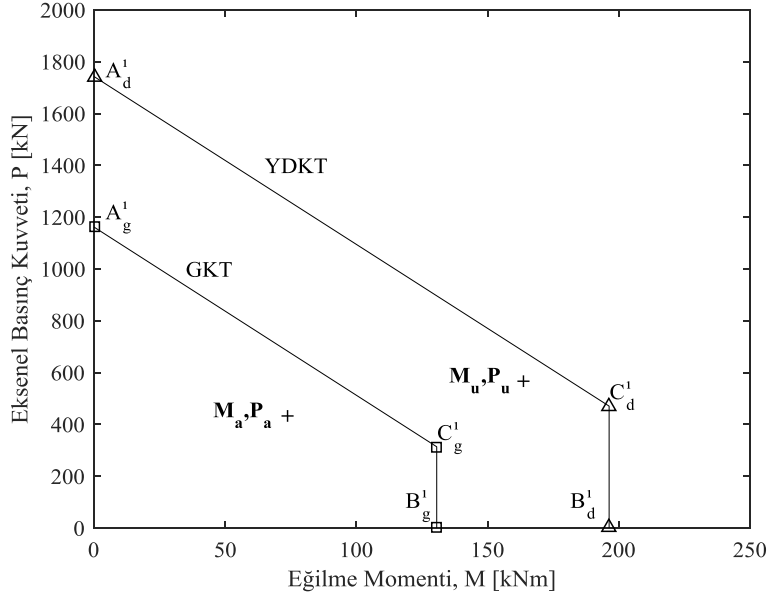
YDKT	GKT
Kompozit enkesitli elemanın tasarım etkileşim diyagramı için aksenal kuvvet dayanımları	Kompozit enkesitli elemanın güvenli etkileşim diyagramı için aksenal kuvvet dayanımları
$P_{A',d} = \phi_c P_{A'} = 0.75(2322.4) = 1741.8 \text{ kN}$ $P_{B',d} = \phi_c P_{B'} = 0.75(0.0) = 0.0 \text{ kN}$ $P_{C',d} = \phi_c P_{C'} = 0.75(627.2) = 470.4 \text{ kN}$ $P_{D',d} = \phi_c P_{D'} = 0.75(313.6) = 235.2 \text{ kN}$ $P_{E',d} = \phi_c P_{E'} = 0.75(1214.0) = 910.5 \text{ kN}$	$P_{A',g} = P_{A'}/\Omega_c = 2322.4/2.00 = 1161.2 \text{ kN}$ $P_{B',g} = P_{B'}/\Omega_c = 0.0/2.00 = 0.0 \text{ kN}$ $P_{C',g} = P_{C'}/\Omega_c = 627.2/2.00 = 313.6 \text{ kN}$ $P_{D',g} = P_{D'}/\Omega_c = 313.6/2.00 = 156.8 \text{ kN}$ $P_{E',g} = P_{E'}/\Omega_c = 1214.0/2.00 = 607.0 \text{ kN}$
Kompozit enkesitli elemanın etkileşim diyagramı için tasarım eğilme momenti dayanımları	Kompozit enkesitli elemanın etkileşim diyagramı için güvenli eğilme momenti dayanımları
$M_{A',d} = \phi_b M_{A'} = 0.90(0.0) = 0.0 \text{ kNm}$ $M_{B',d} = \phi_b M_{B'} = 0.90(218.0) = 196.2 \text{ kNm}$ $M_{C',d} = \phi_b M_{C'} = 0.90(218.0) = 196.2 \text{ kNm}$ $M_{D',d} = \phi_b M_{D'} = 0.90(224.0) = 201.6 \text{ kNm}$ $M_{E',d} = \phi_b M_{E'} = 0.90(175.0) = 157.5 \text{ kNm}$	$M_{A',g} = M_{A'}/\Omega_b = 0.0/1.67 = 0.0 \text{ kNm}$ $M_{B',g} = M_{B'}/\Omega_b = 218.0/1.67 = 130.5 \text{ kNm}$ $M_{C',g} = M_{C'}/\Omega_b = 218.0/1.67 = 130.5 \text{ kNm}$ $M_{D',g} = M_{D'}/\Omega_b = 224.0/1.67 = 134.1 \text{ kNm}$ $M_{E',g} = M_{E'}/\Omega_b = 175.0/1.67 = 104.8 \text{ kNm}$

Kompozit elemanın tasarım veya güvenli dayanımının kontrolü, Şekil 12.10.1 de gösterilen YDKT veya GKT yöntemlerinin etkileşim diyagramları esas alınarak yapılır. Buna göre gerekli dayanımların belirlediği noktaların, her iki yöntemde de etkileşim diyagramlarının içinde kaldığı görülür. Bu durumda kompozit enkesitli elemanın dayanımı yeterlidir.



Şekil 12.10.1 – Tasarım ve güvenli dayanım kontrolü için etkileşim diyagramları

*Yönetmelik* 12.6.2 uyarınca, YDKT veya GKT yöntemlerine göre Şekil 12.10.1 de gösterildiği gibi elde edilen etkileşim eğrileri sırasıyla, sadece  $A'_d$ ,  $C'_d$  ve  $B'_d$  noktaları veya  $A'_g$ ,  $C'_g$  ve  $B'_g$  noktaları gözönünde tutularak basitleştirilebilir. Bu durumda eğriler Şekil 12.10.2 de verildiği gibi elde edilir.



**Şekil 12.10.2** – Tasarım ve güvenli dayanım kontrolü için basitleştirilmiş etkileşim diyagramları

YDKT	GKT
<b>a. Kompozit enkesitli elemanın tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Kompozit enkesitli elemanın güvenli dayanımının kontrolü</b>
$P_r \geq P_C \quad P_r = P_u \quad P_C = P_{C',d}$ $P_u = 545 \text{ kN} \geq P_{C',d} = 470.4 \text{ kN}$ $\frac{P_r - P_C}{P_A - P_C} + \frac{M_{rx}}{M_{Cx}} \leq 1.0 \quad (12.28b)$ $\frac{P_u - P_{C',d}}{P_{A',d} - P_{C',d}} + \frac{M_u}{M_{C',d}} \leq 1.0$ $\frac{574 - 470.4}{1741.8 - 470.4} + \frac{163}{196.2} \leq 1.0$ $0.91 \leq 1.0 \checkmark$	$P_r \geq P_C \quad P_r = P_a \quad P_C = P_{C',g}$ $P_a = 437 \text{ kN} \geq P_{C',g} = 313.6 \text{ kN}$ $\frac{P_r - P_C}{P_A - P_C} + \frac{M_{rx}}{M_{Cx}} \leq 1.0 \quad (12.28b)$ $\frac{P_a - P_{C',g}}{P_{A',g} - P_{C',g}} + \frac{M_a}{M_{C',g}} \leq 1.0$ $\frac{437 - 313.6}{1161.2 - 313.6} + \frac{73}{130.5} \leq 1.0$ $0.70 \leq 1.0 \checkmark$

#### Kesme kuvveti dayanımının kontrolü

*Yönetmelik* 12.5.1 uyarınca, tasarım kesme kuvveti dayanımı veya güvenli kesme kuvveti dayanımı, *Yönetmelik* Bölüm 10 a göre sadece çelik kesit dikkate alınarak veya beton ve beton çeliği için malzeme katsayıları kullanmaksızın TS 500 standardına göre, beton ve enine donatı dikkate alınarak hesaplanabilir. Burada, kesme kuvveti dayanımı her iki durum da esas alınarak kontrol edilecektir.

Sadece çelik kesit ile karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$

Yönetmelik 10.4 uyarınca,

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v2} \quad (10.12)$$

$$h = H - 3t$$

$$h = 250 - 3(9.3) = 222.1 \text{ mm}$$

$$A_w = 2ht$$

$$A_w = 2(222.1)(9.3) = 4131.1 \text{ mm}^2$$

$$\frac{h}{t} \leq 1.10\sqrt{k_v E/F_y} \quad k_v = 5.0$$

$$\frac{222.1}{9.3} \leq 1.10\sqrt{5.0(200000)/(355)}$$

$$23.9 \leq 58.4 \checkmark$$

Yönetmelik 10.3.1(2)(i) uyarınca,

$$C_{v2} = 1.0 \quad (10.7a)$$

$$V_n = 0.6(355)(4131.1)(1.0)10^{-3}$$

$$V_n = 879.9 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>c.</b> Elemanın tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>d.</b> Elemanın güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 0.90(879.9) = 791.9 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 879.9 / 1.67 = 526.9 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{76}{791.9} = 0.10 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{46}{526.9} = 0.09 \leq 1.0 \checkmark$

Sadece donatısız beton ile karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$

Kompozit enkesit enine donatı içermediğinden karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$  sadece donatısız beton enkesiti dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Bu durumda, betonarme enkesitin kesme kuvveti dayanımının hesabı için TS 500 de verilen ifadelerin kullanılması uygun olmayacaktır. Sadece betondan oluşan bir enkesitin kesme kuvveti dayanımı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

Tasarım kesme kuvveti dayanımının hesabında  $\phi = 0.60$  alınmalıdır.

$$V_n = 0.11\lambda\sqrt{f_{ck}} b_w h \quad (22.9, \text{ACI 318})$$

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa} \quad b_w = b_1 = 131.4 \text{ mm} \quad h = h_1 = 231.4 \text{ mm} \quad \lambda = 1.0 \text{ (Normal beton için)}$$

$$V_n = 0.11(1.0)\sqrt{35}(131.4)(231.4)10^{-3}$$

$$V_n = 19.8 \text{ kN}$$

$$V_d = \phi V_n \quad \phi = 0.60$$

$$V_d = 0.60(19.8) = 11.9 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{76}{11.9} \gg 1.0 \quad \times$$

Sadece donatısız betonun kesme kuvveti dayanımı, gerekli kesme kuvveti dayanımının karşılanmasında yetersizdir.

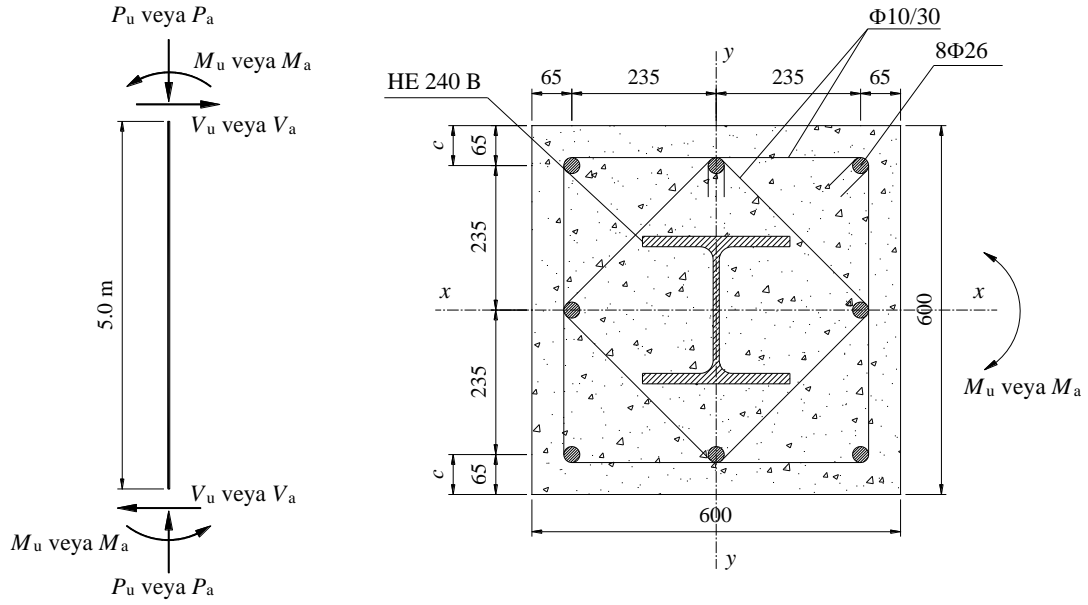
Yukarıdaki dayanım kontrollerine ilave olarak, yük aktarımı ile ilgili kontroller de *Yönetmelik* 12.7 esasları çerçevesinde Örnek 12.3 te olduğu gibi yapılmalıdır.



## Örnek 12.11

Aşağıdaki şekilde enkesit detayı ve yükleme durumu verilen çelik gömme kompozit eleman, sabit ve hareketli yükleri içeren YDKT ve GKT yük birleşimleri altında doğrudan analiz yöntemi kullanılarak elde edilen iç kuvvetlerin etkisindedir.

- Eğilme ve eksenel kuvvetin bileşik etkisindeki elemanın tasarım dayanımının kontrolü (YDKT).
- Eğilme ve eksenel kuvvetin bileşik etkisindeki elemanın güvenli dayanımının kontrolü (GKT).
- Elemanın tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Elemanın güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT)



### Gerekli dayanımlar (iç kuvvetler)

YDKT	GKT
$P_u = 4950 \text{ kN}$	$P_a = 3720 \text{ kN}$
$M_u = 812 \text{ kNm}$	$M_a = 366 \text{ kNm}$
$V_u = 405.7 \text{ kN}$	$V_a = 243.3 \text{ kN}$

### Çelik sınıfı

$$S 355 \quad F_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

### Beton çeliği sınıfı (TS 500, Çizelge 3.1)

$$S 420b \quad f_{ywk} = F_{ysr} = 420 \text{ N/mm}^2$$

### Beton sınıfı

$$C35 \quad f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2 \quad w_c = 2400 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{TS 500})$$

$$E_c = 0.043w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \quad (12.1)$$

$$E_c = 0.043(2400)^{1.5} \sqrt{35} \cong 29910 \text{ MPa}$$

## Enkesit

Kompozit enkesit tasarımı için gerekli bilgiler

$d = 240 \text{ mm}$	$b_f = 240 \text{ mm}$	$t_f = 17 \text{ mm}$	$t_w = 10 \text{ mm}$
$I_{sx} = 11260 \text{ cm}^4$	$I_{sy} = 3923 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 938.3 \text{ cm}^3$	$W_{px} = 1053 \text{ cm}^3$
$A_s = 10600 \text{ mm}^2$	$A_c = 345153 \text{ mm}^2$	$A_{sr} = 4247 \text{ mm}^2$	$A_g = 360000 \text{ mm}^2$
$h_1 = 600 \text{ mm}$	$h_2 = 600 \text{ mm}$	$c = 65 \text{ mm}$	$E_c = 29910 \text{ MPa}$
$I_{cx} = 1051129.7 \text{ cm}^4$	$I_{cy} = 1058466.7 \text{ cm}^4$	$I_{sr} = 17610.3 \text{ cm}^4$	

Simetri eksenindeki donatıların toplam alanı,  $A_{srs}$

$$A_{srs} = 2 \left( \frac{\pi d^2}{4} \right) = 2 \left( \frac{\pi (26)^2}{4} \right) = 1062 \text{ mm}^2$$

$$A_{srsx} = A_{srsy} = A_{srs}$$

## Çözüm

Malzeme sınıflarına ait sınırların kontrolü,

*Yönetmelik 12.2.3 uyarınca,*

- (a) Beton sınıfı : C35  $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$   $20 \text{ MPa} \leq 35 \text{ MPa} \leq 70 \text{ MPa}$  ✓  
(b) Beton çeliği sınıfı : S420b  $F_{ysr} = 420 \text{ MPa}$   $420 \text{ MPa} \leq 500 \text{ MPa}$   
(c) Çelik sınıfı : S355  $F_y = 355 \text{ MPa}$   $355 \text{ MPa} \leq 460 \text{ MPa}$  ✓

Eksenel kuvvet etkisinde sınırlamaların kontrolü,

*Yönetmelik 12.3.1.1 uyarınca,*

(a)  $A_s \geq 0.01A_g$   $10600 \text{ mm}^2 \geq 0.01(360000) = 3600.0 \text{ mm}^2$  ✓

(b) 12mm çapında etriye, 150mm aralıkla uygulanmaktadır.

Etriye ve uygulaması :  $\Phi 12/250$

$$250 \text{ mm} \leq \text{MIN} \left[ \frac{\min(h_1, h_2)}{2}; 400 \text{ mm} \right] = 300 \text{ mm} \checkmark$$

(c)  $\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} \geq 0.004$  (12.2)

$$\rho_{sr} = \frac{4247}{360000} = 0.012 \geq 0.004 \checkmark$$

Eksenel basınç ve eğilme momentinin basınç bileşeni etkisinde yerel burkulma kontrolü,

*Yönetmelik 12.2.2 uyarınca* çelik gömme kompozit elemanlarda yerel burkulma söz konusu değildir. Bu durumda dayanım hesapları, kompakt enkesit sınıfı esas alınarak yapılır.

Kompozit enkesitin eksenel basınç kuvveti dayanımının ( $P_{no}$ ) belirlenmesi

*Yönetmelik 12.3.2.2(a) uyarınca* kompakt enkesitler için

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0.85 f_{ck} A_c \quad (12.5)$$

$$P_{no} = (355)(10600)10^{-3} + (420)(4247)10^{-3} + 0.85(35)(345153)10^{-3}$$

$$P_{no} = 15815.0 \text{ kN}$$

Kompozit elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımının ( $P_n$ ) belirlenmesi

$$C_1 = 0.25 + 3 \left( \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.7$$

$$C_1 = 0.25 + 3 \left( \frac{10600 + 4247}{360000} \right) \leq 0.7 \quad C_1 = 0.37 \leq 0.7 \checkmark$$

$$C_1 = 0.37$$

$$(EI)_{ef} = E_s I_{sy} + E_{sr} I_{sr} + C_1 E_c I_{cy} \quad (12.6)$$

$$(EI)_{ef} = (200000)(3923 \times 10^4) + (200000)(17610.3 \times 10^4) + 0.37(29910)(1058466.7 \times 10^4)$$

$$(EI)_{ef} = 1.6020 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

$$P_e = \pi^2 (EI)_{ef} / (L_c)^2$$

Doğrudan analiz yönteminin kullanılması nedeniyle, burkulma boyu katsayısı,  $K$  her iki doğrultu için de  $K = 1.0$  olarak alınacaktır. Kompozit enkesitli elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımının elde edilmesinde y-y eksen (zayıf eksen) etrafında eğilmeli burkulma sınır durumu belirleyici olacaktır. Buna göre,

$$L_c = KL \quad L_c = (1.0)(5000) = 5000 \text{ mm}$$

$$P_e = \pi^2 (1.6020 \times 10^{14}) / (5000)^2 10^{-3}$$

$$P_e = 63244.4 \text{ kN}$$

*Yönetmelik* 12.3.1.2(a) uyarınca,

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{15815.0}{63244.4} = 0.25 \leq 2.25$$

$$P_n = P_{no} \left[ 0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right] \quad (12.3)$$

$$P_n = 15815 \left[ 0.658 \frac{15815}{63244.4} \right] = 14243.4 \text{ kN}$$

Kompozit enkesitin eğilme momenti dayanımının ( $M_p$ ) belirlenmesi

Kompozit enkesitin eğilme momenti dayanımı,  $M_p$ , Tablo 12.2 de B noktası için belirlenen  $M_B$  değerine eşittir. Ancak bu değer hesaplanabilmesi için ilk olarak  $M_D$  nin elde edilmesi gerekmektedir.

$$W_r = (A_{sr} - A_{srs}) \left( \frac{h_2}{2} - c \right)$$

$$W_r = (4247 - 1062) \left( \frac{600}{2} - 65 \right)$$

$$W_r = 748475 \text{ mm}^3$$

$$W_c = \frac{h_1 h_2^2}{4} - W_{px} - W_r$$

$$W_c = \frac{(600)(600)^2}{4} - 1053 \times 10^3 - 748475$$

$$W_c = 52198525 \text{ mm}^3$$

$$M_D = W_{px} F_y + W_r F_{ysr} + \frac{W_c}{2} (0.85 f_{ck})$$

$$M_D = (1053 \times 10^3)(355)10^{-6} + (748475)(420)10^{-6} + \frac{52198525}{2} (0.85 \times 35)10^{-6}$$

$$M_D = 1464.6 \text{ kNm}$$

İlk olarak  $h_n$  nin başlığın içinde olduğu varsayılacaktır. Daha sonra bu koşul kontrol edilecektir.

$$\left( \frac{d}{2} - t_f < h_n \leq \frac{d}{2} \right) \text{ için } h_n = \frac{0.85 f_{ck} (A_c + A_s - db_f + A_{srs}) - 2F_y (A_s - db_f) - 2F_{ysr} A_{srs}}{2[0.85 f_{ck} (h_1 - b_f) + 2F_y b_f]}$$

$$h_n = \frac{0.85(35)(345153 + 10600 - (240)(240) + 1062) - 2(355)(10600 - (240)(240)) - 2(420)(1062)}{2[0.85(35)(600 - 240) + 2(355)(240)]}$$

$$h_n = 114.2 \text{ mm}$$

$$\frac{240}{2} - 17 = 103 \text{ mm} < h_n = 114.2 \text{ mm} \leq \frac{240}{2} = 120 \text{ mm} \checkmark$$

Böylece, başlangıçta yapılan varsayımın geçerli olduğu ve  $h_n$  nin başlığın içinde yer aldığı anlaşılmaktadır.

$$W_{sn} = W_{px} - b_f \left( \frac{d}{2} - h_n \right) \left( \frac{d}{2} + h_n \right)$$

$$W_{sn} = 1053 \times 10^3 - (240) \left( \frac{240}{2} - 114.2 \right) \left( \frac{240}{2} + 114.2 \right)$$

$$W_{sn} = 726993.6 \text{ mm}^3$$

$$W_{cn} = h_1 h_n^2 - W_{sn}$$

$$W_{cn} = (600)(114.2)^2 - 726993.6$$

$$W_{cn} = 7097990.4 \text{ mm}^3$$

$$M_B = M_D - W_{sn} F_y - \frac{1}{2} W_{cn} (0.85 f_{ck})$$

$$M_B = 1464.6 - (726993.6)(355)10^{-6} - \frac{1}{2}(7097990.4)(0.85 \times 35)10^{-6}$$

$$M_B = 1100.9 \text{ kNm}$$

$$M_p = M_B = 1100.9 \text{ kNm}$$

Kompozit elemanın eğilme momenti dayanımının ( $M_n$ ) belirlenmesi

*Yönetmelik* 12.4.3(b) uyarınca,

$$M_n = M_p$$

$$M_n = 1100.9 \text{ kNm}$$

Eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkileşimi genel karşılıklı etki diyagramları ile *Yönetmelik* 12.6.1 esas alınarak değerlendirilebilir. Buna göre,

YDKT	GKT
<b>a.</b> Kompozit enkesitli elemanın tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Kompozit enkesitli elemanın güvenli dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.75(14243.4) = 10682.6 \text{ kN}$ $M_d = \phi_b M_n = 0.90(1100.9) = 990.8 \text{ kNm}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 14243.4 / 2.0 = 7121.7 \text{ kN}$ $M_g = M_n / \Omega_b = 1100.9 / 1.67 = 659.2 \text{ kNm}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{4950}{10682.6} = 0.46 > 0.20$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{3720}{7121.7} = 0.52 > 0.20$
$\frac{P_u}{P_d} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_u}{M_d} \right) \leq 1.0 \quad (11.1a)$ $\frac{4950}{10682.6} + \frac{8}{9} \left( \frac{812}{990.8} \right) = 1.19 > 1.0 \times$	$\frac{P_a}{P_g} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_a}{M_g} \right) \leq 1.0 \quad (11.1a)$ $\frac{3720}{7121.7} + \frac{8}{9} \left( \frac{366}{659.2} \right) = 1.02 > 1.0 \times$

Yukarıda esas alınan yöntem daha büyük oranda güvenli tarafta kalan bir yaklaşım olması nedeniyle, kompozit eleman, dayanım kontrolüne göre yetersiz olarak değerlendirilmektedir. Bu durumda daha hassas bir dayanım kontrolü için eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkileşimi, geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramları ile *Yönetmelik* 12.6.2 esas alınarak incelenebilir.

Bu durumda *Yönetmelik* Şekil 12.7 de gösterilen geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramlarının oluşturulabilmesi için *Yönetmelik* Tablo 12.2 de verilen ifadeler kullanılarak A, C, D ve B noktalarının koordinatlarının belirlenmesi gerekmektedir.

A Noktasının koordinatları

$$M_A = 0.0 \text{ kNm}$$

$$A_c = h_1 h_2 - A_s - A_{sr}$$

$$A_c = (600)(600) - 10600 - 4247$$

$$A_c = 345153 \text{ mm}^3$$

$$P_A = A_s F_y + A_{sr} F_{ysr} + 0.85 f_{ck} A_c$$

$$P_A = (10600)(355)10^{-3} + (4247)(420)10^{-3} + 0.85(35)(345153)10^{-3}$$

$$P_A = 15815.0 \text{ kN}$$

#### D Noktasının koordinatları

$$M_D = 1464.6 \text{ kNm}$$

$$P_D = \frac{0.85 f_{ck} A_c}{2}$$

$$P_D = \frac{0.85(35)(345153)}{2} 10^{-3}$$

$$P_D = 5134.2 \text{ kN}$$

#### B Noktasının koordinatları

$$M_B = 1100.9 \text{ kNm}$$

$$P_B = 0.0 \text{ kN}$$

#### C Noktasının koordinatları

$$P_C = 0.85 f_{ck} A_c$$

$$P_C = 0.85(35)(345153)10^{-3}$$

$$P_C = 10268.3 \text{ kN}$$

$$M_C = M_B$$

$$M_C = 1100.9 \text{ kNm}$$

#### Azaltma katsayısı, $\lambda$

*Yönetmelik* 12.6.2 uyarınca, kompozit enkesitte plastik gerilme yayılımı esas alınarak, aksenal kuvvet ve eğilme momenti etkileşimi için hesaplanan aksenal kuvvet dayanım değerleri (A, E, C, D ve B noktalarının ordinatları), kompozit elemanın boyuna bağlı narinliği nedeniyle, azaltma katsayısı,  $\lambda$  ile çarpılarak azaltılmalıdır.

$$P_{no} = P_A = 15815.0 \text{ kN}$$

$$P_n = 14243.4 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{P_n}{P_{no}} = \frac{14243.4}{15815.0} = 0.900$$

$$P_{A'} = \lambda P_A$$

$$P_{A'} = (0.900)(15815.0) = 14233.5 \text{ kN}$$

$$P_{B'} = \lambda P_B$$

$$P_{B'} = (0.900)(0.0) = 0.0 \text{ kN}$$

$$P_{C'} = \lambda P_C$$

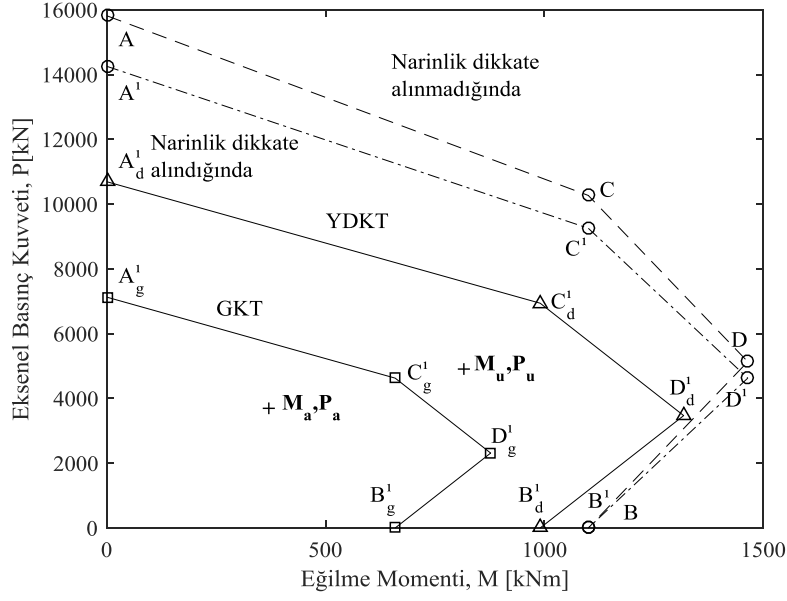
$$P_{C'} = (0.900)(10268.3) = 9241.5 \text{ kN}$$

$$P_{D'} = \lambda P_D$$

$$P_{D'} = (0.900)(5134.2) = 4620.8 \text{ kN}$$

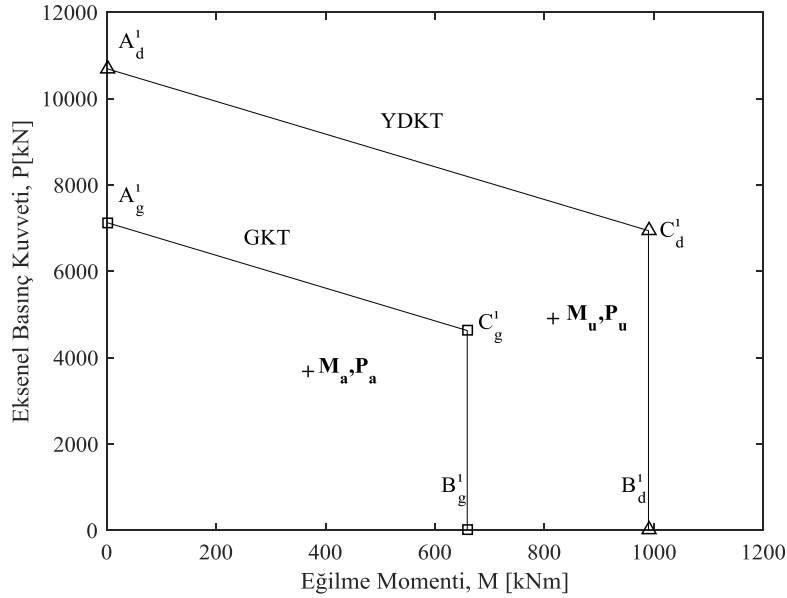
YDKT	GKT
Kompozit enkesitli elemanın tasarım etkileşim diyagramı için aksenal kuvvet dayanımları	Kompozit enkesitli elemanın güvenli etkileşim diyagramı için aksenal kuvvet dayanımları
$P_{A',d} = \phi_c P_{A'} = 0.75(14233.5) = 10675.1 \text{ kN}$ $P_{B',d} = \phi_c P_{B'} = 0.75(0.0) = 0.0 \text{ kN}$ $P_{C',d} = \phi_c P_{C'} = 0.75(9241.5) = 6931.1 \text{ kN}$ $P_{D',d} = \phi_c P_{D'} = 0.75(4620.8) = 3465.6 \text{ kN}$	$P_{A',g} = P_{A'}/\Omega_c = 14233.5/2.00 = 7116.8 \text{ kN}$ $P_{B',g} = P_{B'}/\Omega_c = 0.0/2.00 = 0.0 \text{ kN}$ $P_{C',g} = P_{C'}/\Omega_c = 9241.5/2.00 = 4620.8 \text{ kN}$ $P_{D',g} = P_{D'}/\Omega_c = 4620.8/2.00 = 2310.4 \text{ kN}$
Kompozit enkesitli elemanın etkileşim diyagramı için tasarım eğilme momenti dayanımları	Kompozit enkesitli elemanın etkileşim diyagramı için güvenli eğilme momenti dayanımları
$M_{A',d} = \phi_b M_{A'} = 0.90(0.0) = 0.0 \text{ kNm}$ $M_{B',d} = \phi_b M_{B'} = 0.90(1100.9) = 990.8 \text{ kNm}$ $M_{C',d} = \phi_b M_{C'} = 0.90(1100.9) = 990.8 \text{ kNm}$ $M_{D',d} = \phi_b M_{D'} = 0.90(1464.6) = 1318.1 \text{ kNm}$	$M_{A',g} = M_{A'}/\Omega_b = 0.0/1.67 = 0.0 \text{ kNm}$ $M_{B',g} = M_{B'}/\Omega_b = 1100.9/1.67 = 659.2 \text{ kNm}$ $M_{C',g} = M_{C'}/\Omega_b = 1100.9/1.67 = 659.2 \text{ kNm}$ $M_{D',g} = M_{D'}/\Omega_b = 1464.6/1.67 = 877.0 \text{ kNm}$

Kompozit elemanın tasarım veya güvenli dayanımının kontrolü, Şekil 12.11.1 de gösterilen YDKT veya GKT yöntemlerinin etkileşim diyagramları esas alınarak yapılır. Buna göre gerekli dayanımların belirlendiği noktaların, her iki yöntemde de etkileşim diyagramlarının içinde kaldığı görülür. Bu durumda kompozit enkesitli elemanın dayanımı yeterlidir.



Şekil 12.11.1 – Tasarım ve güvenli dayanım kontrolü için etkileşim diyagramları

Yönetmelik 12.6.2 uyarınca, YDKT veya GKT yöntemlerine göre Şekil 12.11.1 de gösterildiği gibi elde edilen etkileşim eğrileri sırasıyla, sadece  $A'_d$ ,  $C'_d$  ve  $B'_d$  noktaları veya  $A'_g$ ,  $C'_g$  ve  $B'_g$  noktaları gözönünde tutularak basitleştirilebilir. Bu durumda eğriler Şekil 12.11.2 de verildiği gibi elde edilir.



Şekil 12.11.2 – Tasarım ve güvenli dayanım kontrolü için basitleştirilmiş etkileşim diyagramları



YDKT	GKT
<b>a.</b> Kompozit enkesitli elemanın tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Kompozit enkesitli elemanın güvenli dayanımının kontrolü
$P_r < P_C \quad P_r = P_u \quad P_C = P_{C',d}$ $P_u = 4950 \text{ kN} < P_{C',d} = 6931.1 \text{ kN}$ $\frac{M_{rx}}{M_{Cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{Cy}} \leq 1.0 \quad (12.28a)$ $\frac{M_u}{M_{C',d}} \leq 1.0$ $\frac{812}{990.8} \leq 1.0 \quad 0.82 \leq 1.0 \checkmark$	$P_r < P_C \quad P_r = P_a \quad P_C = P_{C',g}$ $P_a = 3720 \text{ kN} < P_{C',g} = 4620.8 \text{ kN}$ $\frac{M_{rx}}{M_{Cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{Cy}} \leq 1.0 \quad (12.28a)$ $\frac{M_a}{M_{C',g}} \leq 1.0$ $\frac{366}{659.2} \leq 1.0 \quad 0.56 \leq 1.0 \checkmark$

### Kesme kuvveti dayanımının kontrolü

*Yönetmelik* 12.5.1 uyarınca, tasarım kesme kuvveti dayanımı veya güvenli kesme kuvveti dayanımı, *Yönetmelik* Bölüm 10 a göre sadece çelik kesit dikkate alınarak veya beton ve beton çeliği için malzeme katsayıları kullanmaksızın TS 500 standardına göre, beton ve enine donatı dikkate alınarak hesaplanabilir. Burada, kesme kuvveti dayanımı her iki durum da esas alınarak kontrol edilecektir.

Sadece çelik kesit ile karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$

*Yönetmelik* 10.2.1 uyarınca,

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (10.1)$$

$$A_w = dt_w$$

$$A_w = (240)(10) = 2400 \text{ mm}^2$$

$$h = 164 \text{ mm} \quad \frac{h}{t_w} \leq 2.24\sqrt{E/F_y}$$

$$\frac{164}{10} = 16.4 \leq 2.24\sqrt{200000/355} = 53.2 \checkmark$$

*Yönetmelik* 10.2.1(a) uyarınca,

$$C_{v1} = 1.0$$

$$V_n = 0.6(355)(2400)(1.0)10^{-3}$$

$$V_n = 511.2 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>c.</b> Elemanın tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>d.</b> Elemanın güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 1.0(511.2) = 511.2 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 511.2 / 1.5 = 340.8 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{405.7}{511.2} = 0.79 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{243.3}{340.8} = 0.71 \leq 1.0 \checkmark$

Betonarme enkesitin karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$

*Yönetmelik* 12.5.1(b) uyarınca, betonarme enkesitin karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ , beton ve beton çeliği için malzeme katsayıları kullanmaksızın TS 500 8.1.4 esas alınarak hesaplanabilir. Bu durumda, enkesitin karakteristik kesme kuvveti dayanımı beton katkısı,  $V_c$  ve kesme donatısı katkısı  $V_w$  nun toplanması ile elde edilir.

$$V_r = V_c + V_w \quad (8.3, \text{TS } 500)$$

$$V_n = V_r$$

$$V_c = 0.80V_{cr} \quad (8.4, \text{TS } 500)$$

TS 500 Denk.(8.1), betonun karakteristik eksenel çekme dayanımına bağlı olmak üzere, basınç kuvvetinin katkısı da terkedilerek aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctk} b_w d$$

$$f_{ctk} = 2.1 \text{ MPa (TS 500 Çizelge 3.2)} \quad b_w = h_1 \quad d = h_2 - c = 600 - 65 = 535 \text{ mm}$$

$$V_{cr} = 0.65(2.1)(600)(535)10^{-3}$$

$$V_{cr} = 438.2 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.80V_{cr} = 0.80(438.2) = 350.6 \text{ kN}$$

TS 500 Denk.(8.5), beton çeliğinin karakteristik akma gerilmesine bağlı olmak üzere aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywk} d \quad \text{Etriye : } \Phi 12/250 \quad \text{Etriye kol sayısı : } 2$$

$$A_{sw} = 2 \left( \frac{\pi \times 12^2}{4} \right) = 226 \text{ mm}^2 \quad s = 250 \text{ mm} \quad f_{ywk} = 420 \text{ MPa} \quad d = 535 \text{ mm}$$

$$V_w = \frac{226}{250} (420)(535)10^{-3}$$

$$V_w = 203.1 \text{ kN}$$

$$V_n = 350.6 + 203.1 = 553.7 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>c.</b> Elemanın tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>d.</b> Elemanın güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 0.75(553.7) = 415.3 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 553.7 / 2.0 = 276.9 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{405.7}{415.3} = 0.98 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{243.3}{276.9} = 0.88 \leq 1.0 \checkmark$
Tasarımın gerekli etriye aralığı belirlenerek tamamlanması istendiğinde, gerekli etriye aralığı, $s_{\text{gerekli}}$ , aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.	
$s_{\text{gerekli}} = \frac{\phi_v A_{sw} f_{ywk} d}{V_u - \phi_v V_c}$ $s_{\text{gerekli}} = \frac{0.75(226)(420)(535)}{405.7 \times 10^3 - 0.75(350.6 \times 10^3)}$ $s_{\text{gerekli}} = 277 \text{ mm}$ $s = 250 \text{ mm} < 277 \text{ mm}$	$s_{\text{gerekli}} = \frac{A_{sw} f_{ywk} d / \Omega_v}{V_a - V_c / \Omega_v}$ $s_{\text{gerekli}} = \frac{(226)(420)(535) / 2.0}{243.3 \times 10^3 - (350.6 \times 10^3) / 2.0}$ $s_{\text{gerekli}} = 373 \text{ mm}$ $s = 300 \text{ mm} < 373 \text{ mm}$

#### Minimum kesme donatısı kontrolü

YDKT	GKT
Kontrol, TS 500 Denk.(8.6), betonun karakteristik aksenal çekme gerilmesi ve gövde donatısının karakteristik akma gerilmesine bağlı olmak üzere aşağıdaki şekilde yapılabilir.	
$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0.25 \frac{f_{ctk}}{f_{ywk}} b_w$ $\frac{226}{250} \geq 0.25 \frac{2.1}{420} 600$ $0.904 \geq 0.75 \checkmark$	$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0.25 \frac{f_{ctk}}{f_{ywk}} b_w$ $\frac{226}{300} \geq 0.25 \frac{2.1}{420} 600$ $0.75 \leq 0.75 \checkmark$

#### Kesme kuvveti üst sınırının kontrolü

YDKT	GKT
Kontrol, TS 500 Denk.(8.7), betonun karakteristik basınç gerilmesine bağlı olmak üzere aşağıdaki şekilde yapılabilir.	
$V_u \leq \phi_v 0.22 f_{ck} b_w d$ $405.7 \text{ kN} \leq (0.75) 0.22 (35) (600) (535) 10^{-3}$ $405.7 \text{ kN} \leq 1853.8 \text{ kN} \checkmark$	$V_u \leq 0.22 f_{ck} b_w d / \Omega_v$ $243.3 \text{ kN} \leq 0.22 (35) (600) (535) 10^{-3} / 2.0$ $243.3 \text{ kN} \leq 1235.9 \text{ kN} \checkmark$

Yukarıdaki dayanım kontrollerine ilave olarak, yük aktarımı ile ilgili kontroller de *Yönetmelik* 12.7 esasları çerçevesinde Örnek 12.4 te olduğu gibi yapılmalıdır.

## **KAYNAK YAYINLAR**

- ACI 318-11                    *Building Code Requirements for Structural Concrete*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA.
- AISC Design Guide 3 *Serviceability Design Considerations for Steel Buildings*, 2003, AISC, Chicago.
- Murray, T.M., Allen, D.E. and Ungar, E.E., *Floor Vibrations due to Human Activity*, Steel Design Guide Series 11, 2003, AISC, Chicago.
- Park, R., and Gamble, W.L., *Reinforced Concrete Slabs*, 2000, John Wiley&Sons, New York.
- Young, W.C., and Budynas, R.C., *Roark's Formulas for Stress and Strain*, 2002, McGraw-Hill, New York, NY.
- Vatansever C., Durgun Y., Aksoylu M. G. ve Darılmaz K. *İnşaat Mühendisleri için MATLAB Kullanımına Giriş*, Birsen Yayınevi, 2016, İstanbul.



## BÖLÜM 13 BİRLEŞİMLER VE BİRLEŞİM ARAÇLARI

Birleşim araçları ve elemanları ile birleşim bölgeleri dikkate alınarak, birleşen elemanların tasarımı *Yönetmelik* Bölüm 13 te belirtilen kurallara göre yapılacaktır.

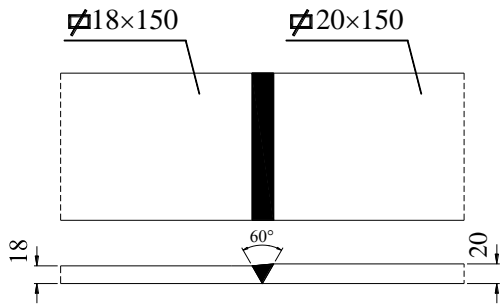
### Örnek 13.1

Aşağıdaki şekilde detayı verilen Levha 18×150 ve Levha 20×150 enkesitli elemanların küt kaynaklı ek birleşimi sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 100\text{kN}$  ve  $P_Q = 250\text{kN}$  aksenal çekme kuvveti etkisindedir. Kaynak uygulamasında, kaynağın başlatıldığı ve sonlandırıldığı yardımcı levhalar (başlangıç ve bitiş levhaları) kullanılmıştır. Ek teşkilinde

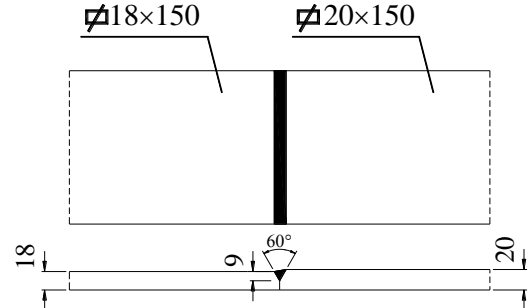
a. tam penetrasyonlu küt kaynak kullanılması veya

b. kaynak ağzı şekli V-60° ve derinliği 9mm olan kısmi penetrasyonlu küt kaynak kullanılması durumunda

birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi ve tasarım (YDKT) ve güvenli (GKT) dayanımlarının kontrolü.



a. Tam penetrasyonlu küt kaynak uygulaması



b. Kısmi penetrasyonlu küt kaynak uygulaması

### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

### Enkesit

Levha 18×150

$$t = 18.0 \text{ mm} \quad b = 150 \text{ mm}$$

Levha 20×150

$$t = 20.0 \text{ mm} \quad b = 150 \text{ mm}$$

### Kaynaklar

$$\text{Yönetmelik 13.2.6 uyarınca, } F_E = 480 \text{ N/mm}^2 \geq F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Çözüm

a. Tam penetrasyonlu küt kaynak kullanılması durumunda

Tam penetrasyonlu küt kaynağın etkin kalınlığı,  $a$  (*Yönetmelik* 13.2.1.1)

$$a = 18 \text{ mm}$$

Tam penetrasyonlu küt kaynaklı birleşimin karakteristik dayanımı,  $R_{nw}$

(Yönetmelik Tablo 13.5 Kaynak eksenine dik çekme)

Esas metal dayanımı belirleyicidir. Yönetmelik 13.4.1 uyarınca,

$$R_n = F_y A_g \quad (13.15)$$

$$R_n = (275)(18 \times 150) 10^{-3} = 742.50 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(100) + 1.6(250) = 520 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 100 + 250 = 350 \text{ kN}$
Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü	Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü
$R_d = \phi R_n = 0.90(742.50) = 668.25 \text{ kN}$	$R_g = R_n / \Omega = 742.50 / 1.67 = 444.61 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{520}{668.50} = 0.78 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{350}{444.61} = 0.79 \leq 1.0 \checkmark$

**b.** Kısmi penetrasyonlu küt kaynak kullanılması durumunda

Kısmi penetrasyonlu küt kaynak işlemi (Yönetmelik Tablo 13.1)

Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı, V - 60° düz kaynak.

Kısmi penetrasyonlu küt kaynağın etkin kalınlığı,  $a$  (Yönetmelik Tablo 13.1)

$a = 9 \text{ mm}$  (Kaynak ağzı derinliği)

$19 \text{ mm} \geq t = 18 \text{ mm} > 13 \text{ mm}$        $a_{\min} = 6 \text{ mm} < a = 9 \text{ mm} \checkmark$  (Yönetmelik Tablo 13.3)

Kısmi penetrasyonlu küt kaynaklı birleşimin karakteristik dayanımı

Kaynak metali karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $R_{nw}$

(Yönetmelik Tablo 13.5 Kaynak eksenine dik çekme)

$$R_{nw} = F_{nw} A_{we} \quad (13.2)$$

$$F_{nw} = 0.60 F_E$$

$$F_{nw} = 0.60(480) = 288 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{we} = (9)(150) = 1350 \text{ mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik 13.2.1.1})$$

$$R_{nw} = (288)(1350) 10^{-3} = 388.80 \text{ kN}$$

Esas metal karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $R_{nBM}$

(Yönetmelik Tablo 13.5 Kaynak eksenine dik çekme)

$$R_{nBM} = F_{nBM} A_{BM} \quad F_{nBM} = F_u \quad A_{BM} = A_c \quad (13.1)$$

$$R_{nBM} = (430)(9 \times 150) 10^{-3} = 580.50 \text{ kN}$$

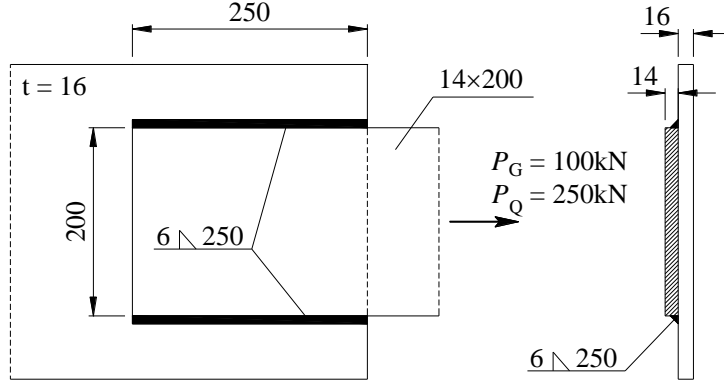
YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(100) + 1.6(250) = 520 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 100 + 250 = 350 \text{ kN}$
Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü	Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü
$R_d = \phi R_{nw} = 0.80(388.80) = 311.04 \text{ kN}$ $R_d = \phi R_{nBM} = 0.75(580.50) = 435.38 \text{ kN}$	$R_g = R_{nw} / \Omega = 388.80 / 1.88 = 206.81 \text{ kN}$ $R_g = R_{nBM} / \Omega = 580.50 / 2.00 = 290.25 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{520}{311.04} = 1.67 > 1.0 \times$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{350}{206.81} = 1.69 > 1.0 \times$



### Örnek 13.2

Aşağıdaki şekilde köşe kaynaklı uç birleşim detayı verilen Levha 14×200 enkesit boyutlarına sahip eleman, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 100\text{kN}$  ve  $P_Q = 250\text{kN}$  aksenal çekme kuvveti etkisindedir.

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi
- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

Levha 14×200

$t = 14.0 \text{ mm}$   $b = 200 \text{ mm}$

#### Kaynaklar

$F_E = 550 \text{ N/mm}^2 > F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik 2.4)

#### Çözüm

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 13.2.2 uyarınca, birleşen eleman kenarı ile birleşilen yüzey arasındaki  $90^\circ$  lik açının uygunluğu

$$60^\circ \leq 90^\circ \leq 120^\circ \checkmark$$

Köşe kaynağın etkin kalınlığı,  $a$  (13.2.2.2)

$$13 \text{ mm} < t = 14 \text{ mm} \leq 19 \text{ mm} \quad a_{\min} = 4 \text{ mm} < a = 6 \text{ mm} \checkmark \text{ (Yönetmelik Tablo 13.4)}$$

$$a_{\max} = 0.7(14.0 - 2.0) = 8.4 \text{ mm} > a = 6.0 \text{ mm} \checkmark$$

Köşe kaynağın etkin uzunluğu,  $L_e$  (Yönetmelik 13.2.2.2)

$$L = 250 - 2a = 250 - 2(6.0) = 238 \text{ mm} \text{ (Yönetmelik 13.2.2)}$$

$$L = 238 \text{ mm} \geq \text{Maks.}(6 \times 6.0 = 36 \text{ mm}; 40 \text{ mm}) = 40 \text{ mm} \checkmark$$

$$L = 238 \text{ mm} \geq b = 200 \text{ mm} \checkmark$$

$$L = 238 \text{ mm} \leq 150a = 150(6.0) = 900 \text{ mm} \text{ olduğundan } L_e = 238 \text{ mm}$$

Köşe kaynağın etkin alanı,  $A_{we}$  (Yönetmelik 13.2.2.1)

$$A_{we} = \Sigma aL_e$$

$$A_{we} = 2(6.0)(238) = 2856 \text{ mm}^2$$

Kaynak metali karakteristik dayanımı,  $R_{nw}$

(Yönetmelik Tablo 13.5 Kesme)

$$R_{nw} = F_{nw}a \text{ (Birim kaynak uzunluğu için)} \quad F_{nw} = 0.60F_E \quad a = 6.0 \text{ mm}$$

$$R_{nw} = F_{nw}A_{we} \text{ (Toplam kaynak alanı için)}$$

$$F_{nw} = 0.60(550) = 330 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{nw} = (330)(6.0)10^{-3} = 1.980 \text{ kN/mm}$$

$$R_{nw} = 2(1.980)(238) = 942.48 \text{ kN}$$

Esas metal karakteristik dayanımı,  $R_{nBM}$  (Yönetmelik 13.4.2)

Kayma etkisinde kırılma sınır durumu için

$$R_{nBM} = F_{nBM}t \quad F_{nBM} = 0.60F_u$$

$$R_{nBM} = 0.60(510)(14)10^{-3} = 4.284 \text{ kN/mm}$$

$$R_{nBM} = 2(4.284)(238) = 2039.18 \text{ kN}$$

Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesinde kaynak metali dayanımı belirleyicidir.

$$R_n = \text{Min.}(R_{nw}; R_{nBM}) = \text{Min.}(942.48; 2039.18)$$

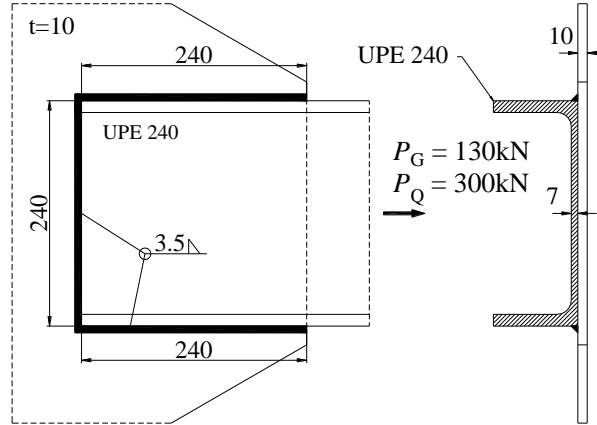
$$R_n = 942.48 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(100) + 1.6(250) = 520 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 100 + 250 = 350 \text{ kN}$
<b>b. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü</b>
$R_d = \phi R_n = 0.75(942.48) = 706.86 \text{ kN}$	$R_g = R_n / \Omega = 942.48 / 2.00 = 471.24 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{520}{706.86} = 0.74 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{350}{471.24} = 0.74 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 13.3

Aşağıdaki şekilde köşe kaynaklı uç birleşim detayı verilen UPE 240 enkesitli eleman, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 130\text{kN}$  ve  $P_Q = 300\text{kN}$  eksenel çekme kuvveti etkisindedir.

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi
- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Enkesit

UPE 240

$$d = 240 \text{ mm} \quad t_f = 12.5 \text{ mm} \quad t_w = 7.0 \text{ mm}$$

#### Kaynaklar

$$F_E = 550 \text{ N/mm}^2 > F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik 2.4})$$

#### Çözüm

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 13.2.2* uyarınca, birleşen eleman kenarı ile birleşilen yüzey arasındaki  $90^\circ$  lik açının uygunluğu

$$60^\circ \leq 90^\circ \leq 120^\circ \quad \checkmark$$

Köşe kaynağın etkin kalınlığı,  $a$  (*Yönetmelik 13.2.2.2*)

$$6 \text{ mm} < t = 7 \text{ mm} \leq 13 \text{ mm} \quad a_{\min} = 3.5 \text{ mm} < a = 3.5 \text{ mm} \quad \checkmark \quad (\text{Yönetmelik Tablo 13.4})$$

$$a_{\max} = 0.7(7.0 - 2.0) = 3.5 \text{ mm} \geq a = 3.5 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Köşe kaynağın etkin uzunluğu,  $L_e$  (*Yönetmelik 13.2.2.2*)

Kuvvete paralel köşe kaynaklar için

$$L = 240 - a = 240 - 3.5 = 236.5 \text{ mm} \quad (\text{Yönetmelik 13.2.2})$$

$$L = 236.5 \text{ mm} \geq \text{Maks.}(6 \times 3.5 = 21 \text{ mm}; 40 \text{ mm}) = 40 \text{ mm} \checkmark$$

$$L = 236.5 \text{ mm} \leq 150a = 150(3.5) = 525 \text{ mm} \text{ olduğundan } L_e = 236.5 \text{ mm}$$

Kaynak metali karakteristik dayanımı,  $R_{nw}$  (Yönetmelik 13.2.4(b))

Yönetmelik 13.2.4(b) uyarınca, üniform kalınlıklı kaynak grubunun karakteristik dayanımı, Denk.(13.5) ve Denk.(13.6) ile hesaplanan değerlerin büyüğüne eşit alınacaktır.

$$R_{nw} = R_{nwl} + R_{nwt} \quad (13.5)$$

$$R_{nw} = 0.85R_{nwl} + 1.5R_{nwt} \quad (13.6)$$

$$R_{nwl} = F_{nw} A_{we} = (0.60F_E)(2 \times 3.5 \times 236.5)10^{-3} = 546.32 \text{ kN}$$

$$R_{nwt} = F_{nw} A_{we} = (0.60F_E)(3.5 \times 240)10^{-3} = 277.20 \text{ kN}$$

$$R_{nw} = 546.32 + 277.20 = 823.52 \text{ kN} \quad (13.5)$$

$$R_{nw} = 0.85(546.32) + 1.5(277.20) = 880.17 \text{ kN} \quad (13.6)$$

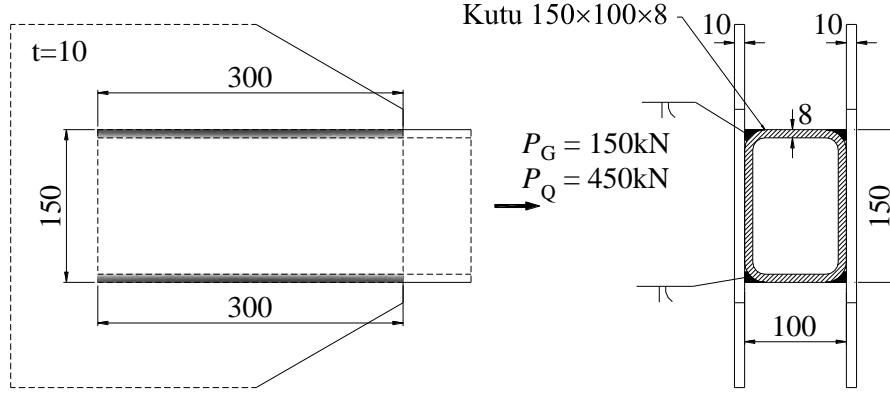
$$R_{nw} = 880.17 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(130) + 1.6(300) = 636 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 130 + 300 = 430 \text{ kN}$
<b>b. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü</b>
$R_d = \phi R_{nw} = 0.75(880.17) = 660.13 \text{ kN}$	$R_g = R_{nw} / \Omega = 880.17 / 2.00 = 440.09 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{636}{660.13} = 0.96 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{430}{440.09} = 0.98 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 13.4

Aşağıdaki şekilde verilen ve örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı işlemi uygulanarak teşkil edilen uç birleşim detayına sahip Kutu 150×100×8 enkesitli eleman, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 150\text{kN}$  ve  $P_Q = 450\text{kN}$  aksenal çekme kuvveti etkisindedir.

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi
- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1B)

### Enkesit

Kutu 150×100×8

$H = 150 \text{ mm}$   $B = 100 \text{ mm}$   $t = 8 \text{ mm}$

### Kaynak

Enkesitinin bir kenarı eğrisel küt kaynak (Yönetmelik 13.2.1.1, Şekil 13.2)

$F_E = 550 \text{ N/mm}^2 > F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik 2.4)

### Çözüm

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi

Enkesitinin bir kenarı eğrisel küt kaynağın etkin kalınlığı,  $a$  (Yönetmelik Tablo 13.2)

Kaynak işlemi örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı olup kaynak metali eğrisel yüzey hizasına kadar doldurulmaktadır.

$$a = \frac{5}{16}R \quad R = 2t \quad R = 2(8.0) = 16 \text{ mm} \quad (\text{Yönetmelik Tablo 13.2})$$

$$a = \frac{5}{16}(16) = 5.0 \text{ mm}$$

Enkesitinin bir kenarı eğrisel küt kaynağın etkin uzunluğu,  $L_e$  (Yönetmelik 13.2.2.2)

$$L = 300 - 2a = 300 - 2(5.0) = 290 \text{ mm} \quad (\text{Yönetmelik 13.2.2})$$

$$L = 290 \text{ mm} \geq \text{Maks.}(6 \times 6.0 = 36 \text{ mm}; 40 \text{ mm}) = 40 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$L = 290 \text{ mm} \geq b = 200 \text{ mm} \checkmark$$

$$L = 290 \text{ mm} \leq 150a = 150(6.0) = 900 \text{ mm} \text{ olduğundan } L_e = 290 \text{ mm}$$

Kaynak metali karakteristik dayanımı,  $R_{nw}$

(Yönetmelik Tablo 13.5 Kesme)

$$R_{nw} = F_{nw} A_{we} \quad (13.2)$$

$$F_{nw} = 0.60 F_E$$

$$F_{nw} = 0.60(550) = 330 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{we} = 4(5.0)(290) = 5800 \text{ mm}^2$$

$$R_{nw} = (330)(5800)10^{-3} = 1914.00 \text{ kN}$$

Esas metal karakteristik dayanımı,  $R_{nBM}$  (Yönetmelik 13.4.2)

Kayma etkisinde kırılma sınır durumu için

$$R_{nBM} = F_{nBM} t \quad F_{nBM} = 0.60 F_u$$

$$R_{nBM} = 0.60(430)(8.0)10^{-3} = 2.064 \text{ kN/mm}$$

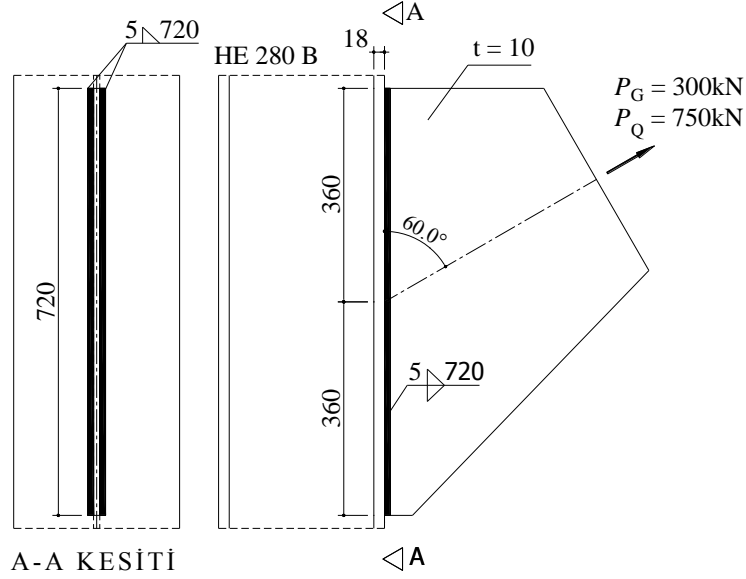
$$R_{nBM} = 4(2.064)(290) = 2394.24 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(150) + 1.6(450) = 900 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 150 + 450 = 600 \text{ kN}$
<b>b. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü</b>
$R_d = \phi R_{nw} = 0.80(1914.00) = 1531.20 \text{ kN}$ $R_d = \phi R_{nBM} = 0.75(2394.24) = 1795.68 \text{ kN}$	$R_g = R_{nw} / \Omega = 1914.00 / 1.88 = 1018.09 \text{ kN}$ $R_g = R_{nBM} / \Omega = 2394.24 / 2.00 = 1197.12 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{900}{1531.20} = 0.59 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{600}{1018.09} = 0.59 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 13.5

Aşağıdaki şekilde köşe kaynaklı birleşim detayı verilen düğüm noktası levhası, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 300\text{kN}$  ve  $P_Q = 750\text{kN}$  eksenel çekme kuvveti etkisindedir.

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi
- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

Levha 720×10

$d = 720 \text{ mm}$   $t = 8 \text{ mm}$

#### Kaynak

$F_E = 550 \text{ N/mm}^2 > F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik 2.4)

#### Çözüm

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi

Birleşen eleman kenarı ile birleşilen yüzey arasındaki  $90^\circ$  lik açının uygunluğu (Yönetmelik 13.2.2)

$$60^\circ \leq 90^\circ \leq 120^\circ \checkmark$$

Köşe kaynağın etkin kalınlığı,  $a$  (Yönetmelik 13.2.2.2)

$$6 \text{ mm} \leq t = 10 \text{ mm} < 13 \text{ mm} \quad a_{\min} = 3.5 \text{ mm} < a = 5 \text{ mm} \checkmark \text{ (Yönetmelik Tablo 13.4)}$$

Köşe kaynağın etkin uzunluğu,  $L_e$  (Yönetmelik 13.2.2.2)

$$L = 720 - 2a = 720 - 2(5.0) = 710 \text{ mm (Yönetmelik 13.2.2.2)}$$

$$L = 710 \text{ mm} \geq \text{Maks.}(6 \times 5.0 = 30 \text{ mm}; 40 \text{ mm}) = 40 \text{ mm} \checkmark$$

$$L = 710 \text{ mm} \leq 150a = 150(5.0) = 750 \text{ mm olduğundan } L_e = 710 \text{ mm}$$

Köşe kaynağın etkin alanı,  $A_{we}$  (Yönetmelik 13.2.2.1)

$$A_{we} = \Sigma a L_e$$

$$A_{we} = 2(5.0)(710) = 7100 \text{ mm}^2$$

Kaynak metali karakteristik dayanımı,  $R_{nw}$

(Yönetmelik Tablo 13.5 Kesme)

$$R_{nw} = F_{nw} A_{we} \quad a = 5.0 \text{ mm}$$

$$F_{nw} = 0.60 F_E (1.0 + 0.5 \sin^{1.5} \theta) \quad (13.4)$$

$$F_{nw} = 0.60(550)(1.0 + 0.5 \sin^{1.5} 60^\circ) = 462.98 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{nw} = (462.98)(5.0)10^{-3} = 2.315 \text{ kN/mm}$$

$$R_{nw} = 2(2.315)(710) = 3287.30 \text{ kN}$$

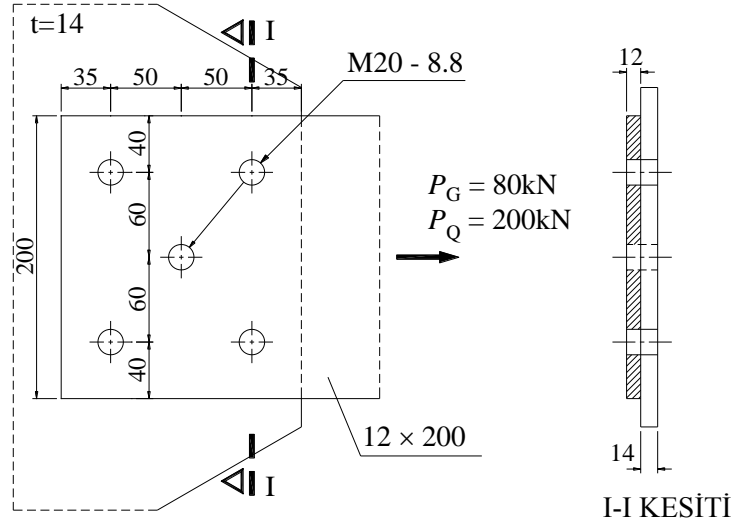
YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(300) + 1.6(750) = 1560 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 300 + 750 = 1050 \text{ kN}$
<b>b. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü</b>
$R_d = \phi R_{nw} = 0.75(3287.30) = 2465.48 \text{ kN}$	$R_g = R_{nw} / \Omega = 3287.30 / 2.00 = 1643.65 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{1560}{2465.48} = 0.63 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{1050}{1643.65} = 0.64 \leq 1.0 \checkmark$



### Örnek 13. 6

Aşağıdaki şekilde ezilme etkili bulonlu birleşim detayı verilen Levha 12×200 enkesit boyutlarına sahip çekme elemanı, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 80\text{kN}$  ve  $P_Q = 200\text{kN}$  eksenel çekme kuvveti etkisindedir.

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi
- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 235  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

Levha 12×200

$t = 12.0 \text{ mm}$   $b = 200 \text{ mm}$

#### Bulonlar (Yönetmelik Tablo 13.8)

M20 – 8.8 (Standart dairesel delik çapı kullanılacaktır ve diş açılmış bulon gövdesi bölümünün kayma düzlemi içinde olduğu varsayılacaktır)

#### Çözüm

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi

Bulon gövdesi için kesme kırılması sınır durumu (Yönetmelik 13.3.9)

Bulon malzemesinin karakteristik çekme dayanımı,  $F_{ub}$  (Yönetmelik Tablo 2.2)

$$F_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$$

Bulonun karakteristik kayma gerilmesi dayanımı,  $F_{nv}$  (Yönetmelik 13.3.4(a) ve Tablo 13.7)

$$F_{nv} = 0.45F_{ub} = 0.45(800) = 360.0 \text{ N/mm}^2$$

Bir bulonun karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $R_{nv}$

$$A_b = \frac{\pi(20)^2}{4} = 314.16 \text{ mm}^2$$

$$R_{nv} = F_{nv} n_{sp} A_b \quad (13.10b)$$

$$R_{nv} = (360)(1)(314.16)10^{-3} = 113.10 \text{ kN}$$

Bulon delik çevresi için ezilme sınır durumu (*Yönetmelik* 13.3.13)

Ezilme dayanımı için bulon delik çapı,  $d_h$  (*Yönetmelik* Tablo 13.8)

$$d_h = 20 + 2.0 = 22 \text{ mm}$$

Ezilme etkisi altındaki etkin kalınlık,  $t$

$$t = 12 \text{ mm} \quad (12 \text{ mm} < 14 \text{ mm})$$

Bir bulon deliğinin karakteristik ezilme kuvveti dayanımı,  $R_n$  (*Yönetmelik* Tablo 13.3.13)

Her bir kenar bulon deliği için

$$l_{c,1} = l_{e,1} - 0.5d_h = 35 - 0.5(22) = 24 \text{ mm}$$

$$R_n = 1.2l_c t F_u \leq 2.4dt F_u \quad (13.14a)$$

$$R_{ne,1} = 1.2l_{c,1} t F_u$$

$$R_{ne,1} = 1.2(24)(12)(360)10^{-3} = 124.42 \text{ kN}$$

$$R_{ne,1} = 124.42 \text{ kN} \leq 2.4(20)(12)(360)10^{-3} = 207.36 \text{ kN}$$

$$l_{c,2} = l_{e,2} - 0.5d_h = (35 + 50) - 0.5(22) = 74 \text{ mm}$$

$$R_{ne,2} = 1.2l_{c,2} t F_u$$

$$R_{ne,2} = 1.2(74)(12)(360)10^{-3} = 383.62 \text{ kN}$$

$$R_{ne,2} = 383.62 \text{ kN} > 2.4(20)(12)(360)10^{-3} = 207.36 \text{ kN}$$

$$R_{ne,2} = 207.36 \text{ kN}$$

Diğer her bir bulon deliği için

$$l_c = s - d_h = 100 - 22 = 78 \text{ mm}$$

$$R_{ni} = 1.2l_c t F_u$$

$$R_{ni} = 1.2(78)(12)(360)10^{-3} = 404.35 \text{ kN}$$

$$R_{ni} = 404.35 \text{ kN} > 2.4(20)(12)(360)10^{-3} = 207.36 \text{ kN}$$

$$R_{ni} = 207.36 \text{ kN}$$

*Yönetmelik* 13.3.9 uyarınca, ezilme etkili birleşimin bir bulonunun karakteristik dayanımı, kayma etkisinde bulon gövdesi kırılma sınır durumu için hesaplanan karakteristik kesme kuvveti dayanımı ile bulon deliği ezilme sınır durumu için hesaplanan karakteristik ezilme kuvveti dayanımlarının küçüğü olarak alınacaktır. Buna göre,

Kenar bulonlar ve kenar bulon delikleri için

$$R_{nb} = \min(R_{nv}; R_{ne,1}; R_{ne,2})$$

$$R_{nb} = \min(113.10 \text{ kN}; 124.42 \text{ kN}; 207.36 \text{ kN}) = 113.10 \text{ kN}$$

Diğer bulonlar ve bulon delikleri için

$$R_{nb} = \min(R_{nv}; R_{ni})$$

$$R_{nb} = \min(113.10 \text{ kN}; 207.36 \text{ kN}) = 113.10 \text{ kN}$$

Ezilme etkili birleşimin dayanımı,  $R_n$

Tüm bulonların karakteristik dayanımını kayma etkisinde bulon gövdesi kırılma sınır durumu belirlediğinden, toplam bulon sayısı,  $n = 5$  olmak üzere, birleşimin karakteristik dayanımı,

$$R_n = nR_{nb}$$

$$R_n = 5(113.10)$$

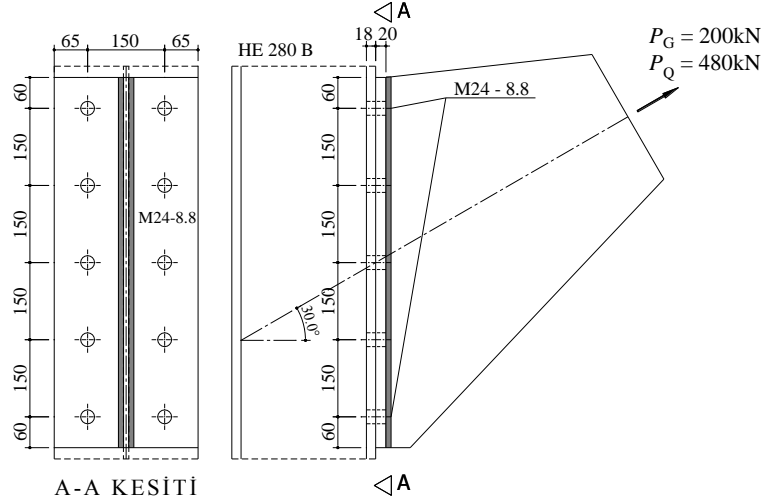
$$R_n = 565.50 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(80) + 1.6(200) = 416 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 80 + 200 = 280 \text{ kN}$
<b>b.</b> Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü
$R_d = \phi R_n = 0.75(565.50) = 424.12 \text{ kN}$	$R_g = R_n / \Omega = 565.50 / 2.0 = 282.75 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{416}{424.12} = 0.98 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{280}{282.75} = 0.98 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 13. 7

Aşağıdaki şekilde detayı verilen ezilme etkili bulonlu birleşim, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 200\text{kN}$  ve  $P_Q = 480\text{kN}$  eğik merkezi kuvvetlerin etkisindedir. Kolon (HE 280 B) başlığına birleşen levhanın şekildeğiştirmesi nedeniyle meydana gelen bulon boyuna eksenine paralel ilave kaldırma kuvvetinin oluşmadığı varsayılacaktır.

- Bulon grubunun tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Bulon grubunun güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

$$S\ 235 \quad F_y = 235\ \text{N/mm}^2 \quad F_u = 360\ \text{N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Birleşen elemanların kalınlıkları

$$t_f = 18.0\ \text{mm} \quad t = 20.0\ \text{mm}$$

#### Bulonlar (Yönetmelik Tablo 13.8)

M24 – 8.8 (Standart dairesel delik çapı kullanılacaktır ve dış açılmış bulon gövdesi bölümünün kayma düzlemi içinde olduğu varsayılacaktır)

#### Çözüm

Eğik ve merkezi olarak etkileyen çekme kuvveti nedeniyle bulonlar, çekme ve kesme kuvvetinin ortak etkisi altındadır. Bu nedenle bulonlar, *Yönetmelik* 13.3.10 esas alınarak bu iki kuvvetin ortak etkisi altında değerlendirilmelidir.

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(200) + 1.6(480) = 1008\ \text{kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 200 + 480 = 680\ \text{kN}$
Merkezi olarak etkileyen gerekli çekme kuvvetinin yatay ( $H$ ) ve düşey ( $V$ ) bileşenleri	
$H_u = (1008)(\cos 30^\circ) = 872.95\ \text{kN}$ $V_u = (1008)(\sin 30^\circ) = 504.00\ \text{kN}$	$H_a = (680)(\cos 30^\circ) = 588.90\ \text{kN}$ $V_a = (680)(\sin 30^\circ) = 340.00\ \text{kN}$

Bir bulonun karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $R_{nv}$  (Yönetmelik 13.3.9)

$$A_b = \frac{\pi(24)^2}{4} = 452.39 \text{ mm}^2 \quad n = 5 \text{ (bulon sayısı)}$$

$$R_{nv} = F_{nv} n_{sp} A_b \quad (13.10b)$$

$$R_{nv} = (0.450 \times 800)(1)(452.39)10^{-3} = 162.86 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Bir bulona etkiyen kuvvetin yatay ( $H_1$ ) ve düşey ( $V_1$ ) bileşenleri	
$H_{u1} = 872.95/10 = 87.30 \text{ kN}$ $V_{u1} = 504.00/10 = 50.40 \text{ kN}$	$H_{a1} = 588.90/10 = 58.89 \text{ kN}$ $V_{a1} = 340.00/10 = 34.00 \text{ kN}$
Bir bulonun tasarım kesme kuvveti dayanımı (13.3.9)	Bir bulonun güvenli kesme kuvveti dayanımı (13.3.9)
$R_d = \phi R_{nv} = 0.75(162.86) = 122.15 \text{ kN}$	$R_g = R_{nv}/\Omega = 162.86/2.00 = 81.43 \text{ kN}$
Çekme ve kesme kuvveti bileşenlerinin etkileşimi	
$V_{u1}/R_d = 50.40/122.15 = 0.41 > 0.30$ olduğundan	$V_{a1}/R_g = 34.00/81.43 = 0.42 > 0.30$ olduğundan
Yönetmelik 13.3.10 esasları çerçevesinde çekme ve kesme kuvveti etkileşimi gözönüne alınmalıdır.	
$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt}$ $F_{nt} = 0.75(800) = 600 \text{ N/mm}^2$ (13.3.4) $F_{nv} = 0.45(800) = 360 \text{ N/mm}^2$ $f_{rv} = (50.40 \times 10^3)/452.39 = 111.41 \text{ N/mm}^2$ $f_{rv} \leq 0.75(360) = 270 \text{ N/mm}^2$ ✓	$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{\Omega F_{nt}}{F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt}$ $F_{nt} = 0.75(800) = 600 \text{ N/mm}^2$ (13.3.4) $F_{nv} = 0.45(800) = 360 \text{ N/mm}^2$ $f_{rv} = (34.00 \times 10^3)/452.39 = 75.16 \text{ N/mm}^2$ $f_{rv} \leq 360/2.00 = 180 \text{ N/mm}^2$ ✓
$F'_{nt} = 1.3(600) - \frac{(600)}{0.75(360)}(111.41)$ $F'_{nt} = 532.42 \text{ N/mm}^2 \leq 600 \text{ N/mm}^2$	$F'_{nt} = 1.3(600) - \frac{2.00(600)}{(360)}(75.16)$ $F'_{nt} = 529.47 \text{ N/mm}^2 \leq 600 \text{ N/mm}^2$

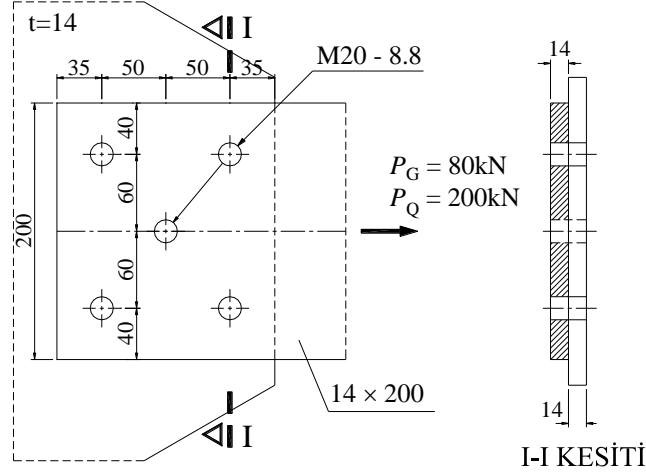
YDKT	GKT
Bulon grubunun karakteristik çekme kuvveti dayanımı, $R_n$	
$R_n = nF'_{nt}A_b$ $R_n = (10)(532.42)(452.39)10^{-3}$ $R_n = 2408.61 \text{ kN}$	$R_n = nF'_{nt}A_b$ $R_n = (10)(529.47)(452.39)10^{-3}$ $R_n = 2395.27 \text{ kN}$
<b>a.</b> Bulon grubunun tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Bulon grubunun güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü
$R_d = \phi R_n = 0.75(2408.61) = 1806.46 \text{ kN}$	$R_g = R_n / \Omega = 2395.27 / 2.00 = 1197.64 \text{ kN}$
$\frac{H_u}{R_d} = \frac{872.95}{1806.46} = 0.48 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{H_a}{R_g} = \frac{588.90}{1197.64} = 0.49 \leq 1.0 \checkmark$

Birleşen parçaların ezilme dayanımı kontrolü sadece kesme kuvveti (düşey bileşen) dikkate alınarak Örnek 13.6 da açıklandığı şekilde yapılabilir.

### Örnek 13. 8

Aşağıdaki şekilde sürtünme etkili bulonlu birleşim detayı verilen Levha 14×200 enkesit boyutlarına sahip çekme elemanı, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 80\text{kN}$  ve  $P_Q = 200\text{kN}$  aksel çekme kuvveti etkisindedir. Besleme levhası kullanılmayacaktır.

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi
- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 235  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

Levha 14×200

$t = 14.0 \text{ mm}$   $b = 200 \text{ mm}$

#### Bulonlar (Yönetmelik Tablo 13.8)

M20 – 8.8 (Standart dairesel delik çapı kullanılacaktır ve dış açılmış bulon gövdesi bölümünün kayma düzlemi içinde olduğu varsayılacaktır)

#### Sürtünme katsayısı

B sürtünme yüzeyi sınıfı (Yönetmelik Tablo 13.11)

$\mu = 0.40$

#### Minimum önçekme kuvveti

$T_b = 137 \text{ kN}$  (Yönetmelik Tablo 13.6)

#### Çözüm

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi

Bir bulon için sürtünme etkili karakteristik kayma kuvveti dayanımı,  $R_n$  (Yönetmelik 13.3.11)

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s \quad (13.12)$$

$$D_u = 1.0$$

$$h_f = 1.0 \text{ (Besleme levhası kullanılmadığı durum, Yönetmelik 13.3.11(a))}$$

$$R_n = (0.40)(1.0)(1.0)(137)(1)$$

$$R_n = 54.80 \text{ kN}$$

Bulon grubunun karakteristik kayma kuvveti dayanımı,  $R_n$

$$R_n = (5)(54.80) = 274.0 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(80) + 1.6(200) = 416 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 80 + 200 = 280 \text{ kN}$
<b>a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü</b>
$R_d = \phi R_n = 1.00(274.0) = 274.00 \text{ kN}$	$R_g = R_n / \Omega = 274.00 / 1.50 = 182.67 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{416}{274.00} = 1.52 > 1.0 \times$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{280}{182.67} = 1.53 > 1.0 \times$

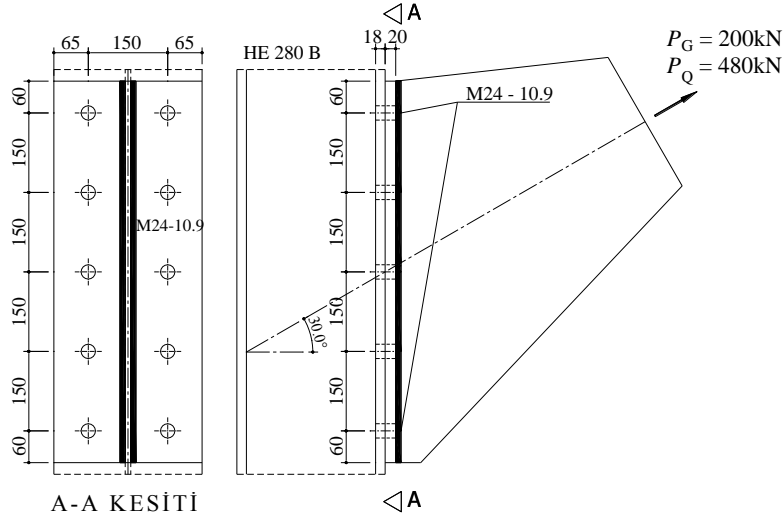
*Yönetmelik 13.3.13* uyarınca, bulon gövdesinin kesme kırılması ile bulon deliği çevresinin ezilme sınır durumları da Örnek 13.6 da açıklandığı şekilde ayrıca dikkate alınarak değerlendirilmelidir.



### Örnek 13.9

Aşağıdaki şekilde detayı verilen sürtünme etkili bulonlu birleşim, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 200\text{kN}$  ve  $P_Q = 450\text{kN}$  eğik merkezi kuvvetlerin etkisindedir. Birleşen elemanların, yük aktarımını güvenli bir şekilde sağladığı varsayılacaktır. Kolon (HE 280 B) başlığına birleşen levhanın şekildeğiştirmesi nedeniyle meydana gelen bulon boyuna eksenine paralel ilave kaldırma kuvvetinin oluşmadığı varsayılacaktır.

- Birleşimin karakteristik kayma dayanımının belirlenmesi
- Birleşimin tasarım kayma dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli kayma dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

#### Birleşen elemanların kalınlıkları

$$t_f = 18.0 \text{ mm} \quad t = 20.0 \text{ mm}$$

#### Bulonlar (Yönetmelik Tablo 13.8)

M24 – 10.9 (Standart dairesel delik çapı kullanılacaktır ve dış açılmış bulon gövdesi bölümünün kayma düzlemi içinde olduğu varsayılacaktır)

#### Sürtünme katsayısı

$$B \text{ sürtünme yüzeyi sınıfı} \quad (\text{Yönetmelik Tablo 13.11})$$

$$\mu = 0.40$$

#### Minimum öçekme kuvveti

$$T_b = 247 \text{ kN} \quad (\text{Yönetmelik Tablo 13.6})$$

#### Çözüm

Eğik ve merkezi olarak etkiyen çekme kuvveti nedeniyle bulonlar, çekme ve kesme kuvvetinin ortak etkisi altındadır. Bu nedenle bulonlar, *Yönetmelik* 13.3.12 esas alınarak bu iki kuvvetin ortak etkisi altında değerlendirilmelidir.

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(200) + 1.6(450) = 960 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 200 + 450 = 650 \text{ kN}$
Merkezi olarak etkiyen gerekli çekme kuvvetinin yatay ( $H$ ) ve düşey ( $V$ ) bileşenleri	
$H_u = (960)(\cos 30^\circ) = 831.38 \text{ kN}$ $V_u = (960)(\sin 30^\circ) = 480.00 \text{ kN}$	$H_a = (650)(\cos 30^\circ) = 562.92 \text{ kN}$ $V_a = (650)(\sin 30^\circ) = 325.00 \text{ kN}$

Bir bulon için sürtünme etkili karakteristik kayma kuvveti dayanımı,  $R_n$  (*Yönetmelik* 13.3.11)

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s \quad (13.12)$$

$$D_u = 1.0$$

$$h_f = 1.0 \text{ (Besleme levhası kullanılmadığı durum, } \textit{Yönetmelik} \text{ 13.3.11(a))}$$

$$R_n = (0.40)(1.0)(1.0)(247)(1)$$

$$R_n = R_{nv} = 98.80 \text{ kN}$$

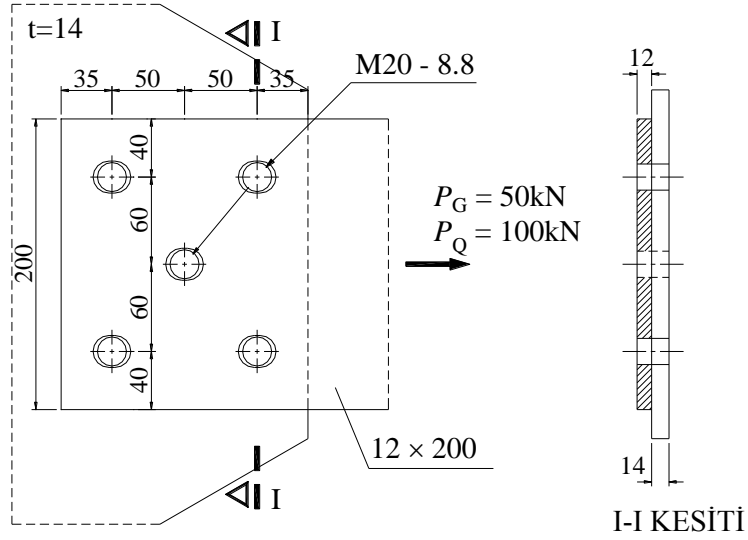
YDKT	GKT
<b>a.</b> Birleşimin karakteristik kayma dayanımının belirlenmesi	
$k_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} \quad (13.13)$ $k_{sc} = 1 - \frac{(831.38)}{(1.0)(247)(10)} = 0.663$ $R_{nv} k_{sc} n = 1.00(98.80)(0.663)(10)$ $= 655.04 \text{ kN}$	$k_{sc} = 1 - \frac{1.5T_a}{D_u T_b n_b} \quad (13.13)$ $k_{sc} = 1 - \frac{1.5(562.92)}{(1.0)(247)(10)} = 0.658$ $R_{nv} k_{sc} n = 1.00(98.80)(0.658)(10)$ $= 650.10 \text{ kN}$
<b>b.</b> Birleşimin tasarım kayma dayanımının kontrolü ( <i>Yönetmelik</i> 13.3.11)	<b>c.</b> Birleşimin güvenli kayma dayanımının kontrolü ( <i>Yönetmelik</i> 13.3.11)
$R_d = \phi R_{nv} k_{sc} n = 1.00(655.04)$ $R_d = 655.04 \text{ kN}$ $\frac{V_u}{R_d} = \frac{480.00}{655.04} = 0.73 \leq 1.0 \checkmark$	$R_g = \frac{R_{nv} k_{sc} n}{\Omega} = \frac{650.10}{1.50}$ $R_g = 433.40 \text{ kN}$ $\frac{V_a}{R_g} = \frac{325.00}{433.40} = 0.75 \leq 1.0 \checkmark$

*Yönetmelik* 13.3.13 uyarınca, bulon gövdesinin kesme kırılması ile bulon deliği çevresinin ezilme sınır durumları da Örnek 13.6 da açıklandığı şekilde ayrıca dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

### Örnek 13. 10

Aşağıdaki şekilde, kısa oval deliklerin kullanıldığı sürtünme etkili bulonlu birleşim detayı verilen Levha 12×200 enkesit boyutlarına sahip çekme elemanı, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 50\text{kN}$  ve  $P_Q = 100\text{kN}$  aksenal çekme kuvveti etkisindedir. Besleme levhası kullanılmayacaktır.

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi
- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 235  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

Levha 12×200

$t = 12.0 \text{ mm}$   $b = 200 \text{ mm}$

#### Bulonlar (Tablo 13.8)

M20 – 8.8 (Kısa oval delik kullanılacaktır ve dış açılmış bulon gövdesi bölümünün kayma düzlemi içinde olduğu varsayılacaktır)

#### Sürtünme katsayısı

B sürtünme yüzeyi sınıfı (Yönetmelik Tablo 13.11)

$\mu = 0.40$

#### Minimum önçekme kuvveti

$T_b = 137 \text{ kN}$  (Yönetmelik Tablo 13.6)

#### Çözüm

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi

Bir bulon için sürtünme etkili karakteristik kayma kuvveti dayanımı,  $R_n$  (Yönetmelik 13.3.11)

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s \quad (13.12)$$

$$D_u = 1.0$$

$h_f = 1.0$  (Besleme levhası kullanılmadığı durum,

$$R_n = (0.40)(1.0)(1.0)(137)(1)$$

$$R_n = 54.80 \text{ kN}$$

Bulon grubunun karakteristik kayma kuvveti dayanımı,  $R_n$

$$R_n = (5)(54.80) = 274.0 \text{ kN}$$

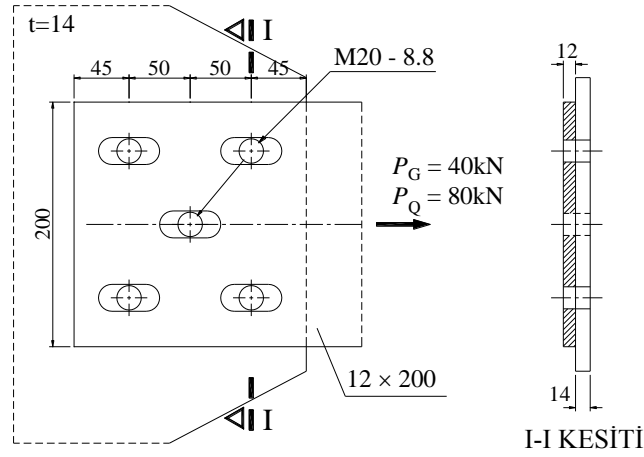
YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(50) + 1.6(100) = 220 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 50 + 100 = 150 \text{ kN}$
<b>a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü</b>
$R_d = \phi R_n = 0.85(274.0) = 232.90 \text{ kN}$	$R_g = R_n / \Omega = 274.00 / 1.76 = 155.68 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{220}{232.90} = 0.94 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{150}{155.68} = 0.96 \leq 1.0 \checkmark$

Yönetmelik 13.3.13 uyarınca, bulon gövdesinin kesme kırılması ile bulon deliği çevresinin ezilme sınır durumları da Örnek 13.6 da açıklandığı şekilde ayrıca dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

### Örnek 13. 11

Aşağıdaki şekilde, uzun oval deliklerin kullanıldığı sürtünme etkili bulonlu birleşim detayı verilen Levha 12×200 enkesit boyutlarına sahip çekme elemanı, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 40\text{kN}$  ve  $P_Q = 80\text{kN}$  eksenel çekme kuvveti etkisindedir. Besleme levhası kullanılmayacaktır.

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi
- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 235  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

Levha 12×200

$t = 12.0 \text{ mm}$   $b = 200 \text{ mm}$

#### Bulonlar (Yönetmelik Tablo 13.8)

M20 – 8.8 (Uzun oval delik kullanılacaktır ve diş açılmış bulon gövdesi bölümünün kayma düzlemi içinde olduğu varsayılacaktır)

#### Sürtünme katsayısı

B sürtünme yüzeyi sınıfı (Yönetmelik Tablo 13.11)

$\mu = 0.40$

#### Minimum önçekme kuvveti

$T_b = 137 \text{ kN}$  (Yönetmelik Tablo 13.6)

#### Çözüm

- Birleşimin karakteristik dayanımının belirlenmesi

Bir bulon için sürtünme etkili karakteristik kayma kuvveti dayanımı,  $R_n$  (Yönetmelik 13.3.11)

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s \quad (13.12)$$

$$D_u = 1.0$$

$h_f = 1.0$  (Besleme levhası kullanılmadığı durum,

$$R_n = (0.40)(1.0)(1.0)(137)(1)$$

$$R_n = 54.80 \text{ kN}$$

Bulon grubunun karakteristik kayma kuvveti dayanımı,  $R_n$

$$R_n = (5)(54.80) = 274.0 \text{ kN}$$

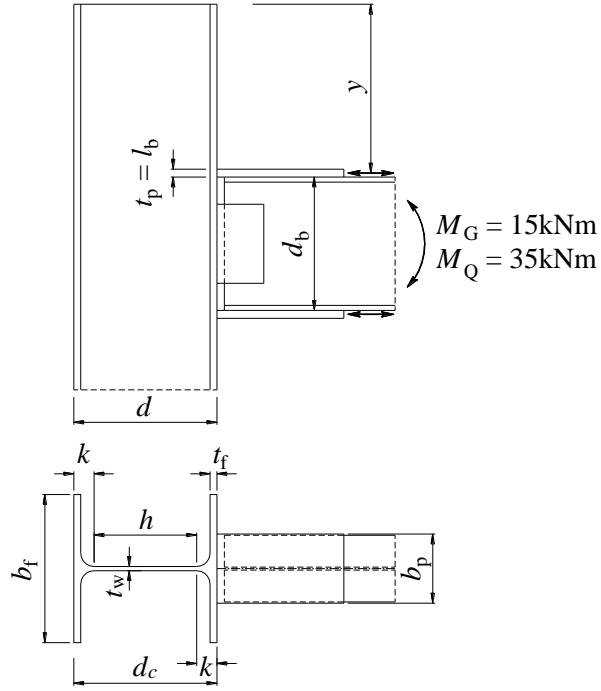
YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(40) + 1.6(80) = 176 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 40 + 80 = 120 \text{ kN}$
<b>a.</b> Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü
$R_d = \phi R_n = 0.70(274.0) = 191.80 \text{ kN}$	$R_g = R_n / \Omega = 274.00 / 2.14 = 128.04 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{176}{191.80} = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{120}{128.04} = 0.94 \leq 1.0 \checkmark$

*Yönetmelik* 13.3.13 uyarınca, bulon gövdesinin kesme kırılması ile bulon deliği çevresinin ezilme sınır durumları da Örnek 13.6 da açıklandığı şekilde ayrıca dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

### Örnek 13. 12

Aşağıdaki şekilde verilen moment aktaran tipik kiriş-kolon birleşimi, sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla,  $M_G = 15\text{kNm}$  ve  $M_Q = 35\text{kNm}$  eğilme momenti etkisindedir. Eğilme momentinin çekme kuvveti bileşeni etkisindeki kolon başlığı bölümünde yerel eğilme sınır durumunu esas alarak kolon başlığının

- karakteristik dayanımının belirlenmesi
- tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

Kolon (HE 300 A)

$d_c = 290 \text{ mm}$   $b_f = 300 \text{ mm}$   $h = 208 \text{ mm}$   $t_f = 14 \text{ mm}$

$t_w = 8.5 \text{ mm}$   $k = (d - h) / 2 = 41 \text{ mm}$   $y = 340 \text{ mm}$

Kiriş (IPE 270)

$d_b = 270 \text{ mm}$

Başlık levhası (Levha 16×140)

$t_p = l_b = 16.0 \text{ mm}$   $b_p = 140 \text{ mm}$

## Çözüm

a. Kolon başlığının karakteristik dayanımının belirlenmesi

Kolon başlığının karakteristik dayanımı,  $R_n$  (Yönetmelik 13.9.1)

$$y = 340 \text{ mm} > 10t_f = 10(14) = 140 \text{ mm}$$

$b_p = 140 \text{ mm} > 0.15b_f = 0.15(300) = 45 \text{ mm}$  olduğundan *Yönetmelik* Denk.(13.24) kontrol edilmelidir.

$$R_n = 6.25F_y t_f^2 \quad (13.24)$$

$$R_n = 6.25(275)(14)^2 10^{-3} = 336.88 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli dayanım	
$M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$ $= 1.2(15) + 1.6(35) = 74 \text{ kNm}$ $P_u = M_u / d_b = 74 / 0.270 = 274.07 \text{ kN}$	$M_a = M_G + M_Q$ $= 15 + 35 = 50 \text{ kNm}$ $P_a = M_a / d_b = 50 / 0.270 = 185.19 \text{ kN}$
<b>b.</b> Kolon başlığının tasarım dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kolon başlığının güvenli dayanımının kontrolü
$R_d = \phi R_n = 0.90(336.88) = 303.19 \text{ kN}$	$R_g = R_n / \Omega = 336.88 / 1.67 = 201.72 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{274.07}{303.19} = 0.90 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{185.19}{201.72} = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$



### Örnek 13.13

Örnek 13.12 de verilen moment aktaran tipik kiriş-kolon birleşimi, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $M_G = 15\text{kNm}$  ve  $M_Q = 35\text{kNm}$  eğilme momenti etkisindedir. Eğilme momentinin her iki kuvvet bileşeni (çekme ve basınç kuvvetleri) etkisindeki kolon başlığı bölümlerinde yerel akma sınır durumunu esas alarak kolon gövdesinin

- karakteristik dayanımının belirlenmesi
- tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- güvenli dayanımının kontrolü (GKT)

### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

Kolon (HE 300 A)

$d_c = 290 \text{ mm}$   $b_f = 300 \text{ mm}$   $h = 208 \text{ mm}$

$t_f = 14 \text{ mm}$   $t_w = 8.5 \text{ mm}$   $k = (d - h) / 2 = 41 \text{ mm}$

Kiriş (IPE 270)

$d_b = 270 \text{ mm}$

Başlık levhası (Levha 16×140)

$t_p = l_b = 16.0 \text{ mm}$   $b_p = 140 \text{ mm}$

### Çözüm

- Kolon gövdesinin karakteristik dayanımının belirlenmesi

Kolon gövdesinin karakteristik dayanımı,  $R_n$  (Yönetmelik 13.9.2)

$$y = 340 \text{ mm} > d_c = 290 \text{ mm} \text{ (13.9.2(a))}$$

$$R_n = F_{yw} t_w (5k + l_b) \quad (13.25a)$$

$$R_n = (275)(8.5)(5 \times 41 + 16)10^{-3} = 516.59 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli dayanım	
$M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$ $= 1.2(15) + 1.6(35) = 74 \text{ kNm}$ $P_u = M_u/d_b = 74/0.270 = 274.07 \text{ kN}$	$M_a = M_G + M_Q$ $= 15 + 35 = 50 \text{ kNm}$ $P_a = M_a/d_b = 50/0.270 = 185.19 \text{ kN}$
<b>b.</b> Kolon gövdesinin tasarım dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kolon gövdesinin güvenli dayanımının kontrolü
$R_d = \phi R_n = 1.00(516.59) = 516.59 \text{ kN}$	$R_g = R_n/\Omega = 516.59/1.50 = 344.39 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{274.07}{516.59} = 0.53 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{185.19}{344.39} = 0.54 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 13.14

Örnek 13.12 de verilen moment aktaran tipik kiriş-kolon birleşimi, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $M_G = 15\text{kNm}$  ve  $M_Q = 35\text{kNm}$  eğilme momenti etkisindedir. Eğilme momentinin basınç kuvveti bileşeni etkisindeki kolon başlığı bölümünde yerel buruşma sınır durumunu esas alarak kolon gövdesinin

- karakteristik dayanımının belirlenmesi
- tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- güvenli dayanımının kontrolü (GKT)

### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

Kolon (HE 300 A)

$d_c = 290 \text{ mm}$   $b_f = 300 \text{ mm}$   $h = 208 \text{ mm}$

$t_f = 14 \text{ mm}$   $t_w = 8.5 \text{ mm}$   $k = (d - h) / 2 = 41 \text{ mm}$

Kiriş (IPE 270)

$d_b = 270 \text{ mm}$

Başlık levhası (Levha  $16 \times 140$ )

$t_p = l_b = 16.0 \text{ mm}$   $b_p = 140 \text{ mm}$

### Çözüm

- Kolon gövdesinin karakteristik dayanımının belirlenmesi

Kolon gövdesinin karakteristik dayanımı,  $R_n$  (Yönetmelik 13.9.3)

$y = 340 \text{ mm} > d_c / 2 = 145 \text{ mm}$  (Yönetmelik 13.9.3(a))

$$R_n = 0.80 t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{l_b}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} Q_f \quad (13.26a)$$

$$R_n = 0.80 (8.5)^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{16}{290} \right) \left( \frac{8.5}{14} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{(200000)(275)(14)}{(8.5)}} (1.0) 10^{-3}$$

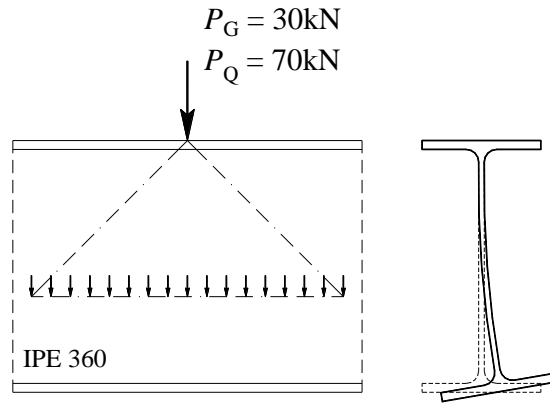
$$R_n = 593.20 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli dayanım	
$M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$ $= 1.2(15) + 1.6(35) = 74 \text{ kNm}$ $P_u = M_u/d_b = 74/0.270 = 274.07 \text{ kN}$	$M_a = M_G + M_Q$ $= 15 + 35 = 50 \text{ kNm}$ $P_a = M_a/d_b = 50/0.270 = 185.19 \text{ kN}$
<b>b.</b> Kolon gövdesinin tasarım dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kolon gövdesinin güvenli dayanımının kontrolü
$R_d = \phi R_n = 0.75(593.20) = 444.90 \text{ kN}$	$R_g = R_n/\Omega = 593.20/2.00 = 296.60 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{274.07}{444.90} = 0.62 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{185.19}{296.60} = 0.62 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 13.15

Aşağıdaki şekilde, yükleme detayı ve yanal ötelenerek burkulma durumu verilen 6.0m açıklıklı basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında açıklık ortasında bulunan, sırasıyla,  $P_G = 30\text{kN}$  ve  $P_Q = 70\text{kN}$  tekil kuvvetlerin etkisindedir. Kiriş üst başlığının, uçlarda ve kiriş ortasında dönmeye ve yanal ötelenmeye karşı desteklendiği, ayrıca kuvvetin etkime noktasında,  $M_u < M_y$  (YDKT) veya  $1.5M_a < M_y$  (GKT) koşulunun sağlandığı varsayılacaktır. Kiriş gövdesinin yanal ötelenerek burkulma sınır durumu esas alınarak kiriş gövdesinin

- karakteristik dayanımının belirlenmesi
- tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

Kiriş (IPE 360)

$d = 360 \text{ mm}$   $b_f = 170 \text{ mm}$   $h = 298.6 \text{ mm}$   $t_f = 12.7 \text{ mm}$   $t_w = 8.0 \text{ mm}$

### Çözüm

- Kiriş gövdesinin karakteristik dayanımının belirlenmesi

Basınç başlığının dönmemesinin önlendiği durum için (Yönetmelik 13.9.4(a))

$$\frac{h/t_w}{L_b/b_f} \leq 2.3 \quad (\text{Yönetmelik 13.9.4(a)(1)})$$

$$\frac{(298.6)/(8.0)}{(6000)/(170)} = 1.06 \leq 2.3 \checkmark \text{ olduğundan}$$

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2} \left[ 1 + 0.4 \left( \frac{h/t_w}{L_b/b_f} \right)^3 \right] \quad (13.27a)$$

$$C_r = 6.62 \times 10 \text{ MPa}$$

$$R_n = \frac{(6.62 \times 10^6)(8.0)^3(12.7)}{(298.6)^2} \left[ 1 + 0.4 \left( \frac{(298.6)/(8.0)}{(6000)/(170)} \right)^3 \right] 10^{-3}$$

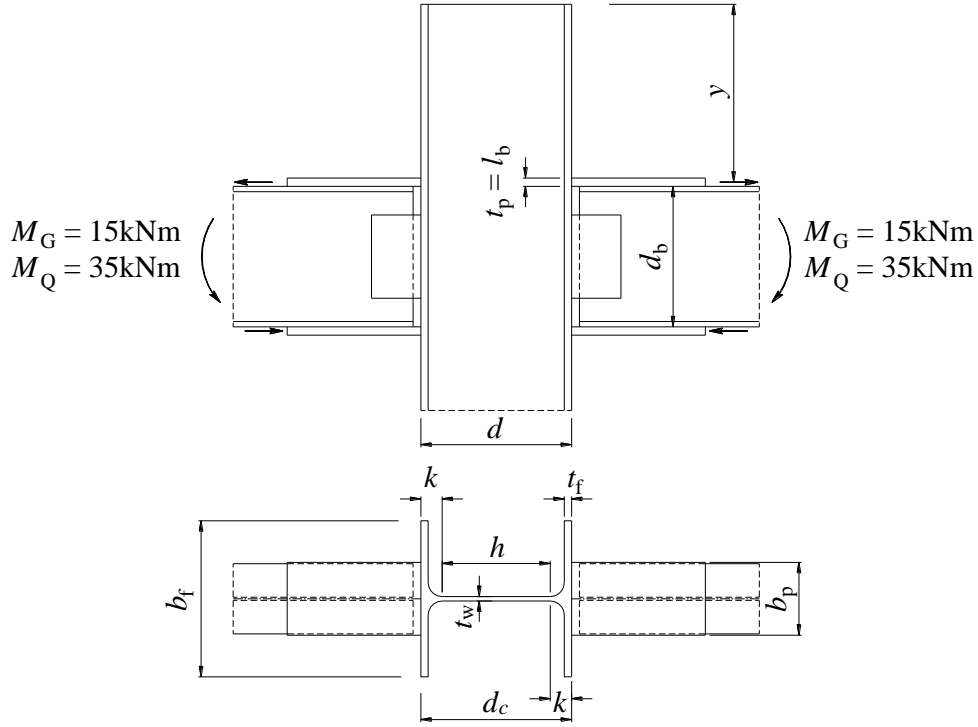
$$R_n = 711.19 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli dayanım	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(30) + 1.6(70) = 148 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 30 + 70 = 100 \text{ kN}$
<b>b.</b> Kiriş gövdesinin tasarım dayanımının kontrolü	<b>c.</b> Kiriş gövdesinin güvenli dayanımının kontrolü
$R_d = \phi R_n = 0.85(711.19) = 604.51 \text{ kN}$	$R_g = R_n / \Omega = 711.19 / 1.76 = 404.09 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{148}{604.51} = 0.24 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{100}{404.09} = 0.25 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 13.16

Aşağıdaki şekilde verilen moment aktaran tipik kiriş-kolon birleşimi, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $M_G = 15\text{kNm}$  ve  $M_Q = 35\text{kNm}$  eğilme momenti etkisindedir. Eğilme momentinin basınç kuvveti bileşeni etkisindeki kolon başlığı bölümünde yerel burkulma sınır durumunu esas alarak kolon gövdesinin

- karakteristik dayanımının belirlenmesi
- tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

Kolon (HE 300 A)

$d_c = 290 \text{ mm}$   $b_f = 300 \text{ mm}$   $h = 208 \text{ mm}$

$t_f = 14 \text{ mm}$   $t_w = 8.5 \text{ mm}$   $k = (d - h) / 2 = 41 \text{ mm}$

Kiriş (IPE 270)

$d_b = 270 \text{ mm}$

Başlık levhası (Levha 16×140)

$t_p = l_b = 16.0 \text{ mm}$

$b_p = 140 \text{ mm}$

## Çözüm

a. Kolon gövdesinin karakteristik dayanımının belirlenmesi

Kolon gövdesinin karakteristik dayanımı,  $R_n$  (Yönetmelik 13.9.5)

$$y = 340 \text{ mm} > d_c/2 = 145 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{24t_w^3 \sqrt{EF_{yw}}}{h} Q_f \quad (13.28)$$

$$R_n = \frac{24(8.5)^3 \sqrt{(200000)(275)}}{(208)} (1.0)10^{-3}$$

$$R_n = 525.52 \text{ kN}$$

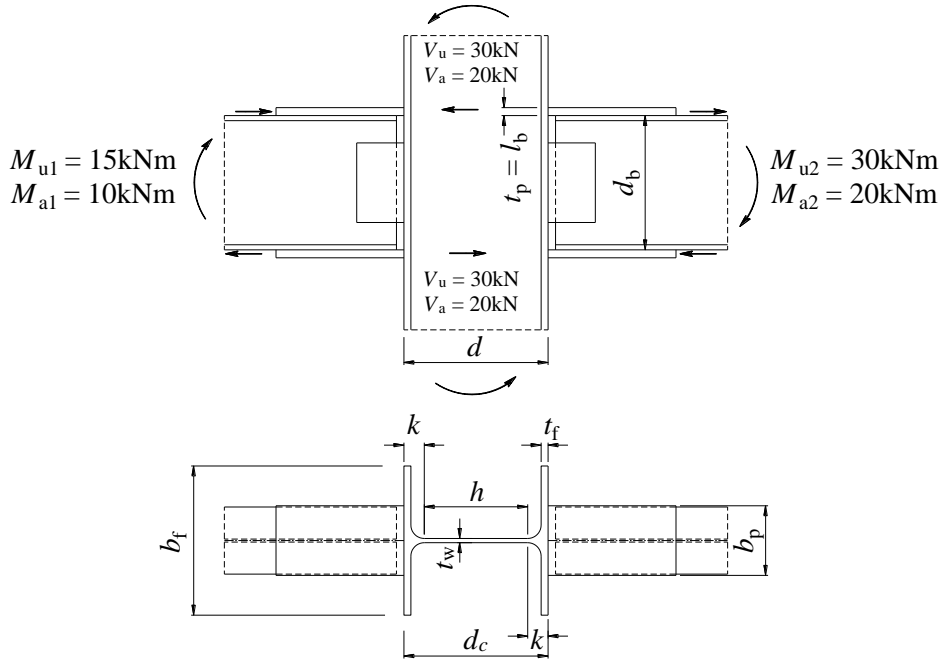
YDKT	GKT
Gerekli dayanım	
$M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$ $= 1.2(15) + 1.6(35) = 74 \text{ kNm}$ $P_u = M_u/d_b = 74/0.270 = 274.07 \text{ kN}$	$M_a = M_G + M_Q$ $= 15 + 35 = 50 \text{ kNm}$ $P_a = M_a/d_b = 50/0.270 = 185.19 \text{ kN}$
<b>b. Kolon gövdesinin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>c. Kolon gövdesinin güvenli dayanımının kontrolü</b>
$R_d = \phi R_n = 0.90(525.52) = 472.97 \text{ kN}$	$R_g = R_n/\Omega = 525.52/1.67 = 314.68 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{274.07}{472.97} = 0.58 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{185.19}{314.68} = 0.59 \leq 1.0 \checkmark$



### Örnek 13.17

Aşağıdaki şekilde verilen moment aktaran tipik kiriş-kolon birleşimi, kiriş uçlarındaki  $M_{u1} = 15\text{kNm}$ ,  $M_{u2} = 30\text{kNm}$  veya  $M_{a1} = 10\text{kNm}$ ,  $M_{a2} = 20\text{kNm}$  eğilme momentleri ile panel bölgesinin alt ve üst sınırlarındaki  $V_u = 30\text{kN}$  veya  $V_a = 20\text{kN}$  kolon kesme kuvvetleri etkisindedir. Kolon panel bölgesinde akma sınır durumunu esas alarak kolon gövdesinin

- karakteristik dayanımının belirlenmesi
- tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Enkesit

Kolon (HE 300 A)

$d_c = 290 \text{ mm}$   $b_f = 300 \text{ mm}$   $h = 208 \text{ mm}$   $t_f = 14 \text{ mm}$   $t_w = 8.5 \text{ mm}$

Kiriş (IPE 270)

$d_b = 270 \text{ mm}$

Başlık levhası (Levha 16×140)

$t_p = l_b = 16.0 \text{ mm}$   $b_p = 140 \text{ mm}$

## Çözüm

### a. Kolon gövdesinin karakteristik dayanımının belirlenmesi

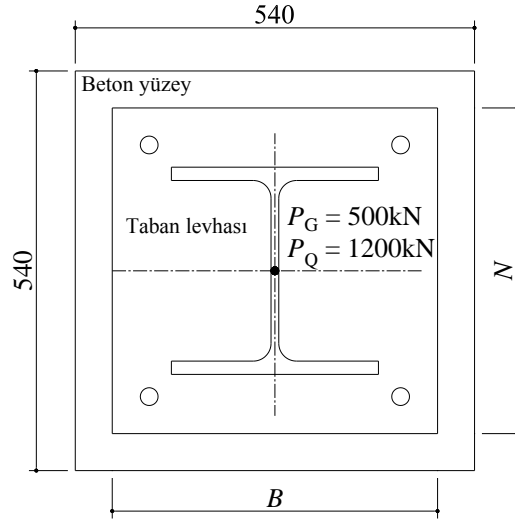
Panel bölgesinin plastik şekil değiştirme durumunun çerçeve stabilite analizine etkisinin gözönüne alınmadığı varsayılacaktır. (Yönetmelik 13.9.6(a))

YDKT	GKT
Gerekli dayanım	
$P_u = \frac{M_{u1} + M_{u2}}{d_b} - V_u$ $P_u = \frac{15 + 30}{0.270} - 30 = 136.67 \text{ kN}$	$P_a = \frac{M_{a1} + M_{a2}}{d_b} - V_a$ $P_a = \frac{10 + 20}{0.270} - 20 = 91.11 \text{ kN}$
Kolon gövdesinin karakteristik dayanımı, $R_n$ (Yönetmelik 13.9.6)	
$\alpha = 1.0$ $\alpha P_r \leq 0.4 P_y$ için	$\alpha = 1.6$ $\alpha P_r \leq 0.4 P_y$ için
$R_n = 0.60 F_y d_c t_w$ (13.29a)	
$R_n = 0.60(275)(290)(8.5)10^{-3} = 406.73 \text{ kN}$	
<b>b. Kolon gövdesinin tasarım dayanımının kontrolü (13.9.6)</b>	<b>c. Kolon gövdesinin güvenli dayanımının kontrolü (13.9.6)</b>
$R_d = \phi R_n = 0.90(406.73) = 366.06 \text{ kN}$	$R_g = R_n / \Omega = 406.73 / 1.67 = 243.55 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{R_d} = \frac{136.67}{366.06} = 0.37 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{R_g} = \frac{91.11}{243.55} = 0.37 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 13.18

Aşağıdaki şekilde verilen kolon taban levhasının beton elemana basit birleşimi, sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla,  $P_G = 500\text{kN}$  ve  $P_Q = 1200\text{kN}$  merkezi basınç kuvveti etkisindedir. Betonun ezilme sınır durumunu esas alarak

- taban levhasının plandaki boyutlarının belirlenmesi
- karakteristik ezilme dayanımının belirlenmesi
- tasarım ezilme dayanımının kontrolü (YDKT)
- güvenli ezilme dayanımının kontrolü (GKT)
- gerekli taban levhası kalınlığının belirlenmesi



#### Çelik sınıfı

S 275  $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

#### Beton sınıfı

C25  $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$  (TS 500)

#### Enkesit

Kolon (HE 280 B)

$d = 280 \text{ mm}$   $b_f = 280 \text{ mm}$   $t_f = 18 \text{ mm}$   $t_w = 10.5 \text{ mm}$

## Çözüm

### a. Taban levhasının plandaki boyutlarının belirlenmesi

YDKT	GKT
Gerekli dayanım	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(500) + 1.6(1200) = 2520 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 500 + 1200 = 1700 \text{ kN}$
$P_p = P_u \text{ alınarak}$ $A_{1,g} = \frac{P_u}{\phi 0.85 f_{ck}}$ $A_{1,g} = \frac{(2520)10^3}{(0.65)0.85(25)} = 182443.44 \text{ mm}^2$	$P_p = P_a \text{ alınarak}$ $A_{1,g} = \frac{\Omega P_a}{0.85 f_{ck}}$ $A_{1,g} = \frac{(2.31)(1700)10^3}{0.85(25)} = 184800 \text{ mm}^2$
<p>Ankraj çubuğu yerleşiminin yukarıdaki şekilde verildiği gibi yapılabilmesi için taban levhasının plandaki boyutları</p> $N \geq d + 2(80 \text{ mm})$ $B \geq b_f + 2(80 \text{ mm})$ <p>şeklinde hesaplanarak öngörülebilir.</p> $N \geq (280) + 2(80 \text{ mm}) = 440 \text{ mm}$ $B \geq (280) + 2(80 \text{ mm}) = 440 \text{ mm}$ $A_1 = BN = (440)(440) = 193600 \text{ mm}^2 \geq 184800 \text{ mm}^2 \checkmark$ <p>Yukarıdaki basit kolon ayağı detayına göre beton yüzey alanı taban levhası alanından büyüktür. Bu durumda beton yüzey alanı, <math>A_2</math>,</p> $A_2 = (540)(540) = 291600 \text{ mm}^2$	

### b. Betonun karakteristik ezilme dayanımının belirlenmesi

$$P_p = 0.85 f_{ck} A_1 \sqrt{A_2/A_1} \leq 1.7 f_{ck} A_1 \quad (13.23)$$

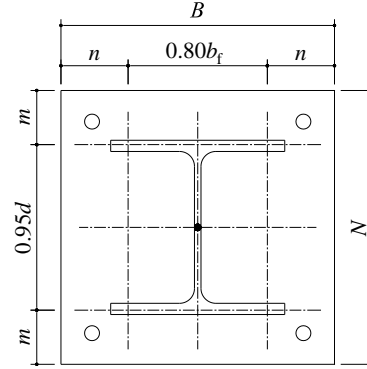
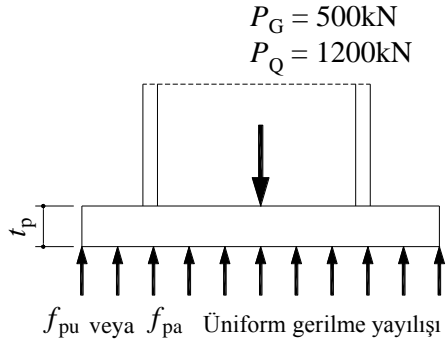
$$P_p = 0.85(25)(193600) \sqrt{(291600)/(193600)} 10^{-3}$$

$$P_p = 5049 \text{ kN} \leq 1.7(25)(193600) 10^{-3} = 8228 \text{ kN} \checkmark$$

YDKT	GKT
<b>c. Tasarım ezilme dayanımının kontrolü</b> (13.7)	<b>d. Güvenli ezilme dayanımının kontrolü</b> (13.7)
$P_{pd} = \phi P_p = 0.65(5049) = 3281.85 \text{ kN}$	$P_{pg} = P_p / \Omega = 5049 / 2.31 = 2185.71 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_{pd}} = \frac{2520}{3281.85} = 0.77 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_{pg}} = \frac{1700}{2185.71} = 0.78 \leq 1.0 \checkmark$

e. Gerekli taban levhası kalınlığının belirlenmesi

Gerekli taban levhası kalınlığının belirlenmesinde, taban levhası altında üniform bir gerilme yayılımı meydana geldiği varsayılacaktır. Bu gerilme yayılımı altında en elverişsiz eğilme momenti etkisindeki taban levhası enkesitlerine ait parametrelerin hesabı da aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



$$m = \frac{N - 0.95d}{2} = \frac{(440) - 0.95(280)}{2} = 87 \text{ mm}$$

$$n = \frac{B - 0.80b_f}{2} = \frac{(440) - 0.80(280)}{2} = 108 \text{ mm}$$

$$n' = \frac{\sqrt{db_f}}{4} = \frac{\sqrt{(280)(280)}}{4} = 70 \text{ mm}$$

YDKT	GKT
$X = \left( \frac{4db_f}{(d+b_f)^2} \right) \frac{P_u}{\phi P_p}$ $X = \left( \frac{4(280)(280)}{(280+280)^2} \right) \frac{(2520)}{0.65(5049)}$ $X = 0.768$ $\lambda = \frac{2\sqrt{X}}{1+\sqrt{1-X}} \leq 1.0$ $\lambda = \frac{2\sqrt{0.768}}{1+\sqrt{1-0.768}} = 1.18 \leq 1.0 \times$ $\lambda = 1.0$ <p><math>\lambda</math> değeri güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla doğrudan 1.0 değerine eşit olarak alınabilir.</p> $\lambda n' = (1.0)(70) = 70 \text{ mm}$ $l = \text{maks}(m, n, \lambda n')$ $l = \text{maks}(87 \text{ mm}, 108 \text{ mm}, 70 \text{ mm})$ $l = 108 \text{ mm}$ $f_{pu} = \frac{P_u}{BN}$ $f_{pu} = \frac{(2520)10^{-3}}{(440)(440)} = 13.017 \text{ N/mm}^2$ $t_{\min} = l \sqrt{\frac{2f_{pu}}{0.9F_y}}$ $t_{\min} = (108) \sqrt{\frac{2(13.017)}{0.9(275)}} = 35.03 \text{ mm}$	$X = \left( \frac{4db_f}{(d+b_f)^2} \right) \frac{\Omega P_a}{P_p}$ $X = \left( \frac{4(280)(280)}{(280+280)^2} \right) \frac{2.31(1700)}{(5049)}$ $X = 0.778$ $\lambda = \frac{2\sqrt{X}}{1+\sqrt{1-X}} \leq 1.0$ $\lambda = \frac{2\sqrt{0.778}}{1+\sqrt{1-0.778}} = 1.20 \leq 1.0 \times$ $\lambda = 1.0$ <p><math>\lambda</math> değeri güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla doğrudan 1.0 değerine eşit olarak alınabilir.</p> $\lambda n' = (1.0)(70) = 70 \text{ mm}$ $l = \text{maks}(m, n, \lambda n')$ $l = \text{maks}(87 \text{ mm}, 108 \text{ mm}, 70 \text{ mm})$ $l = 108 \text{ mm}$ $f_{pa} = \frac{P_a}{BN}$ $f_{pa} = \frac{(1700)10^{-3}}{(440)(440)} = 8.781 \text{ N/mm}^2$ $t_{\min} = l \sqrt{\frac{3.33f_{pa}}{F_y}}$ $t_{\min} = (108) \sqrt{\frac{3.33(8.781)}{(275)}} = 35.22 \text{ mm}$
$t_p = 40.0 \text{ mm} \text{ olarak alınabilir.}$	

## KAYNAK YAYINLAR

Design Guide 1

*Base Plate and Anchor Rod Design*, American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago, Illinois, USA.



## **BÖLÜM 14 BORU VE KUTU ENKESİTLİ ELEMANLARIN BİRLEŞİMLERİ**

Sıcak haddelenmiş veya soğuk şekil verilmiş boru ve kutu enkesitli profillerin ve üniform kalınlıklı enkesit parçalarından (levhalardan) oluşan yapma kutu enkesitli elemanların birleşimlerinin tasarımında *Yönetmelik* Bölüm 13 te verilen esaslara ek olarak Bölüm 14 te belirtilen kurallar da uygulanacaktır.

Bu bölümde verilen örneklerde, sadece *Yönetmelik* Bölüm 14 kapsamındaki kural ve koşulların uygulamaları gösterilmiştir. Tasarım, elemanlarda ve birleşimlerde olası diğer göçme sınır durumlarının kontrolleri de yapılarak tamamlanmalıdır.

### **Levhaların Boru ve Kutu Enkesitli Elemanlarla Birleşimi**

Levhaların boru enkesitli elemanlarla birleşimlerinde boru profilde yerel akma, plastikleşme ve zımbalama gibi göçme sınır durumları göz önüne alınmalıdır. Levhaların kutu enkesitli elemanlarla birleşiminde levhada yerel akma, kutu profil cidarında kayma etkisinde akma, kutu profil cidarında yerel akma, yerel buruşma, plastikleşme ve zımbalama gibi göçme sınır durumları göz önüne alınmalıdır.

Levha-boru enkesitli eleman birleşimlerinin mevcut dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.1.1 e göre belirlenecektir. Bu birleşimler için uygulama sınırları *Yönetmelik* Tablo 14.1.1A da verilmektedir.

Levha-kutu enkesitli eleman birleşimlerinin mevcut dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.1.2 ye göre tanımlanan göçme sınır durumları için hesaplanan değerlerin en küçüğü alınarak belirlenecektir. Bu birleşimler için uygulama sınırları *Yönetmelik* Tablo 14.1.2A da verilmektedir.

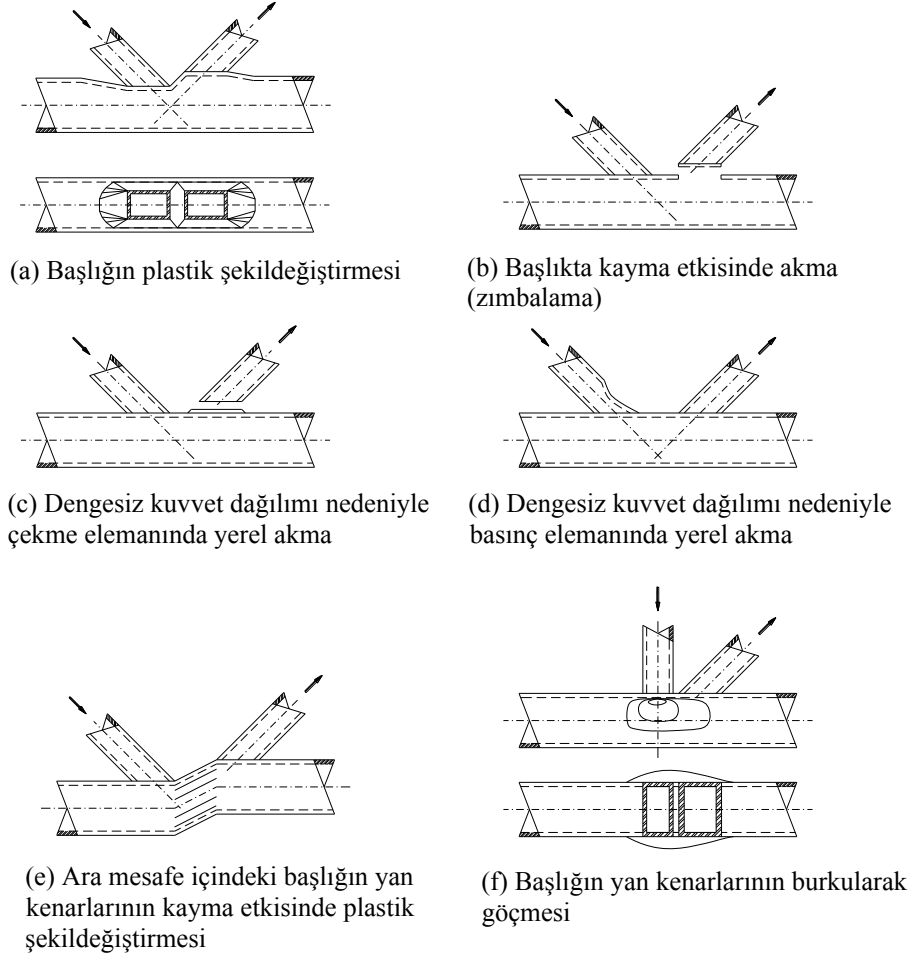
### **Boru ve Kutu Enkesitli Elemanlardan Oluşan Kafes Sistem Birleşimleri**

Eksenel kuvvet etkisinde olan boru veya kutu enkesitli örgü elemanlarının sürekli başlık elemanına doğrudan kaynaklandığı kafes sistem birleşimlerinde oluşabilen göçme durumları Şekil 14.1 de gösterilmektedir. Boru enkesitli elemanların kafes sistem birleşimlerinde kayma etkisinde akma, başlık elemanında plastikleşme gibi göçme sınır durumları gözönünde tutulmalıdır. Kutu enkesitli elemanların kafes sistem birleşimlerinde ise başlık elemanı cidarında plastikleşme, kayma etkisinde akma, başlık elemanı cidarında yerel akma, başlık elemanı cidarında yerel buruşma, eşit olmayan eksenel kuvvetler nedeniyle örgü elemanlarında yerel akma gibi göçme sınır durumları gözönüne alınmalıdır.

Boru profillerin birbirine doğrudan bağlandığı kafes sistemlerin kaynaklı düğüm noktalarında, birleşimlerin mevcut dayanımları, *Yönetmelik* Tablo 14.2.1 e göre tanımlanan göçme sınır durumları için hesaplanan değerlerin en küçüğü olarak alınacaktır. Bu birleşimler için uygulama sınırları *Yönetmelik* Tablo 14.2.1A da verilmektedir.

Kutu enkesitli elemanların birbirine doğrudan bağlandığı kafes sistemlerin kaynaklı düğüm noktalarında, birleşimlerin mevcut dayanımları, *Yönetmelik* Tablo 14.2.2 ye göre tanımlanan göçme sınır durumları için hesaplanan değerlerin en küçüğü olarak alınacaktır. Bu birleşimler için uygulama sınırları *Yönetmelik* Tablo 14.2.2A da verilmektedir.





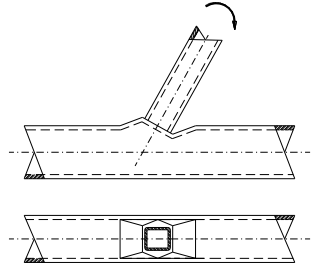
**Şekil 14.1 – Kafes sistem birleşimlerinde göçme durumları**

### **Boru ve Kutu Enkesitli Elemanların Moment Aktaran Birleşimleri**

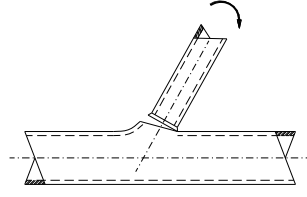
Eğilme momenti etkisinde olan bir veya iki örgü elemanının sürekli olan bir başlık elemanına kaynaklandığı, boru veya kutu enkesitli elemanların moment aktaran birleşimlerinde olası göçme durumları Şekil 14.2 de gösterilmektedir. Boru enkesitli elemanların moment aktaran birleşimlerinde başlık elemanında plastikleşme, kayma etkisinde akma gibi göçme sınır durumları gözönüne alınmalıdır. Kutu enkesitli elemanların moment aktaran birleşimlerinde ise başlık elemanı kenar enkesit parçasında plastikleşme, kutu profil cidarında yerel akma, eşit olmayan aksenal kuvvetler nedeniyle örgü elemanlarında yerel akma, başlık elemanı cidarında plastikleşme, kutu enkesitte yerel akma gibi göçme sınır durumlarının dikkate alınması gerekmektedir.

Boru profillerin birbirine doğrudan bağlandığı moment aktaran kaynaklı birleşimlerin mevcut dayanımları, *Yönetmelik* Tablo 14.3.1 e göre tanımlanan göçme sınır durumları için hesaplanan değerlerin en küçüğü olarak alınacaktır. Bu birleşimler için uygulama sınırları *Yönetmelik* Tablo 14.3.1A da verilmektedir.

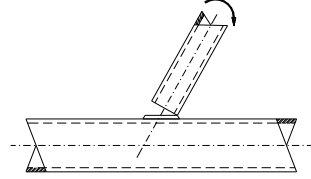
Kutu enkesitli elemanların birbirine doğrudan bağlandığı moment aktaran kaynaklı birleşimlerin mevcut dayanımları, *Yönetmelik* Tablo 14.3.2 ye ve Bölüm 13 e göre tanımlanan göçme sınır durumları için hesaplanan değerlerin en küçüğü olarak alınacaktır. Bu birleşimler için uygulama sınırları *Yönetmelik* Tablo 14.3.2A da verilmektedir.



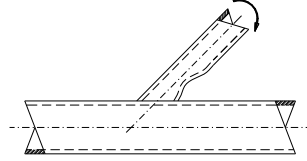
(a) Başlığın plastik şekildeğiştirmesi



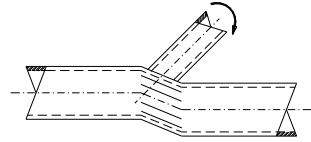
(b) Başlıkta kayma etkisinde akma (zımbalama)



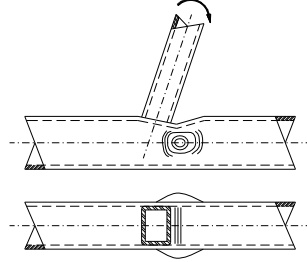
(c) Dengesiz kuvvet dağılımlı nedeniyle çekme elemanında yerel akma



(d) Dengesiz kuvvet dağılımlı nedeniyle basınç elemanında yerel akma



(e) Ara mesafe içindeki başlığın yan kenarlarının kayma etkisinde plastik şekildeğiştirmesi



(f) Başlığın yan kenarlarının burkularak göçmesi

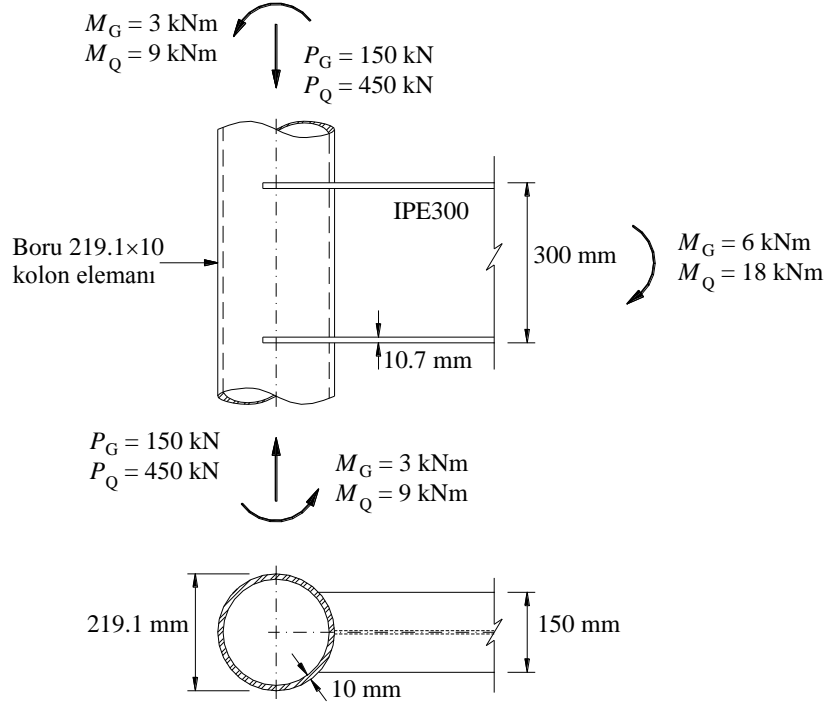
**Şekil 14.2 – Moment aktaran birleşimlerde göçme durumları**

## Örnek 14.1

Aşağıdaki şekilde yükleme durumu verilen kiriş-kolon birleşimi, Boru 219.1×10 enkesitli bir kolon ile IPE 300 enkesitli bir kirişten oluşmaktadır. Sabit ve hareketli yükler altında kiriş, sırasıyla,  $M_G = 6$  kNm ve  $M_Q = 18$  kNm eğilme momentleri, kolon da  $M_G = 3$  kNm ve  $M_Q = 9$  kNm eğilme momentleri ile  $P_G = 150$  kN ve  $P_Q = 450$  kN eksenel basınç kuvvetleri etkisindedir. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Boru eleman (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

IPE 300 (Tablo 2.1A)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

Kiriş (IPE 300)

$$d = 300 \text{ mm} \quad b_f = B_p = 150 \text{ mm} \quad t_f = 10.7 \text{ mm}$$

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı boru eleman

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(10.0) = 9.3$  mm için

Kolon (Boru 219.1×10)

$$A_g = 6130 \text{ mm}^2 \quad W_e = 308 \text{ cm}^3 \quad D = 219.1 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 10 = 9.3 \text{ mm}$$

## Çözüm

IPE 300 kirişinin sadece başlık levhalarından oluştuğu ve kirişe etkiyen eğilme momentinin sadece boru enkesite bağlanan kiriş başlıkları (levhaları) ile kuvvet çifti şeklinde aktarıldığı varsayılacaktır.

Tablo 14.1.1A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 90^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{D}{t} = \frac{219.1}{9.3} = 23.6 \leq 50 \checkmark$$

$$0.2 \leq \left( \frac{B_p}{D} = \frac{150}{219.1} = 0.68 \right) \leq 1.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Eksenel kuvvet etkisindeki enine levhalı T-birleşimi uygulama sınırları içerisinde.

YDKT	GKT
Birleşimin gerekli dayanımı	
$M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$ $M_u = 1.2 \times 6 + 1.6 \times 18 = 36 \text{ kNm}$	$M_a = M_G + M_Q$ $M_a = 6 + 18 = 24 \text{ kNm}$

Enine levhalı T-birleşiminin mevcut eksenel kuvvet dayanımları, *Yönetmelik* Tablo 14.1.1 uyarınca kontrol edilebilir.

### Boru profilde yerel akma sınır durumu

YDKT	GKT
Kolon elemanının gerekli dayanımları, $P_{ro}$ ve $M_{ro}$	
$P_{ro} = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_{ro} = 1.2 \times 150 + 1.6 \times 450 = 900 \text{ kN}$	$P_{ro} = P_a = P_G + P_Q$ $P_{ro} = 150 + 450 = 600 \text{ kN}$
$M_{ro} = M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$ $M_{ro} = M_u = 1.2 \times 3 + 1.6 \times 9 = 18 \text{ kNm}$	$M_{ro} = M_a = M_G + M_Q$ $M_{ro} = M_a = 3 + 9 = 12 \text{ kNm}$
$F_c = F_y = 275 \text{ MPa}$	$F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c W_e} \right  \quad (14.1.6)$	
$U = \left  \frac{900 \times 10^3}{275 \times 6110} + \frac{18 \times 10^6}{275 \times 305 \times 10^3} \right  = 0.75$	$U = \left  \frac{600 \times 10^3}{165 \times 6110} + \frac{12 \times 10^6}{165 \times 305 \times 10^3} \right  = 0.83$

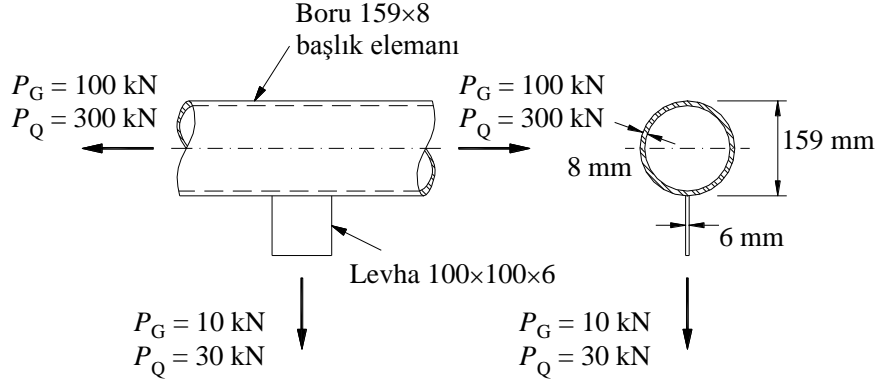
$Q_f = 1.0 - 0.3U(1+U)$ (14.1.5b)	
$Q_f = 1.0 - 0.3 \times 0.75 \times (1 + 0.75) = 0.61$	$Q_f = 1.0 - 0.3 \times 0.83 \times (1 + 0.83) = 0.54$
Boru profilde (kolon) yerel akma için karakteristik dayanım	
$R_n \sin \theta = F_y t^2 \left( \frac{5.5}{1 - 0.81 \frac{B_p}{D}} \right) Q_f$ (14.1.1)	
$R_n = \frac{1}{\sin 90} (275)(9.3)^2 \left( \frac{5.5}{1 - 0.81 \times \frac{150}{219.1}} \right) \dots$ $\dots \times (0.61) 10^{-3} = 179.1 \text{ kN}$	$R_n = \frac{1}{\sin 90} (275)(9.3)^2 \left( \frac{5.5}{1 - 0.81 \times \frac{150}{219.1}} \right) \dots$ $\dots \times (0.54) 10^{-3} = 158.6 \text{ kN}$
Tasarım basınç kuvveti dayanımı	Güvenli basınç kuvveti dayanımı
$R_d = \phi R_n = 0.90 \times 179.1 = 161.2 \text{ kN}$	$R_g = \frac{R_n}{\Omega} = \frac{158.6}{1.67} = 95.0 \text{ kN}$
<b>a.</b> Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi M_n = \phi R_n \times (d - t_f)$ $M_d = 161.2 \times (300 - 10.7) \times 10^{-3} = 46.6 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{R_n}{\Omega} \times (d - t_f)$ $M_d = 95 \times (300 - 10.7) \times 10^{-3} = 27.5 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{36}{46.6} = 0.77 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{24}{27.5} = 0.87 \leq 1.0 \checkmark$

## Örnek 14.2

Aşağıdaki şekilde yükleme durumu verilen levha-boru eleman birleşimi, Boru 159×8 enkesitli bir başlık elemanı ile 100×6 enkesitli bir levhadan oluşmaktadır. Sabit ve hareketli yükler altında başlık elemanı, sırasıyla,  $P_G = 100$  kN ve  $P_Q = 300$  kN eksenel çekme kuvvetleri, levha da  $P_G = 10$  kN ve  $P_Q = 30$  kN eksenel çekme kuvvetleri etkisindedir. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Boru eleman (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

Levha (Tablo 2.1A)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı boru eleman

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(8.0) = 7.44$  mm için

Kolon (Boru 159×8)

$$D = 219.1 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

Levha 100×6

$$t_f = 6.0 \text{ mm}$$

### Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.1.1A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 90^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{D}{t} = \frac{159}{7.44} = 21.4 \leq 50 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Eksenel kuvvet etkisindeki boyuna levhalı T-birleşimi uygulama sınırları içerisinde.

Birleşimin gerekli dayanımı

YDKT	GKT
Birleşimin gerekli dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 10 + 1.6 \times 30 = 60 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 10 + 30 = 40 \text{ kN}$

Boyuna levhalı T-birleşimi mevcut eksenel kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.1.1 uyarınca kontrol edilebilir.

Boru profilde plastikleşme sınır durumu

Başlık elemanına bağlanan yüzey çekme etkisinde olduğundan  $Q_f = 1.0$  (14.1.5a)

$$R_n \sin \theta = 5.5 F_y t^2 \left( 1 + 0.25 \frac{l_b}{D} \right) Q_f \quad (14.1.2)$$

$$R_n = \frac{1}{\sin 90} \times 5.5 \times 275 \times 7.44^2 \times \left( 1 + 0.25 \times \frac{100}{159} \right) \times 1.0 \times 10^{-3} = 96.9 \text{ kN}$$

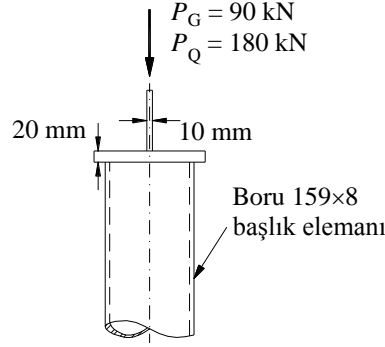
YDKT	GKT
<b>a.</b> Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü
$P_d = \phi R_n = 0.90(96.9) = 87.2 \text{ kN}$	$P_g = \frac{R_n}{\Omega} = \frac{96.9}{1.67} = 58.0 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{60}{87.2} = 0.69 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{40}{58.0} = 0.69 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 14.3

Aşağıdaki şekilde detayı ve yükleme durumu verilen kapak levhali birleşim, Boru 159×8 enkesitli bir eleman ile 20mm kalınlıklı kapak levha ve 10mm kalınlıklı uç levhadan oluşmaktadır. Sabit ve hareketli yükler altında uç levha, sırasıyla,  $P_G = 90$  kN ve  $P_Q = 180$  kN aksel basınç kuvvetleri etkisindedir. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

a. Birleşimin tasarımın dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Boru eleman (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

Levha (Yönetmelik Tablo 2.1A)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı boru eleman

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(8.0) = 7.44$  mm için

Kolon (Boru 159×8)

$$A_g = 3542 \text{ mm}^2 \quad D = 159 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

Uç levha                  Kapak levha

$$t = 10.0 \text{ mm} \quad t = 20.0 \text{ mm}$$

### Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.1.1A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\frac{D}{t} = \frac{159}{7.44} = 21.4 < 0.11 \frac{E}{F_y} = 0.11 \times \frac{200000}{275} = 80 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$



$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Eksenel yük etkisindeki kapak levhalı birleşim uygulama sınırları içerisinde.

Birleşimin gerekli dayanımı

YDKT	GKT
Birleşimin gerekli dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 90 + 1.6 \times 180 = 396 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 90 + 180 = 270 \text{ kN}$

Boru-kapak levha birleşiminin mevcut eksenel kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.1.1 uyarınca kontrol edilebilir.

Boru profilde yerel akma sınır durumu

$$R_n = 2F_y t (5t_p + l_b) \leq F_y A \quad (14.1.4)$$

$$R_n = 2 \times 275 \times 7.44 \times (5 \times 20 + 10) \times 10^{-3} = 450.1 \text{ kN} \leq 275 \times 3542 \times 10^{-3} = 974 \text{ kN}$$

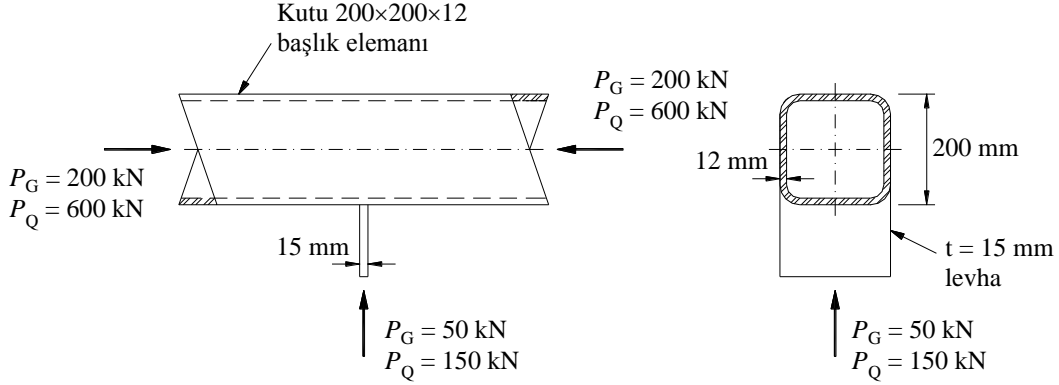
YDKT	GKT
<b>a.</b> Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü
$P_d = \phi R_n = 1.0(450.1) = 450.1 \text{ kN}$	$P_g = \frac{R_n}{\Omega} = \frac{450.1}{1.5} = 300.1 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{396}{450.1} = 0.88 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{270}{300.1} = 0.90 \leq 1.0 \checkmark$

## Örnek 14.4

Aşağıdaki şekilde detayı ve yükleme durumu verilen levha-kutu eleman birleşimi, Kutu 200×200×12 enkesitli bir başlık elemanı ile 200×200×15 enkesitli bir levhadan oluşmaktadır. Sabit ve hareketli yükler altında başlık elemanı, sırasıyla,  $P_G = 200$  kN ve  $P_Q = 600$  kN aksel basınç kuvvetleri, levha da  $P_G = 50$  kN ve  $P_Q = 150$  kN aksel basınç kuvvetleri etkisindedir. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Kutu 200×200×12 (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

Levha (Yönetmelik Tablo 2.1A)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu eleman

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(12.0) = 11.16$  mm için

Başlık elemanı

(Kutu 200×200×12)

$$A_g = 7821 \text{ mm}^2 \quad H = 200 \text{ mm} \quad B = 200 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 12 = 11.16 \text{ mm}$$

Levha 200×200×15

$$B_p = 200 \text{ mm} \quad t_p = 15 \text{ mm}$$

### Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.1.2A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 90^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{B}{t} = \frac{H}{t} = \frac{200}{11.16} = 17.9 \leq 35 \checkmark$$

$$0.25 < \frac{B_p}{B} = \frac{200}{200} = 1.0 \leq 1.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Eksenel kuvvet etkisindeki enine levhalı T-birleşimi uygulama sınırları içerisinde.

Birleşimin gerekli dayanımı

YDKT	GKT
Birleşimin gerekli dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 50 + 1.6 \times 150 = 300 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 50 + 150 = 200 \text{ kN}$

Mevcut eksenel kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.1.2 uyarınca kontrol edilebilir.

Levhada yerel akma sınır durumu

Levhada yerel akma için karakteristik dayanım

$$R_n = \frac{10}{B/t} F_y t B_p \leq F_{yb} t_p B_p \quad (14.1.7)$$

$$R_n = \frac{10}{200/11.16} \times 275 \times 11.16 \times 200 \times 10^{-3} = 342.5 \text{ kN} \leq 275 \times 15 \times 200 \times 10^{-3} = 825 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi R_n = 0.95(342.5) = 325.4 \text{ kN}$	$P_g = \frac{R_n}{\Omega} = \frac{342.5}{1.58} = 216.8 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{300}{325.4} = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{200}{216.8} = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$

Kutu profil cidarında yerel akma sınır durumu

$$\beta = \frac{B_p}{B} = \frac{200}{200} = 1.0$$

$$k = \text{kutu enkesitin dış köşe yarıçapı} \geq 1.5t = 1.5 \times 11.16 = 16.74 \text{ mm} \checkmark$$

$$R_n = 2F_y t (5k + l_b) \quad (14.1.9)$$

$$R_n = 2 \times 275 \times 11.16 \times (5 \times 16.74 + 15) \times 10^{-3} = 605.8 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi R_n = 1.0(605.8) = 605.8 \text{ kN}$	$P_g = \frac{R_n}{\Omega} = \frac{605.8}{1.5} = 403.9 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{300}{605.8} = 0.50 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{200}{403.9} = 0.50 \leq 1.0 \checkmark$

Kutu profil cidarında yerel buruşma sınır durumu

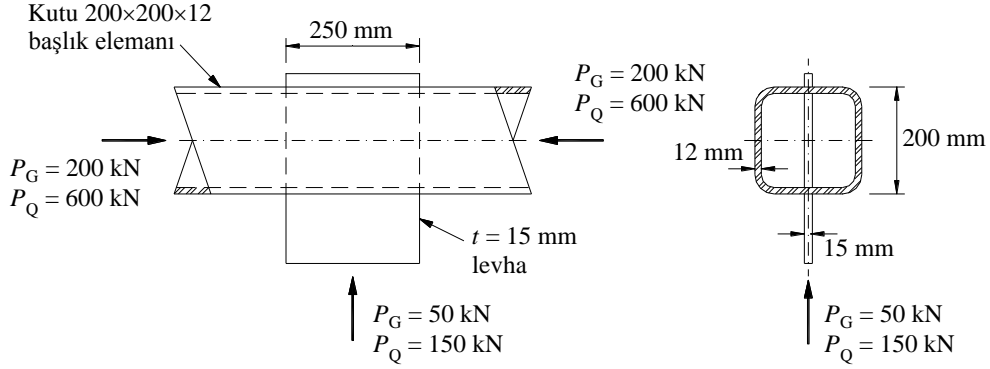
YDKT	GKT
Başlık elemanının gerekli dayanımları, $P_{ro}$ ve $M_{ro}$	
$P_{ro} = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_{ro} = 1.2 \times 200 + 1.6 \times 600 = 1200 \text{ kN}$	$P_{ro} = P_a = P_G + P_Q$ $P_{ro} = 200 + 600 = 800 \text{ kN}$
$M_{ro} = 0$	$M_{ro} = 0$
$F_c = F_y = 275 \text{ MPa}$	$F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c W_e} \right $ (14.1.6)	
$U = \left  \frac{1200 \times 10^3}{275 \times 7821} + 0 \right  = 0.56$	$U = \left  \frac{800 \times 10^3}{165 \times 7821} + 0 \right  = 0.62$
$Q_f = 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta} \leq 1.0$ (14.1.16)	
$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.56}{1.0} = 1.08 > 1.0 \quad Q_f = 1.0$	$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.62}{1.0} = 1.05 > 1.0 \quad Q_f = 1.0$
Kutu profil cidarında yerel buruşma için karakteristik dayanım	
T-birleşiminde levhanın basınç etkisinde ve $\beta=1.0$ olması durumu için	
$R_n = 1.6t^2 \left( 1 + \frac{3l_b}{H - 3t} \right) \sqrt{EF_y Q_f}$ (14.1.10)	
$P_n = 1.6 \times 11.16^2 \times \left( 1 + \frac{3 \times 15}{200 - 3 \times 11.16} \right) \times \sqrt{200000 \times 275 \times 1.0 \times 10^{-3}} = 1877.2 \text{ kN}$	$P_n = 1.6 \times 11.16^2 \times \left( 1 + \frac{3 \times 15}{200 - 3 \times 11.16} \right) \times \sqrt{200000 \times 275 \times 1.0 \times 10^{-3}} = 1877.2 \text{ kN}$
<b>a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi R_n = 0.75(1877.2) = 1407.9 \text{ kN}$	$P_g = \frac{R_n}{\Omega} = \frac{1877.2}{2.0} = 938.6 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{300}{1407.9} = 0.21 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{200}{938.6} = 0.21 \leq 1.0 \checkmark$

## Örnek 14.5

Aşağıdaki şekilde detayı ve yükleme durumu verilen levha-kutu eleman birleşimi, Kutu 200×200×12 enkesitli bir başlık elemanı ile 500×250×15 enkesitli bir levhadan oluşmaktadır. Sabit ve hareketli yükler altında başlık elemanı, sırasıyla,  $P_G = 200$  kN ve  $P_Q = 600$  kN eksenel basınç kuvvetleri, levha da  $P_G = 50$  kN ve  $P_Q = 150$  kN eksenel basınç kuvvetleri etkisindedir. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Kutu 200×200×12 (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

Levha (Yönetmelik Tablo 2.1A)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu eleman

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(12.0) = 11.16$  mm için

Başlık elemanı

(Kutu 200×200×12)

$$A_g = 7821 \text{ mm}^2 \quad H = 200 \text{ mm} \quad B = 200 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 12 = 11.16 \text{ mm}$$

Levha 500×250×15

$$l_b = 250 \text{ mm} \quad t_p = 15 \text{ mm}$$

### Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.1.2A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 90^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{B}{t} = \frac{H}{t} = \frac{200}{11.16} = 17.9 \leq 40 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Eksenel kuvvet etkisindeki boyuna levhalı T-birleşimi uygulama sınırları içerisinde.

Birleşimin gerekli dayanımı

YDKT	GKT
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 50 + 1.6 \times 150 = 300 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 50 + 150 = 200 \text{ kN}$

Eksenel kuvvet etkisindeki profil gövdesini yarararak geçen boyuna levhalı T-birleşiminin mevcut eksenel kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.1.2 uyarınca kontrol edilebilir.

Kutu profil cidarında plastikleşme sınır durumu

Kutu enkesitli başlık elemanının gerekli dayanımlarının belirlenmesi, ( $P_{ro}$  ve  $M_{ro}$ )

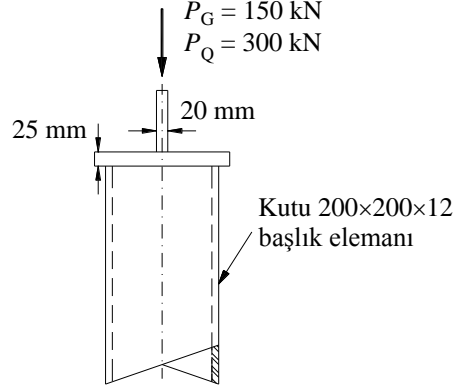
YDKT	GKT
Başlık elemanının gerekli dayanımları, $P_{ro}$ ve $M_{ro}$	
$P_{ro} = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_{ro} = 1.2 \times 200 + 1.6 \times 600 = 1200 \text{ kN}$	$P_{ro} = P_a = P_G + P_Q$ $P_{ro} = 200 + 600 = 800 \text{ kN}$
$M_{ro} = 0$	$M_{ro} = 0$
$F_c = F_y = 275 \text{ MPa}$	$F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c W_c} \right  \quad (14.1.6)$	
$U = \left  \frac{1200 \times 10^3}{275 \times 7821} + 0 \right  = 0.56$	$U = \left  \frac{800 \times 10^3}{165 \times 7821} + 0 \right  = 0.62$
$Q_f = 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta} \leq 1.0 \quad (14.1.16)$	
$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.56}{1.0} = 1.08 > 1.0$ $Q_f = 1.0$	$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.62}{1.0} = 1.05 > 1.0$ $Q_f = 1.0$
Kutu profil cidarında plastikleşme için karakteristik dayanım	
$R_n \sin \theta = \frac{2F_y t^2}{1 - \frac{t_p}{B}} \left( \frac{2l_b}{B} + 4 \sqrt{1 - \frac{t_p}{B}} Q_f \right) \quad (14.1.13)$	
$R_n = \frac{1}{\sin 90} \times \frac{2 \times 275 \times 11.16^2}{1 - \frac{15}{200}} \times \left( \frac{2 \times 250}{200} + 4 \sqrt{1 - \frac{15}{200}} \times 1.0 \right) \times 10^{-3} = 470.0 \text{ kN}$	

a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü	b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü
$P_d = \phi R_n = 1.0(470.0) = 470.0 \text{ kN}$	$P_g = \frac{R_n}{\Omega} = \frac{470.0}{1.5} = 313.3 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{300}{470.0} = 0.64 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{200}{313.3} = 0.64 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 14.6

Aşağıdaki şekilde detayı ve yükleme durumu verilen kapak levhalı birleşim, Kutu  $200 \times 200 \times 12$  enkesitli başlık elemanı ile 25mm kalınlıklı kapak levha ve 20mm kalınlıklı uç levhadan oluşmaktadır. Sabit ve hareketli yükler altında uç levha, sırasıyla,  $P_G = 150$  kN ve  $P_Q = 300$  kN aksenal basınç kuvvetleri etkisindedir. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Kutu  $200 \times 200 \times 12$  (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

Levha (Yönetmelik Tablo 2.1A)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu eleman

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(12.0) = 11.16$  mm için

Başlık elemanı

(Kutu  $200 \times 200 \times 12$ )

$$A_g = 7821 \text{ mm}^2 \quad H = 200 \text{ mm} \quad B = 200 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 12 = 11.16 \text{ mm}$$

Uç levha

Kapak levha

$$t = 20.0 \text{ mm}$$

$$t = 25.0 \text{ mm}$$

### Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.1.2A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$



$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Eksenel kuvvet etkisindeki kapak levhalı birleşim uygulama sınırları içerisinde.

Birleşimin gerekli dayanımı

YDKT	GKT
Birleşimin gerekli dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 150 + 1.6 \times 300 = 660 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 150 + 300 = 450 \text{ kN}$

Mevcut eksenel kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.1.2 uyarınca kontrol edilebilir.

Kutu profil cidarında yerel akma sınır durumu

$$(5t_p + l_b) = (5 \times 25 + 20 = 145) < (B = 200) \text{ için}$$

$$R_n = 2F_y t (5t_p + l_b) \quad (14.1.14a)$$

$$R_n = 2 \times 275 \times 11.16 \times (5 \times 25 + 20) \times 10^{-3} = 890.0 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi R_n = 1.0(890) = 890 \text{ kN}$	$P_g = \frac{R_n}{\Omega} = \frac{890}{1.5} = 593.3 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{660}{890} = 0.74 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{450}{593.3} = 0.76 \leq 1.0 \checkmark$

Basınç etkisi için kutu profil cidarında yerel buruşma sınır durumu

$$(5t_p + l_b) = (5 \times 25 + 20 = 145) < (B = 200) \text{ için}$$

$$R_n = 1.6t^2 \left[ 1 + \frac{6l_b}{B} \left( \frac{t}{t_p} \right)^{1.5} \right] \sqrt{EF_y \frac{t_p}{t}} \quad (14.1.15)$$

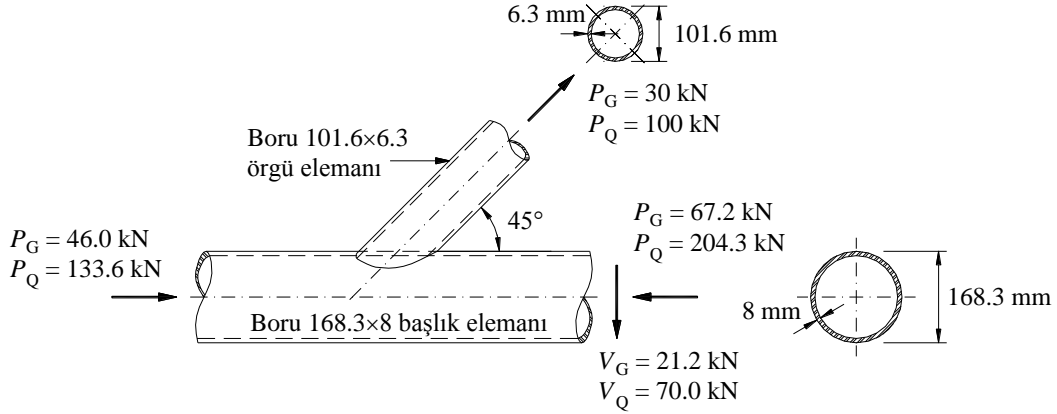
$$R_n = 1.6 \times 11.16^2 \left[ 1 + \frac{6 \times 20}{200} \left( \frac{11.16}{25} \right)^{1.5} \right] \sqrt{200000 \times 275 \times \frac{25}{11.16}} \times 10^{-3} = 2607.7 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi R_n = 0.75(2607.7) = 1955.8 \text{ kN}$	$P_g = \frac{R_n}{\Omega} = \frac{2607.7}{2.0} = 1303.9 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{660}{1955.8} = 0.34 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{450}{1303.9} = 0.35 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 14.7

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen boru-boru eleman kafes sistem Y-birleşimi, Boru 168.3×8 enkesitli bir başlık elemanı ile Boru 101.6×6.3 enkesitli bir örgü elemanından oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Boru elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı boru elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(8.0) = 7.44 \text{ mm}$  için

Başlık elemanı

(Boru 168.3×8)

$$A_g = 3760 \text{ mm}^2 \quad D = 168.3 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

Örgü elemanı

(Boru 101.6×6.3)

$$D_b = 101.6 \text{ mm}$$

### Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.2.1A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 45^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{D}{t} = \frac{168.3}{7.44} = 22.6 \leq 50 \checkmark$$

$$0.2 \leq \left( \frac{D_b}{D} = \frac{101.6}{168.3} = 0.6 \right) \leq 1.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Birleşim uygulama sınırları içerisindedir.

YDKT	GKT
Örgü elemanı birleşiminin gerekli dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 30 + 1.6 \times 100 = 196 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 30 + 100 = 130 \text{ kN}$

Mevcut aksenal kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.2.1 uyarınca kontrol edilebilir

Y-birleşimi için başlık elemanında plastikleşme sınır durumu

$$\beta = \frac{D_b}{D} = \frac{101.6}{168.3} = 0.6$$

$$\gamma = \frac{D}{2t} = \frac{168.3}{2 \times 7.44} = 11.3$$

*Yönetmelik* Tablo 14.2.1 uyarınca gerekli dayanımlar birleşimin daha küçük basınç gerilmesi etkisindeki tarafı için belirlenecektir.

YDKT	GKT
Başlık elemanının gerekli dayanımları, $P_{ro}$ ve $M_{ro}$	
$P_{ro} = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_{ro} = 1.2 \times 46 + 1.6 \times 133.6 = 268.96 \text{ kN}$	$P_{ro} = P_a = P_G + P_Q$ $P_{ro} = 46 + 133.6 = 179.60 \text{ kN}$
$M_{ro} = 0$	$M_{ro} = 0$
$F_c = F_y = 275 \text{ MPa}$	$F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c W_e} \right  \quad (14.1.6)$	
$U = \left  \frac{268.96 \times 10^3}{275 \times 3760} + 0 \right  = 0.26$	$U = \left  \frac{179.60 \times 10^3}{165 \times 3760} + 0 \right  = 0.29$
$Q_t = 1.0 - 0.3U(1 + U) \quad (14.1.5b)$	

$Q_f = 1.0 - 0.3 \times 0.26 \times (1 + 0.26) = 0.90$	$Q_f = 1.0 - 0.3 \times 0.29 \times (1 + 0.29) = 0.89$
Başlık elemanında plastikleşme için karakteristik eksenel kuvvet dayanımı	
$P_n \sin \theta = F_y t^2 (3.1 + 15.6 \beta^2) \gamma^{0.2} Q_f$ (14.2.2)	
$P_n = \frac{1}{\sin 45} 275 \times 7.44^2 (3.1 + 15.6 \times 0.6^2) \times 11.3^{0.2} \times 0.90 \times 10^{-3} = 274.26 \text{ kN}$	$P_n = \frac{1}{\sin 45} 275 \times 7.44^2 (3.1 + 15.6 \times 0.6^2) \times 11.3^{0.2} \times 0.89 \times 10^{-3} = 271.22 \text{ kN}$
<b>a. Tasarım eksenel kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli eksenel kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi R_n = 0.90 (274.26) = 246.83 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{271.22}{1.67} = 162.41 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{196}{246.83} = 0.79 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{130}{162.41} = 0.80 \leq 1.0 \checkmark$

Y-birleşimi için kayma etkisinde akma (zımbalama) sınır durumu

$D_{b(\text{çekme/basınç})} \leq (D - 2t)$  koşulunun sağlanması gerekmektedir.

$$101.6 \leq (168.3 - 2 \times 7.44) = 153.4 \checkmark$$

Başlık elemanında kayma etkisinde akma için karakteristik eksenel kuvvet dayanımı

$$P_n = 0.6 F_y \pi D_b \left( \frac{1 + \sin \theta}{2 \sin^2 \theta} \right) \quad (14.2.1)$$

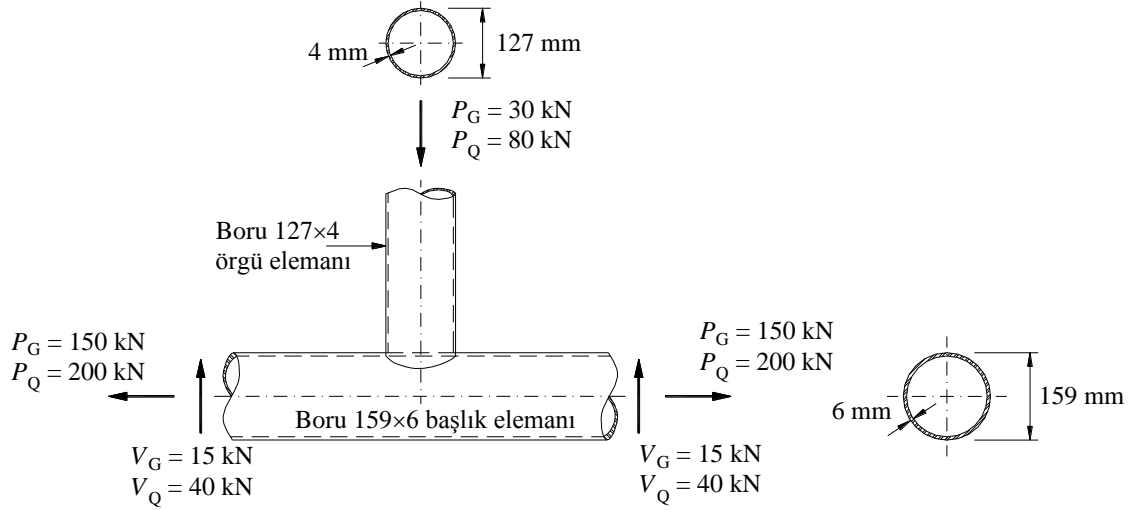
$$P_n = 0.6 \times 275 \times 7.44 \times \pi \times 101.6 \times \left( \frac{1 + \sin 45}{2 \sin^2 45} \right) \times 10^{-3} = 668.9 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>a. Tasarım eksenel kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli eksenel kuvveti dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi R_n = 0.95 (668.9) = 635.5 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{668.9}{1.58} = 423.4 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{196}{635.5} = 0.31 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{130}{423.4} = 0.31 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 14.8

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen boru-boru eleman kafes sistem T-birleşimi, Boru 159×6 enkesitli bir başlık elemanı ile Boru 127×4 enkesitli bir örgü elemanından oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Boru elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı boru elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(6.0) = 5.58 \text{ mm}$  için

Başlık elemanı

(Boru 159×6)

$$D = 159 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 6 = 5.58 \text{ mm}$$

Örgü elemanı

(Boru 127×4)

$$D_b = 127 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 4 = 3.72 \text{ mm}$$

### Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.2.1A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 90^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{D}{t} = \frac{159}{5.58} = 28.5 \leq 50 \checkmark$$

$$\frac{D_b}{t_b} = \frac{127}{3.72} = 34.1 \leq 50 \checkmark$$

$$\frac{D_b}{t_b} = \frac{127}{3.72} = 34.1 \leq 0.05 \frac{E}{F_y} = 0.05 \times \frac{200000}{275} = 36.4 \checkmark$$

$$0.2 \leq \left( \frac{D_b}{D} = \frac{127}{159} = 0.8 \right) \leq 1.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Birleşim uygulama sınırları içerisinde.

YDKT	GKT
Örgü elemanı birleşiminin gerekli dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 30 + 1.6 \times 80 = 164 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 30 + 80 = 110 \text{ kN}$

Mevcut eksenel kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.2.1 uyarınca kontrol edilebilir.

T-birleşimi için başlık elemanında plastikleşme sınır durumu

Başlık elemanında plastikleşme için karakteristik eksenel kuvvet dayanımı

Başlık elemanının bağlanan yüzeyi çekme etkisinde olduğundan,

$$Q_f = 1.0 \quad (14.1.5a)$$

$$\beta = \frac{D_b}{D} = \frac{127}{159} = 0.8$$

$$\gamma = \frac{D}{2t} = \frac{159}{2 \times 5.58} = 14.2$$

$$P_n \sin \theta = F_y t^2 (3.1 + 15.6\beta^2) \gamma^{0.2} Q_f \quad (14.2.2)$$

$$P_n = \frac{1}{\sin 90} 275 \times 5.58^2 (3.1 + 15.6 \times 0.8^2) \times 14.2^{0.2} \times 1.0 \times 10^{-3} = 190.46 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>a. Tasarım aksenal kuvvet dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli aksenal kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 0.9 \times 190.46 = 171.41 \text{ kN}$	$P_{\sigma} = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{190.46}{1.67} = 114.05 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{164}{171.41} = 0.96 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_{\sigma}} = \frac{110}{114.05} = 0.96 \leq 1.0 \checkmark$

T-birleşimi için için kayma etkisinde akma sınır durumu

$D_{b(\text{çekme/basınç})} \leq (D - 2t)$  koşulunun sağlanması gerekmektedir

$$127 \leq (159 - 2 \times 5.58) = 147.8 \checkmark$$

Başlık elemanında kayma etkisinde akma için karakteristik aksenal kuvvet dayanımı

$$P_n = 0.6 F_y t \pi D_b \left( \frac{1 + \sin \theta}{2 \sin^2 \theta} \right) \quad (14.2.1)$$

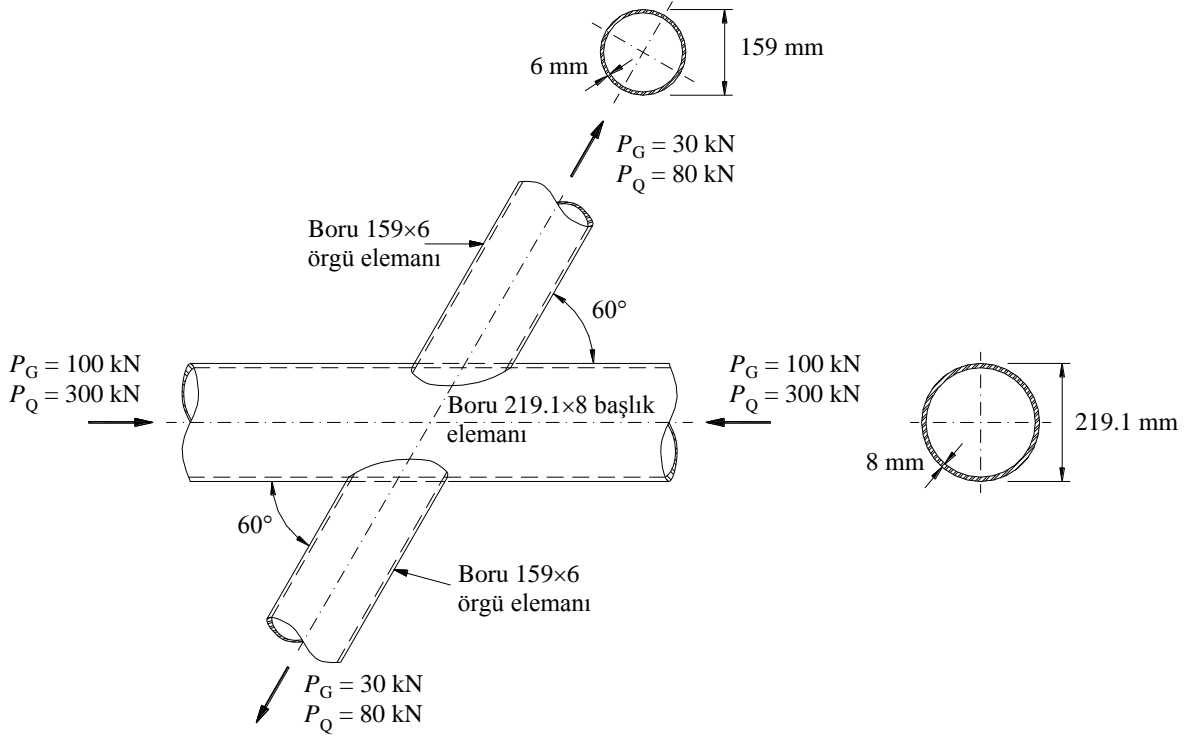
$$P_n = 0.6 \times 275 \times 5.58 \times \pi \times 127 \times \left( \frac{1 + \sin 90}{2 \sin^2 90} \right) \times 10^{-3} = 367.3 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>a. Tasarım aksenal kuvvet dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli aksenal kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 0.95 \times 367.3 = 348.9 \text{ kN}$	$P_{\sigma} = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{367.3}{1.58} = 232.5 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{164}{348.9} = 0.47 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_{\sigma}} = \frac{110}{232.5} = 0.47 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 14.9

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen boru-boru eleman kafes sistem X-birleşimi, Boru 219.1×8 enkesitli bir başlık elemanı ile Boru 159×6 enkesitli iki örgü elemanından oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



#### Çelik sınıfı

Boru elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

#### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı boru elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(8.0) = 7.44 \text{ mm}$  için

Başlık elemanı

(Boru 219.1×8)

$$A = 4947 \text{ mm}^2 \quad D = 219.1 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

Örgü elemanı

(Boru 159×6)

$$D_b = 159 \text{ mm}$$



## Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.2.1A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 60^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{D}{t} = \frac{219.1}{7.44} = 29.4 \leq 40 \checkmark$$

$$0.2 \leq \left( \frac{D_b}{D} = \frac{159}{219.1} = 0.73 \right) \leq 1.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Birleşim uygulama sınırları içerisinde.

YDKT	GKT
Örgü elemanı birleşiminin gerekli dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 30 + 1.6 \times 80 = 164 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 30 + 80 = 110 \text{ kN}$

Mevcut aksenal kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.2.1 uyarınca kontrol edilebilir.

X-birleşimi için başlık elemanında plastikleşme sınır durumu

YDKT	GKT
Başlık elemanının gerekli dayanımları, $P_{ro}$ ve $M_{ro}$	
$P_{ro} = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_{ro} = 1.2 \times 100 + 1.6 \times 300 = 600 \text{ kN}$	$P_{ro} = P_a = P_G + P_Q$ $P_{ro} = 100 + 300 = 400 \text{ kN}$
$F_c = F_y = 275 \text{ MPa}$	$F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c W_e} \right  \quad (14.1.6)$	
$U = \left  \frac{600 \times 10^3}{275 \times 4947} + 0 \right  = 0.44$	$U = \left  \frac{400 \times 10^3}{165 \times 4947} + 0 \right  = 0.49$
$Q_f = 1.0 - 0.3U(1+U) \quad (14.1.5b)$	
$Q_f = 1.0 - 0.3 \times 0.44 \times (1 + 0.44) = 0.81$	$Q_f = 1.0 - 0.3 \times 0.49 \times (1 + 0.49) = 0.78$
Başlık elemanında plastikleşme için karakteristik aksenal kuvvet dayanımı	

$\beta = \frac{D_b}{D} = \frac{159}{219.1} = 0.73$ $P_n \sin \theta = F_y t^2 \left( \frac{5.7}{1 - 0.81\beta} \right) Q_f \quad (14.2.3)$	
$P_n = \frac{1}{\sin 60} 275 \times 7.44^2 \left( \frac{5.7}{1 - 0.81 \times 0.73} \right) \times 0.81 \times 10^{-3} = 198.57 \text{ kN}$	$P_n = \frac{1}{\sin 60} 275 \times 7.44^2 \left( \frac{5.7}{1 - 0.81 \times 0.73} \right) \times 0.78 \times 10^{-3} = 191.21 \text{ kN}$
<b>a. Tasarım eksenel kuvvet dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli eksenel kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 0.9 \times 198.57 = 178.71 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{191.21}{1.67} = 114.50 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{164}{178.71} = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{110}{114.5} = 0.96 \leq 1.0 \checkmark$

**X-birleşimi için için kayma etkisinde akma sınır durumu**

$D_{b(\text{çekme/basınç})} \leq (D - 2t)$  koşulunun sağlanması gerekmektedir

$$159 \leq (219.1 - 2 \times 7.44) = 204.2 \checkmark$$

Başlık elemanında kayma etkisinde akma için karakteristik eksenel kuvvet dayanımı

$$P_n = 0.6 F_y t \pi D_b \left( \frac{1 + \sin \theta}{2 \sin^2 \theta} \right) \quad (14.2.1)$$

$$P_n = 0.6 \times 275 \times 7.44 \times \pi \times 159 \times \left( \frac{1 + \sin 60}{2 \sin^2 60} \right) \times 10^{-3} = 762.8 \text{ kN}$$

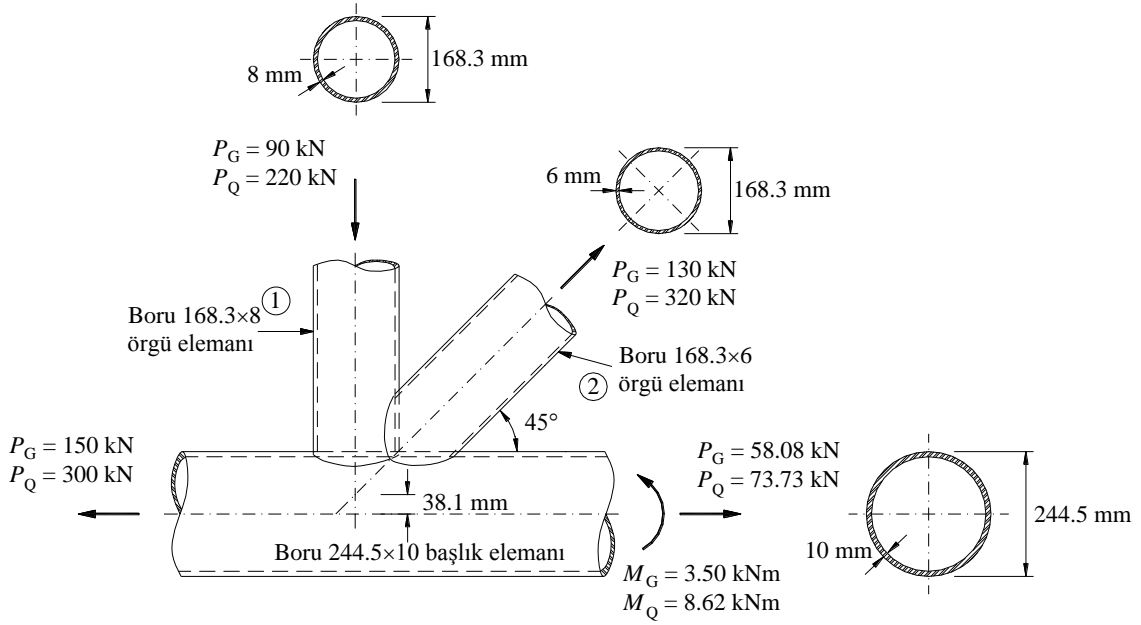
YDKT	GKT
<b>a. Tasarım eksenel kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli eksenel kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 0.95 \times 762.8 = 724.7 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{762.8}{1.58} = 482.8 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{164}{724.7} = 0.23 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{110}{482.8} = 0.23 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 14.10

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen boru-boru eleman kafes sistem K-birleşimi, Boru 244.5×10 enkesitli bir başlık elemanı ile Boru 168.3×8 ve Boru 168.3×6 enkesitli iki örgü elemanından oluşmaktadır. Basınç etkisindeki örgü elemanı kuvveti ile çekme etkisindeki örgü elemanı kuvvetinin düşey bileşenleri arasındaki fark %20 oranını aşmamaktadır. Birleşimin geometrisi nedeniyle başlık elemanı ile örgü elemanlarının eksenleri arasında meydana gelen dışmerkezlik, başlık elemanında bir eğilme momenti oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Boru elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı boru elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Başlık elemanı

(Boru 244.5×10)

$$D = 244.5 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 10 = 9.3 \text{ mm}$$

Örgü elemanı (1)

(Boru 168.3×8)

$$D_b = 168.3 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

Örgü elemanı (2)

(Boru 168.3×6)

$$D_b = 168.3 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 6 = 5.58 \text{ mm}$$

### Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.2.1A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta_{b1} = 90^\circ \geq 30^\circ \checkmark ; \theta_{b2} = 45^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{D}{t} = \frac{244.5}{9.3} = 26.3 \leq 50 \checkmark$$

$$\frac{D_b}{t_b} = \frac{168.3}{7.44} = 22.6 \leq 50 \checkmark$$

$$\frac{D_b}{t_b} = \frac{168.3}{7.44} = 22.6 \leq 0.05 \frac{E}{F_y} = 0.05 \times \frac{200000}{275} = 36.4 \checkmark$$

$$0.2 \leq \left( \frac{D_b}{D} = \frac{168.3}{244.5} = 0.69 \right) \leq 1.0 \checkmark$$

$$t_{b(\text{üst eleman})} \leq t_{b(\text{alt eleman})} \quad 5.58 \leq 7.44 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$-0.55 \leq \left( \frac{e}{D} = \frac{-38.1}{244.5} = -0.16 \right) \leq 0.25 \checkmark$$

$$l_{ov} = \left( \frac{D_{b1}}{2 \sin \theta_{b1}} + \frac{D_{b2}}{2 \sin \theta_{b2}} \right) - \left( \frac{e + D/2}{\frac{\sin \theta_{b1} \sin \theta_{b2}}{\sin(\theta_{b1} + \theta_{b2})}} \right) = \left( \frac{168.3}{2 \sin 90} + \frac{168.3}{2 \sin 45} \right) - \left( \frac{-38.1 + 244.5/2}{\frac{\sin 90 \times \sin 45}{\sin(90 + 45)}} \right) = 119 \text{ mm}$$

$$l_p = \frac{D_{b2}}{\sin \theta_{b2}} = \frac{168.3}{\sin 45} = 238 \text{ mm}$$

$$O_v = \frac{l_{ov}}{l_p} = \frac{119}{238} \times 100 = 50\%$$

$$25\% \leq (O_v = 50\%) \leq 100\% \checkmark$$

Birleşim uygulama sınırları içerisindedir.

Mevcut aksel kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.2.1 uyarınca kontrol edilebilir.

YDKT	GKT
Basınç etkisindeki Boru 168.3×8 enkesitli örgü elemanı birleşimi için gerekli dayanım	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 90 + 1.6 \times 220 = 460 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 90 + 220 = 310 \text{ kN}$
Çekme etkisindeki Boru 168.3×6 enkesitli örgü elemanı birleşimi için gerekli dayanım	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 130 + 1.6 \times 320 = 668 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 130 + 320 = 450 \text{ kN}$

### K-birleşimi için başlık elemanında plastikleşme sınır durumu

Başlık elemanına bağlanan yüzey çekme etkisinde olduğundan,

$$Q_f = 1.0 \quad (14.1.5a)$$

$$\gamma = \frac{D}{2t} = \frac{244.5}{2 \times 9.3} = 13.1$$

Bindirmeli birleşimi için  $g = 0$  alınabilir.

$$Q_g = \gamma^{0.2} \left[ 1 + \frac{0.024\gamma^{1.2}}{e^{\left(\frac{0.5g-1.33}{t}\right)} + 1} \right] = 13.1^{0.2} \times \left[ 1 + \frac{0.024 \times 13.1^{1.2}}{e^{\left(\frac{0.5 \times 0 - 1.33}{9.3}\right)} + 1} \right] = 2.37 \quad (14.2.6)$$

Basınç altındaki örgü elemanında plastikleşme için karakteristik dayanım

$$(P_n \sin \theta)_{\text{basınç}} = F_y t^2 \left( 2.0 + 11.33 \frac{D_b \text{ basınç}}{D} \right) Q_g Q_f \quad (14.2.4)$$

$$P_n = \frac{1}{\sin 90} \times 275 \times 9.3^2 \times \left( 2.0 + 11.33 \times \frac{168.3}{244.5} \right) \times 2.37 \times 1.0 \times 10^{-3} = 552.36 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>a.</b> Tasarım aksel kuvveti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli aksel kuvvet dayanımının kontrolü
$P_d = \phi P_n = 0.9 \times 552.36 = 497.12 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{552.36}{1.67} = 330.75 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{460}{497.12} = 0.93 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{310}{330.75} = 0.94 \leq 1.0 \checkmark$

Çekme altındaki örgü elemanında plastikleşme için karakteristik dayanım

$$(P_n \sin \theta)_{\text{çekme}} = (P_n \sin \theta)_{\text{basınç}} \quad (14.2.5)$$

$$P_n = \frac{552.36 \times \sin 90}{\sin 45} = 781.16 \text{ kN}$$

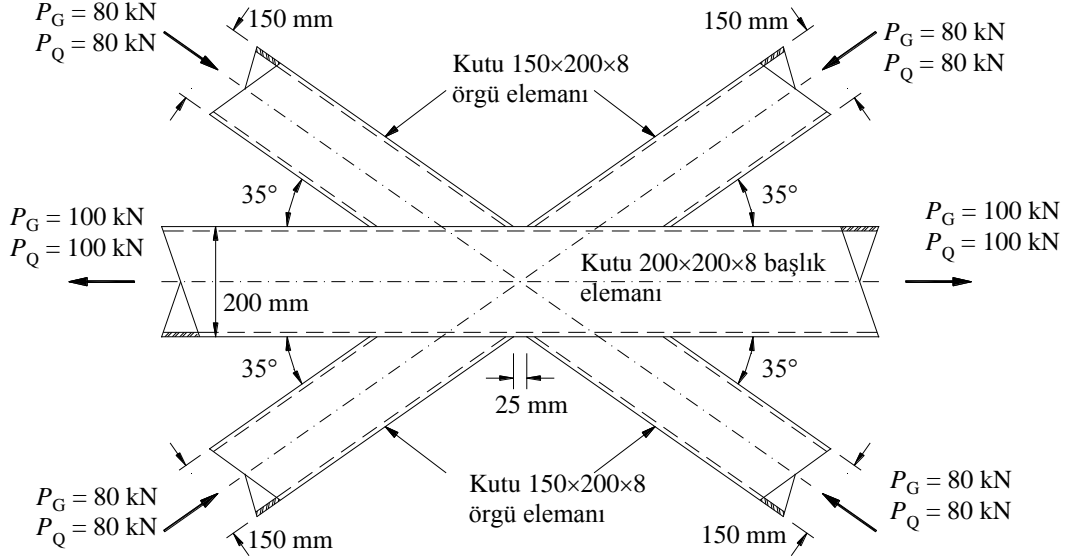
YDKT	GKT
<b>a.</b> Tasarım aksenal kuvveti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli aksenal kuvvet dayanımının kontrolü
$P_d = \phi P_n = 0.9 \times 781.16 = 703.04 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{781.16}{1.67} = 467.76 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{668}{703.04} = 0.95 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{450}{467.76} = 0.96 \leq 1.0 \checkmark$

## Örnek 14.11

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen kutu-kutu eleman kafes sistem X-birleşimi, Kutu 200×200×8 enkesitli bir başlık elemanı ile Kutu 150×200×8 enkesitli örgü elemanlarından oluşmaktadır. Birleşim, örgü elemanları arasındaki mesafe 25mm olacak şekilde teşkil edilmiştir. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Kutu elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Başlık elemanı

(Kutu 200×200×8)

$$H = 200 \text{ mm} \quad B = 200 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

Örgü elemanları

(Kutu 150×200×8)

$$H_b = 150 \text{ mm} \quad B_b = 200 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

### Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.2.2A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 35^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{B}{t} = \frac{200}{7.44} = 26.9 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H}{t} = \frac{200}{7.44} = 26.9 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{200}{7.44} = 26.9 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{150}{7.44} = 20.2 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{200}{7.44} = 26.9 \leq 1.25 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 33.7 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{150}{7.44} = 20.2 \leq 1.25 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 33.7 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{B} = \frac{200}{200} = 1.0 \geq 0.25 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{B} = \frac{150}{200} = 0.75 \geq 0.25 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H}{B} = \frac{200}{200} = 1.0 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H_b}{B_b} = \frac{150}{200} = 0.75 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

X-birleşimi uygulama sınırları içerisinde olup mevcut aksenal kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.2.2 uyarınca kontrol edilebilir.

YDKT	GKT
Örgü elemanı birleşiminin gerekli dayanım	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 80 + 1.6 \times 80 = 224 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 80 + 80 = 160 \text{ kN}$



Başlık elemanı cidarında yerel akma sınır durumu,  $\beta = 1.0$  için

$$\beta = \frac{B_b}{B} = \frac{200}{200} = 1.0$$

Başlık elemanı cidarında yerel akma için karakteristik aksenal kuvvet dayanımı

$$k = \text{kutu enkesitin dış köşe yarıçapı} \geq 1.5t = 1.5 \times 7.44 = 11.16 \text{ mm} \checkmark$$

$$l_b = 2 \left( \frac{H_b}{\sin \theta} \right) + 25 = 2 \times \left( \frac{150}{\sin 35} \right) + 25 = 548 \text{ mm}$$

$$P_n \sin \theta = 2F_y t (5k + l_b) \quad (14.2.9)$$

$$P_n = \frac{1}{\sin 35} \times 2 \times 275 \times 7.44 \times (5 \times 11.16 + 548) \times 10^{-3} = 4307.6 \text{ kN}$$

$$P_n = \frac{4307.6}{2} = 2153.8 \text{ kN} \quad (\text{her bir örgü elemanı için})$$

YDKT	GKT
<b>a.</b> Tasarım aksenal kuvveti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli aksenal kuvvet dayanımının kontrolü
$P_d = \phi P_n = 1.0 \times 2153.8 = 2153.8 \text{ kN}$	$P_{eg} = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{2153.8}{1.5} = 1435.9 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{224}{2153.8} = 0.10 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_{eg}} = \frac{160}{1435.9} = 0.11 \leq 1.0 \checkmark$

Başlık elemanı cidarında yerel buruşma sınır durumu

$\beta = 1.0$  için ve örgü elemanı basınç etkisinde olduğu durumda

Başlık elemanı cidarında yerel buruşma için karakteristik aksenal kuvvet dayanımı

$$\text{Başlık elemanı çekme altında olduğu için } Q_f = 1.0 \quad (14.1.5a)$$

$$P_n \sin \theta = \left( \frac{48t^3}{H - 3t} \right) \sqrt{EF_y} Q_f \quad (14.2.11)$$

$$P_n = \frac{1}{\sin 35} \times \left( \frac{48 \times 7.44^3}{200 - 3 \times 7.44} \right) \sqrt{200000 \times 275} \times 1.0 \times 10^{-3} = 1438.5 \text{ kN} \quad (14.2.11)$$

$$P_n = \frac{1438.5}{2} = 719.3 \text{ kN} \quad (\text{her bir örgü elemanı için})$$

YDKT	GKT
<b>a. Tasarım aksenal kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli aksenal kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 0.9 \times 719.3 = 647.4 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{719.3}{1.67} = 430.7 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{224}{647.4} = 0.35 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{160}{430.7} = 0.37 \leq 1.0 \checkmark$

Eşit olmayan aksenal kuvvetler nedeniyle örgü elemanlarında yerel akma sınır durumu

$\beta=1.0 > 0.85$  için,

Eşit olmayan aksenal kuvvetler nedeniyle örgü elemanlarında karakteristik dayanım

$$b_{coi} = \frac{10}{B/t} \left( \frac{F_y t}{F_{yb} t_b} \right) B_b \leq B_b \quad (14.2.13)$$

$$b_{coi} = \frac{10}{200/7.44} \left( \frac{275 \times 7.44}{275 \times 7.44} \right) \times 200 = 74.4 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm} \checkmark$$

$$P_n = F_{yb} t_b (2H_b + 2b_{coi} - 4t_b) \quad (14.2.12)$$

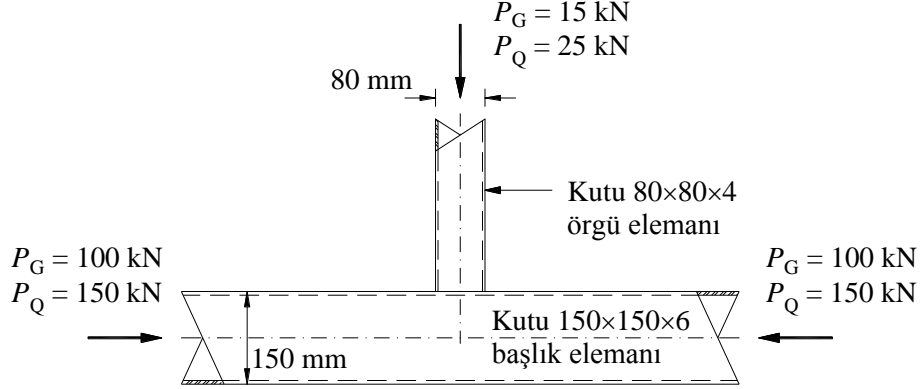
$$P_n = 275 \times 7.44 \times (2 \times 150 + 2 \times 74.4 - 4 \times 7.44) \times 10^{-3} = 857.4 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>a. Tasarım aksenal kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli aksenal kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 0.95 \times 857.4 = 814.5 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{857.4}{1.58} = 542.7 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{224}{814.5} = 0.28 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{160}{542.7} = 0.29 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 14.12

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen kutu-kutu eleman kafes sistem T-birleşimi, Kutu 150×150×6 enkesitli bir başlık elemanı ile Kutu 80×80×4 enkesitli bir örgü elemanından oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Kutu elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Başlık elemanı

(Kutu 150×150×6)

$$A_g = 3223 \text{ mm}^2 \quad H = 150 \text{ mm} \quad B = 150 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 6 = 5.58 \text{ mm}$$

Örgü elemanları

(Kutu 80×80×4)

$$H_b = 80 \text{ mm} \quad B_b = 80 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 4 = 3.72 \text{ mm}$$

### Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.2.2A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 90^\circ \geq 30^\circ \quad \checkmark$$

$$\frac{B}{t} = \frac{H}{t} = \frac{150}{5.58} = 26.9 \leq 35 \quad \checkmark$$

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{H_b}{t_b} = \frac{80}{3.72} = 21.5 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{H_b}{t_b} = \frac{80}{3.72} = 21.5 \leq 1.25 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 33.7 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{B} = \frac{H_b}{B} = \frac{80}{150} = 0.53 \geq 0.25 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H}{B} = \frac{150}{150} = 1.0 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H_b}{B_b} = \frac{80}{80} = 1.0 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

T-birleşimi uygulama sınırları içerisinde olup mevcut aksel kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.2.2 uyarınca kontrol edilebilir.

YDKT	GKT
Örgü elemanı birleşiminin gerekli dayanım	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 15 + 1.6 \times 25 = 58 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 15 + 25 = 40 \text{ kN}$

Başlık elemanı cidarında plastikleşme sınır durumu

$$\beta = \frac{B_b}{B} = \frac{80}{150} = 0.53 \leq 0.85 \text{ için,}$$

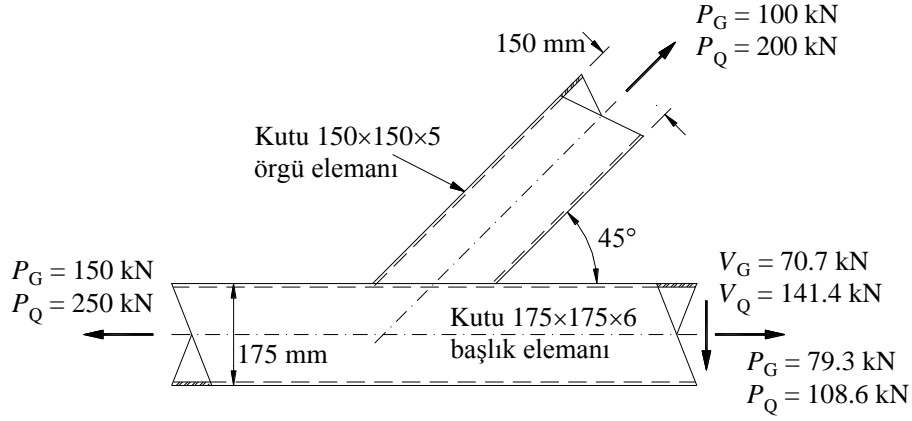
YDKT	GKT
Başlık elemanının gerekli dayanımları, $P_{ro}$ ve $M_{ro}$	
$P_{ro} = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_{ro} = 1.2 \times 100 + 1.6 \times 150 = 360 \text{ kN}$	$P_{ro} = P_a = P_G + P_Q$ $P_{ro} = 100 + 150 = 250 \text{ kN}$
$F_c = F_y = 275 \text{ MPa}$	$F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c W_e} \right  \quad (14.1.6)$	

$U = \left  \frac{360 \times 10^3}{275 \times 3223} + 0 \right  = 0.41$	$U = \left  \frac{250 \times 10^3}{165 \times 3223} + 0 \right  = 0.47$
$Q_f = 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta} \leq 1.0$ (14.1.16)	
$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.41}{0.53} = 0.98$	$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.47}{0.53} = 0.94$
Başlık elemanı cidarında plastikleşme sınır durumunda karakteristik dayanım, $\beta = 0.53 \leq 0.85$ için	
$P_n \sin \theta = F_y t^2 \left[ \frac{2\eta}{(1-\beta)} + \frac{4}{\sqrt{1-\beta}} \right] Q_f$ (14.2.7)	
$P_n = \frac{1}{\sin 90} 275 \times 5.58^2 \times 0.98 \times 10^{-3} \times \left[ \frac{2 \times 0.53}{(1-0.53)} + \frac{4}{\sqrt{1-0.53}} \right] = 67.9$	$P_n = \frac{1}{\sin 90} 275 \times 5.58^2 \times 0.94 \times 10^{-3} \times \left[ \frac{2 \times 0.53}{(1-0.53)} + \frac{4}{\sqrt{1-0.53}} \right] = 65.1 \text{ kN}$
<b>a. Tasarım eksenel kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli eksenel kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 1.0 \times 67.9 = 67.9 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{65.1}{1.5} = 43.4 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{58}{67.9} = 0.85 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{40}{43.4} = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 14.13

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen kutu-kutu eleman kafes sistem Y-birleşimi, Kutu 175×175×6 enkesitli bir başlık elemanı ile Kutu 150×150×5 enkesitli bir örgü elemanından oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

- Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Kutu elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Başlık elemanı

(Kutu 175×175×6)

$$H = 175 \text{ mm} \quad B = 175 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 6 = 5.58 \text{ mm}$$

Örgü elemanı

(Kutu 150×150×5)

$$H_b = 150 \text{ mm} \quad B_b = 150 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 5 = 4.65 \text{ mm}$$

### Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.2.2A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 45^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{B}{t} = \frac{H}{t} = \frac{175}{5.58} = 31.4 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{H_b}{t_b} = \frac{150}{4.65} = 32.3 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{B} = \frac{H_b}{B} = \frac{150}{175} = 0.86 \geq 0.25 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H}{B} = \frac{175}{175} = 1.0 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H_b}{B_b} = \frac{150}{150} = 1.0 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Y-birleşimi uygulama sınırları içerisinde olup, mevcut aksenal kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.2.2 uyarınca kontrol edilebilir.

YDKT	GKT
Örgü elemanı birleşiminin gerekli dayanım	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 100 + 1.6 \times 200 = 440 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 100 + 200 = 300 \text{ kN}$

Kayma etkisinde akma (zımbalama) sınır durumu

$$\beta = \frac{B_b}{B} = \frac{150}{175} = 0.86$$

$$\gamma = \frac{B}{2t} = \frac{175}{2 \times 5.58} = 15.7$$

$$0.85 \leq (\beta = 0.86) \leq 1 - \frac{1}{\gamma} = 1 - \frac{1}{15.7} = 0.94 \text{ durumu için,}$$

$$l_b = \frac{H_b}{\sin\theta} = \frac{150}{\sin 45} = 212.1 \text{ mm}$$

$$\eta = \frac{l_b}{B} = \frac{212.1}{175} = 1.21$$

$$\beta_{\text{eop}} = \frac{5\beta}{\gamma} = \frac{5 \times 0.86}{15.7} = 0.27 \leq \beta = 0.86 \quad (14.2.25)$$

Kayma etkisinde akma (zımbalama) sınır durumunda karakteristik dayanımı

$$P_n \sin \theta = 0.6 F_y t B (2\eta + 2\beta_{\text{cop}}) \quad (14.2.8)$$

$$P_n = \frac{1}{\sin 45} \times 0.6 \times 275 \times 5.58 \times 175 \times (2 \times 1.21 + 2 \times 0.27) \times 10^{-3} = 674.47 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
a. Tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımının kontrolü	b. Güvenli aksenal basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi P_n = 0.95 \times 674.47 = 640.75 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{674.47}{1.58} = 426.88 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{440}{640.75} = 0.69 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{300}{426.88} = 0.70 \leq 1.0 \checkmark$

Eşit olmayan aksenal kuvvetler nedeniyle örgü elemanlarında yerel akma sınır durumu,

$\beta = 0.86 > 0.85$  olduğu durum için,

$$b_{\text{coi}} = \frac{10}{B/t} \left( \frac{F_y t}{F_{yb} t_b} \right) B_b \leq B_b \quad (14.2.13)$$

$$b_{\text{coi}} = \frac{10}{175/5.58} \left( \frac{275 \times 5.58}{275 \times 4.65} \right) \times 150 = 57.4 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$$

Eşit olmayan aksenal kuvvetler nedeniyle örgü elemanında yerel akma sınır durumunda karakteristik dayanım

$$P_n = F_{yb} t_b (2H_b + 2b_{\text{coi}} - 4t_b) \quad (14.2.12)$$

$$P_n = 275 \times 4.65 \times (2 \times 150 + 2 \times 57.4 - 4 \times 4.65) \times 10^{-3} = 506.6 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
a. Tasarım aksenal kuvvet dayanımının kontrolü	b. Güvenli aksenal kuvvet dayanımının kontrolü
$P_d = \phi P_n = 0.95 \times 506.6 = 481.3 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{506.6}{1.58} = 320.6 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{440}{481.3} = 0.91 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{300}{320.6} = 0.94 \leq 1.0 \checkmark$

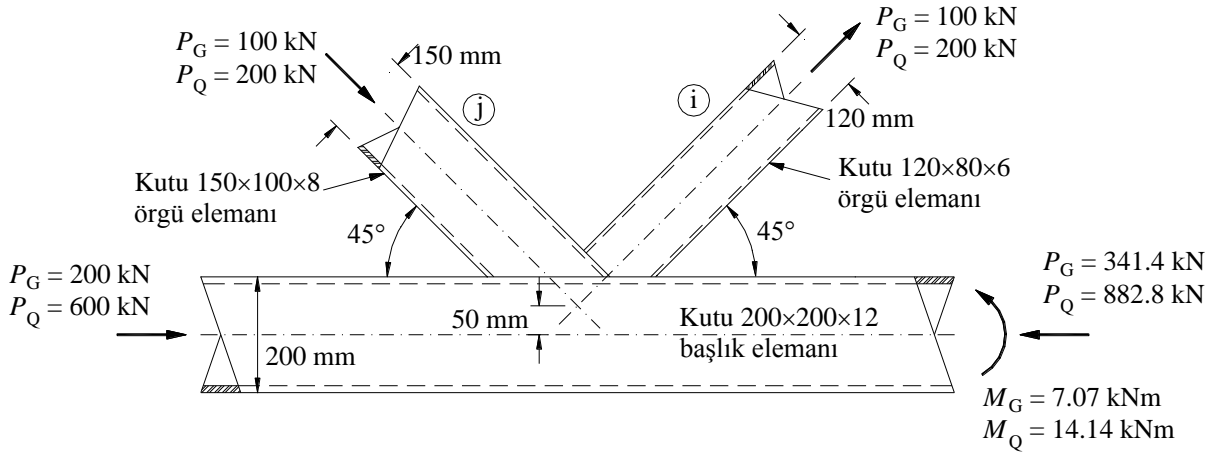


### Örnek 14.14

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen kutu-kutu eleman kafes sistem K-birleşimi, Kutu 200×200×12 enkesitli bir başlık elemanı ile Kutu 150×100×8 ve Kutu 120×80×6 enkesitli iki örgü elemanından oluşmaktadır. Basınç etkisindeki örgü elemanı kuvveti ile çekme etkisindeki örgü elemanı kuvvetinin düşey bileşenleri arasındaki fark %20 oranını aşmamaktadır. Birleşimin geometrisi nedeniyle başlık elemanı ile örgü elemanlarının eksenleri arasında meydana gelen dışmerkezlilik, başlık elemanında bir eğilme momenti oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Kutu elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Başlık elemanı

(Kutu 200×200×12)

$$A_g = 7821 \text{ mm}^2 \quad H = 200 \text{ mm} \quad B = 200 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 12 = 11.16 \text{ mm}$$

Örgü elemanı

(Kutu 120×80×6)

$$A_{bi} = 2009 \text{ mm}^2 \quad H_{bi} = 120 \text{ mm} \quad B_{bi} = 80 \text{ mm} \quad t_{bi} = 0.93 \times 6 = 5.58 \text{ mm}$$

Örgü elemanı

(Kutu 150×100×8)

$$A_{bj} = 3274 \text{ mm}^2 \quad H_{bj} = 150 \text{ mm} \quad B_{bj} = 100 \text{ mm} \quad t_{bj} = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

### Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.2.2A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$e = -50 \text{ mm}$$

$$l_{ov} = \left( \frac{H_{bj}}{2\sin\theta_{bj}} + \frac{H_{bi}}{2\sin\theta_{bi}} \right) - \left( \frac{e + H/2}{\frac{\sin\theta_{bj}\sin\theta_{bi}}{\sin(\theta_{bj} + \theta_{bi})}} \right)$$

$$l_{ov} = \left( \frac{150}{2\sin 45} + \frac{120}{2\sin 45} \right) - \left( \frac{-50 + 200/2}{\frac{\sin 45 \times \sin 45}{\sin(45 + 45)}} \right) = 90.92 \text{ mm}$$

$$l_p = \frac{120}{\sin 45} = 169.71 \text{ mm}$$

$$O_v = \frac{l_{ov}}{l_p} = \frac{90.92}{169.71} \times 100 = \%54$$

$$\%25 \leq (O_v = \%54) \leq \%100 \checkmark$$

$$\theta_{bi} = \theta_{bj} = 45^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{B}{t} = \frac{200}{11.16} = 17.9 \leq 30 \checkmark$$

$$\frac{H}{t} = \frac{200}{11.16} = 17.9 \leq 35 \checkmark$$

Çekme etkisindeki Kutu 120×80×6 enkesitli örgü elemanı

$$\frac{B_{bi}}{t_{bi}} = \frac{80}{5.58} = 14.3 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H_{bi}}{t_{bi}} = \frac{120}{5.58} = 21.5 \leq 35 \checkmark$$

Basınç etkisindeki Kutu 150×100×8 enkesitli örgü elemanı

$$\frac{B_{bj}}{t_{bj}} = \frac{100}{7.44} = 13.4 \leq 1.1 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 29.7 \checkmark$$

$$\frac{H_{bj}}{t_{bj}} = \frac{150}{7.44} = 20.2 \leq 1.1 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 29.7 \checkmark$$

$$\frac{B_{bi}}{B} = \frac{80}{200} = 0.4 \geq 0.25 \checkmark$$

$$\frac{H_{bi}}{B} = \frac{120}{200} = 0.6 \geq 0.25 \checkmark$$

$$\frac{B_{bj}}{B} = \frac{100}{200} = 0.5 \geq 0.25 \checkmark$$

$$\frac{H_{bj}}{B} = \frac{150}{200} = 0.75 \geq 0.25 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H}{B} = \frac{200}{200} = 1.0 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H_{bi}}{B_{bi}} = \frac{120}{80} = 1.5 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H_{bj}}{B_{bj}} = \frac{150}{100} = 1.5 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$\frac{B_{bi}}{B_{bj}} = \frac{80}{100} = 0.8 \geq 0.75 \checkmark$$

$$\frac{t_{bi}}{t_{bj}} = \frac{5.58}{7.44} = 0.75 \leq 1.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Bindirmeli K-birleşimi uygulama sınırları içerisinde olup mevcut aksenal kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.2.2 uyarınca kontrol edilebilir.

YDKT	GKT
Örgü elemanlarının birleşimleri için gerekli dayanımlar	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 100 + 1.6 \times 200 = 440 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 100 + 200 = 300 \text{ kN}$

Eşit olmayan aksenal kuvvetler nedeniyle örgü elemanlarında yerel akma sınır durumu

$$b_{eoi} = \frac{10}{B/t} \left( \frac{F_y t}{F_{ybi} t_{bi}} \right) B_{bi} \leq B_{bi} \quad (14.2.20)$$

$$b_{eoi} = \frac{10}{200/11.16} \left( \frac{275 \times 11.16}{275 \times 5.58} \right) \times 80 = 89.28 \leq 80 \text{ mm}$$

$$b_{eov} = \frac{10}{B_{bj}/t_{bj}} \left( \frac{F_{ybj} t_{bj}}{F_{ybi} t_{bi}} \right) B_{bi} \leq B_{bi} \quad (14.2.21)$$

$$b_{eov} = \frac{10}{100/7.44} \left( \frac{275 \times 7.44}{275 \times 5.58} \right) \times 80 = 79.36 \leq 80 \text{ mm}$$

%50 ≤ (O<sub>v</sub> = %54) ≤ %80 olduğundan,

Eşit olmayan aksenal kuvvetler nedeniyle örgü elemanlarında karakteristik dayanım

$$P_{n,i} = F_{yb} t_{bi} [2H_{bi} - 4t_{bi} + b_{eoi} + b_{eov}] \quad (14.2.18)$$

$$P_{n,i} = 275 \times 5.58 \times [2 \times 120 - 4 \times 5.58 + 80 + 79.36] \times 10^{-3} = 578.57 \text{ kN}$$

$$P_{n,j} = P_{n,i} \left( \frac{F_{ybj} A_{bj}}{F_{ybi} A_{bi}} \right) = 578.57 \times \left( \frac{275 \times 3274}{275 \times 2009} \right) = 942.88 \text{ kN} \quad (14.2.22)$$

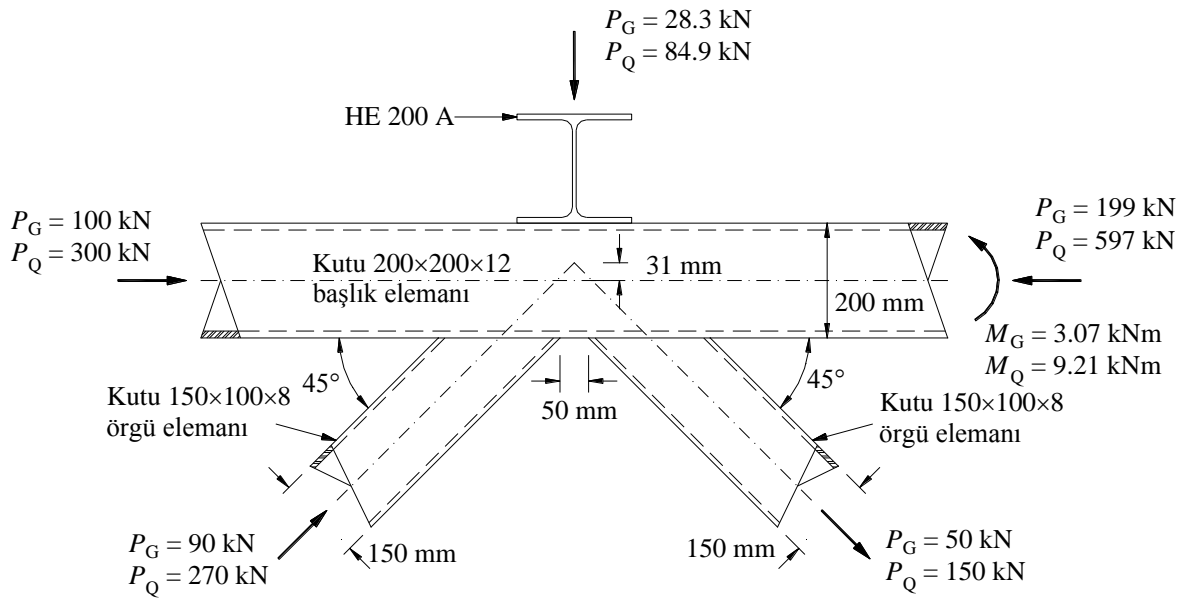
YDKT	GKT
<b>a.</b> Örgü elemanı, (i) için tasarım aksenal kuvvet dayanımını kontrolü	<b>b.</b> Örgü elemanı (i) için güvenli aksenal kuvvet dayanımının kontrolü
$P_d = P_n = 0.95 \times 578.57 = 549.64 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{578.57}{1.58} = 366.18 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{440}{549.64} = 0.80 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{300}{366.18} = 0.82 \leq 1.0 \checkmark$
<b>a.</b> Örgü elemanı, (j) için tasarım aksenal kuvvet dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Örgü elemanı, (j) için güvenli aksenal kuvvet dayanımının kontrolü
$P_d = \phi P_n = 0.95 \times 942.88 = 895.74 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{942.88}{1.58} = 596.76 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{440}{895.74} = 0.49 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{300}{596.76} = 0.50 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 14.15

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen kutu-eleman kafes sistem birleşimi, Kutu 200×200×12 enkesitli bir başlık elemanı ile Kutu 150×100×8 enkesitli iki örgü elemanından oluşmaktadır. Basınç etkisindeki örgü elemanı kuvveti ile çekme etkisindeki örgü elemanı kuvvetinin düşey bileşenleri arasındaki fark %20 oranını aştığından birleşim, hem ara uzaklıklı K-birleşimi hem de X-birleşimi olarak incelenmelidir. Birleşimin geometrisi nedeniyle başlık elemanı ile örgü elemanlarının eksenleri arasında meydana gelen dışmerkezlilik, başlık elemanında bir eğilme momenti oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

a. Birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)

b. Birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Kutu elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Başlık elemanı

(Kutu 200×200×12)

$$A_g = 7821 \text{ mm}^2 \quad H = 200 \text{ mm} \quad B = 200 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 12 = 11.16 \text{ mm}$$

Çekme örgü elemanı

(Kutu 150×100×8)

$$A_b = 3274 \text{ mm}^2 \quad H_b = 150 \text{ mm} \quad B_b = 100 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

Basınç örgü elemanı  
(Kutu 150×100×8)

$$A_b = 3274 \text{ mm}^2 \quad H_b = 150 \text{ mm} \quad B_b = 100 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

### Çözüm

$$P_{\text{basınç örgü elemanı}} = 90 + 270 = 360 \text{ kN}$$

$$P_{\text{çekme örgü elemanı}} = 50 + 150 = 200 \text{ kN}$$

### Birleşimin sınıflandırılması

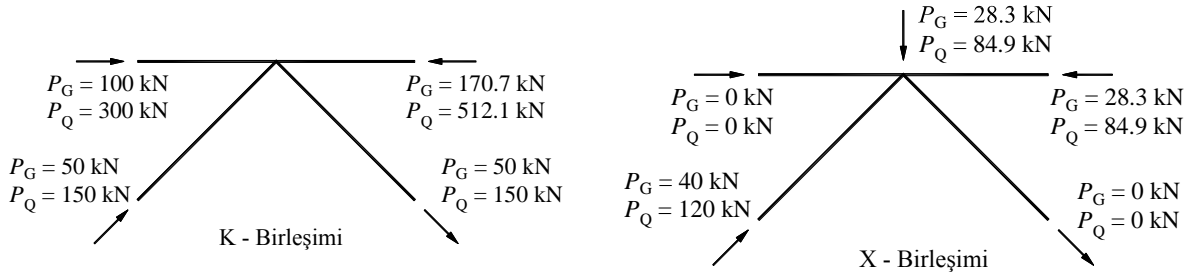
Yönetmelik 14.2(b) uyarınca,

$$0.8 \leq \frac{P_{\text{basınç örgü elemanı}} \sin \theta_{\text{basınç örgü elemanı}}}{P_{\text{çekme örgü elemanı}} \sin \theta_{\text{çekme örgü elemanı}}} \leq 1.2$$

$$0.8 \leq \frac{(360)(\sin 45)}{(200)(\sin 45)} = 1.80 \leq 1.2 \quad \times$$

Yönetmelik 14.2(b) ve 14.2(c) uyarınca birleşim, K-birleşimi ve X-birleşiminin bir kombinasyonu olarak dikkate alınmalıdır. Böylece birleşim için verilen başlangıçtaki kuvvet dağılımı, her iki birleşim tipi (K- ve X-birleşimleri) için hesaplanan değerlerin toplamına eşittir.

Birleşime etkileyen yüklerin ara uzaklıklı K-birleşimi ve X-birleşimi için tanımlanması



### Ara uzaklıklı K-birleşimi olarak inceleme

$$e = \frac{(\sin 45)^2}{\sin 90} \left( \frac{150}{2 \sin 45} + \frac{150}{2 \sin 45} + 50 \right) - \frac{200}{2} = 31 \text{ mm}$$

$$-0.55 \leq \left( \frac{e}{H} = \frac{31}{200} = 0.16 \right) \leq 0.25 \quad \checkmark$$

$$\theta_{b1} = \theta_{b2} = 45^\circ \geq 30^\circ \quad \checkmark$$

$$\frac{B}{t} = \frac{H}{t} = \frac{200}{11.16} = 17.9 \leq 35 \quad \checkmark$$

Çekme etkisindeki örgü elemanı

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{100}{7.44} = 13.4 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{150}{7.44} = 20.2 \leq 35 \checkmark$$

Basınç etkisindeki örgü elemanı

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{100}{7.44} = 13.4 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{150}{7.44} = 20.2 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{100}{7.44} = 13.4 \leq 1.25 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 33.7 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{150}{7.44} = 20.2 \leq 1.25 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 33.7 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H}{B} = \frac{200}{200} = 1.0 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H_b}{B_b} = \frac{150}{100} = 1.5 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$\gamma = \frac{B}{2t} = \frac{200}{2 \times 11.16} = 8.96$$

$$\frac{B_b}{B} = \frac{100}{200} = 0.5 \geq 0.1 + \frac{\gamma}{50} = 0.1 + \frac{8.96}{50} = 0.28 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{H} = \frac{150}{200} = 0.75 \geq 0.1 + \frac{\gamma}{50} = 0.1 + \frac{8.96}{50} = 0.28 \checkmark$$

$$\beta_{ef} = \left[ (B_b + H_b)_{\text{basınç örgü elemanı}} + (B_b + H_b)_{\text{çekme örgü elemanı}} \right] / 4B$$

(14.2.4)

$$\beta_{ef} = \left[ (100 + 150) + (100 + 150) \right] / (4 \times 200) = 0.63 \geq 0.35 \checkmark$$

$$\zeta = \frac{g}{B} = \frac{50}{200} = 0.25 \geq 0.5(1 - \beta_{ef}) = 0.5 \times (1 - 0.63) = 0.19 \checkmark$$

$$g = 50 \geq t_{b \text{ basınç}} + t_{b \text{ çekme}} = 7.44 + 7.44 = 14.88 \checkmark$$

$$(B_b)_{\text{küçük eleman}} = 100 \geq 0.63 \times (B_b)_{\text{büyük eleman}} = 0.63 \times 100 = 63 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Birleşim ara uzaklıklı K-birleşimi uygulama sınırları içerisinde olup mevcut aksenal kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.2.2 uyarınca kontrol edilebilir.

YDKT	GKT
Basınç ve çekme etkisi altındaki örgü elemanları için gerekli dayanımlar	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 50 + 1.6 \times 150 = 300 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 50 + 150 = 200 \text{ kN}$

#### Başlık elemanı cidarında plastikleşme sınır durumu

YDKT	GKT
Başlık elemanının gerekli dayanımı, $P_{ro}$	
$P_{ro} = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_{ro} = 1.2 \times 170.7 + 1.6 \times 512.1 = 1024 \text{ kN}$	$P_{ro} = P_a = P_G + P_Q$ $P_{ro} = 170.7 + 512.1 = 683 \text{ kN}$
$F_c = F_y = 275 \text{ MPa}$	$F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c W_e} \right  \quad (14.1.6)$	
$U = \left  \frac{1024 \times 10^3}{275 \times 7821} + 0 \right  = 0.48$	$U = \left  \frac{683 \times 10^3}{165 \times 7821} + 0 \right  = 0.53$
$Q_f = 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta_{ef}} \leq 1.0 \quad (14.2.23)$	
$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.48}{0.63} \approx 1.0$	$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.53}{0.63} = 0.96$
Başlık elemanı cidarında plastikleşme için karakteristik aksenal kuvvet dayanımı	
$P_n \sin \theta = F_y t^2 (9.8 \beta_{ef} \gamma^{0.5}) Q_f \quad (14.2.14)$	
$P_n = \frac{1}{\sin 45} \times 275 \times 11.16^2 \times (9.8 \times 0.63 \times 8.96^{0.5}) \times 1.0 \times 10^{-3} = 895.15 \text{ kN}$	$P_n = \frac{1}{\sin 45} \times 275 \times 11.16^2 \times (9.8 \times 0.63 \times 8.96^{0.5}) \times 0.96 \times 10^{-3} = 859.35 \text{ kN}$
<b>a. Tasarım aksenal kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli aksenal kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 0.9 \times 895.16 = 805.64 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{859.35}{1.67} = 514.58 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{300}{805.64} = 0.37 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{200}{514.58} = 0.39 \leq 1.0 \checkmark$



### Kayma etkisinde akma (zımbalama) sınır durumu

$$B_b = 100 \leq B - 2t = 200 - 2 \times 11.16 = 177.68 \text{ mm} \text{ olduğundan,}$$

$$\beta = \frac{B_b}{B} = \frac{100}{200} = 0.5$$

$$\beta_{\text{eop}} = \frac{5\beta}{\gamma} = \frac{5 \times 0.5}{8.96} = 0.28 \leq \beta = 0.5 \quad (14.2.25)$$

$$l_b = \frac{H_b}{\sin\theta} = \frac{150}{\sin 45} = 212.13 \text{ mm} \quad \eta = \frac{l_b}{B} = \frac{212.13}{200} = 1.06$$

Kayma etkisinde akma (zımbalama) için karakteristik aksel kuvvet dayanımı

$$P_n \sin\theta = 0.6 F_y t B (2\eta + \beta + \beta_{\text{eop}}) \quad (14.2.15)$$

$$P_n = \frac{1}{\sin 45} \times 0.6 \times 275 \times 11.16 \times 200 \times (2 \times 1.06 + 0.5 + 0.28) \times 10^{-3} = 1510.4 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>a.</b> Tasarım aksel kuvveti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli aksel kuvvet dayanımının kontrolü
$P_d = \phi P_n = 0.95 \times 1510.4 = 1434.9 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{1510.4}{1.58} = 955.9 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{300}{1434.9} = 0.21 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{200}{955.9} = 0.21 \leq 1.0 \checkmark$

### Eşit olmayan aksel kuvvetler nedeniyle örgü elemanlarında yerel akma sınır durumu

$$\frac{B}{t} = \frac{200}{11.16} = 17.92 \geq 15 \quad \text{kontrole gerek yoktur}$$

### X-birleşimi olarak inceleme

$$\theta_{b1} = \theta_{b2} = 45^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{B}{t} = \frac{H}{t} = \frac{200}{11.16} = 17.9 \leq 35 \checkmark$$

### Çekme etkisindeki örgü elemanı

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{100}{7.44} = 13.4 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{150}{7.44} = 20.2 \leq 35 \checkmark$$

### Basınç etkisindeki örgü elemanı

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{100}{7.44} = 13.4 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{150}{7.44} = 20.2 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{100}{7.44} = 13.4 \leq 1.25 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 33.7 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{150}{7.44} = 20.2 \leq 1.25 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 33.7 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{B} = \frac{100}{200} = 0.5 \geq 0.25 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{B} = \frac{150}{200} = 0.75 \geq 0.25 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H}{B} = \frac{200}{200} = 1.0 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H_b}{B_b} = \frac{150}{100} = 1.5 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

Birleşim, X-birleşimi uygulama sınırları içerisinde olup mevcut aksenal kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.2.2 uyarınca kontrol edilebilir.

YDKT	GKT
Örgü elemanının gerekli dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 40 + 1.6 \times 120 = 240 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 40 + 120 = 160 \text{ kN}$

Başlık elemanı cidarında plastikleşme sınır durumu,

$\beta \leq 0.85$  için

YDKT	GKT
Başlık elemanının gerekli dayanımı, $P_{ro}$	
$P_{ro} = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_{ro} = 1.2 \times 28.3 + 1.6 \times 84.9 = 169.8 \text{ kN}$	$P_{ro} = P_a = P_G + P_Q$ $P_{ro} = 28.3 + 84.9 = 113.2 \text{ kN}$
$F_c = F_y = 275 \text{ MPa}$	$F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c W_e} \right  \quad (14.1.6)$	
$U = \left  \frac{169.8 \times 10^3}{275 \times 7821} + 0 \right  = 0.08$	$U = \left  \frac{113.2 \times 10^3}{165 \times 7821} + 0 \right  = 0.09$
$Q_f = 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta} \leq 1.0 \quad (14.1.16)$	
$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.08}{0.5} = 1.24 \geq 1.0$ $Q_f = 1.0$	$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.09}{0.5} = 1.23 \geq 1.0$ $Q_f = 1.0$
Başlık elemanı cidarında plastikleşme için karakteristik eksenel kuvvet dayanımı	
$P_n \sin \theta = F_y t^2 \left[ \frac{2\eta}{(1-\beta)} + \frac{4}{\sqrt{1-\beta}} \right] Q_f \quad (14.2.7)$	
$P_n \sin \theta = \frac{1}{\sin 45} \times 275 \times 11.16^2 \times$ $\left[ \frac{2 \times 1.06}{(1-0.5)} + \frac{4}{\sqrt{1-0.5}} \right] \times 1.0 \times 10^{-3} = 479.4 \text{ kN}$	$P_n \sin \theta = \frac{1}{\sin 45} \times 275 \times 11.16^2 \times$ $\left[ \frac{2 \times 1.06}{(1-0.5)} + \frac{4}{\sqrt{1-0.5}} \right] \times 1.0 \times 10^{-3} = 479.4 \text{ kN}$
<b>a. Tasarım eksenel kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli eksenel kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 1.0 \times 479.4 = 479.4 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{479.4}{1.5} = 319.6 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{240}{479.4} = 0.50 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{160}{319.6} = 0.50 \leq 1.0 \checkmark$

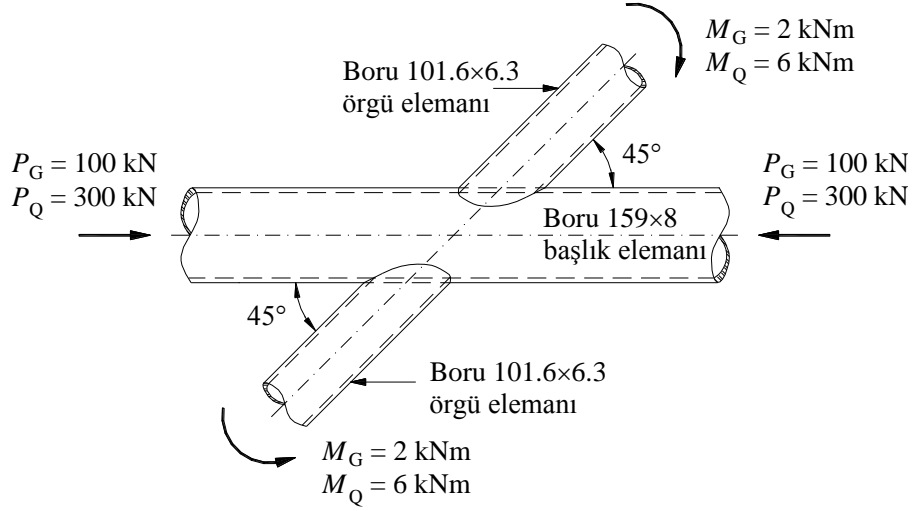
Birleşimin ara uzaklıklı K-birleşimi ve X-birleşimi olarak *Yönetmelik* 14.2 uyarınca kontrolü

YDKT	GKT
<p><b>a.</b> Birleşimin eksenel yük etkisi altında kontrolü (basınç elemanı)</p> $\left(\frac{P_u}{P_d}\right)_{K\text{-birleşimi}} + \left(\frac{P_u}{P_d}\right)_{X\text{-birleşimi}} =$ $0.37 + 0.50 = 0.87 \leq 1.0 \checkmark$	<p><b>b.</b> Birleşimin eksenel yük etkisi altında kontrolü (basınç elemanı)</p> $\left(\frac{P_a}{P_g}\right)_{K\text{-birleşimi}} + \left(\frac{P_a}{P_g}\right)_{X\text{-birleşimi}} =$ $0.37 + 0.50 = 0.87 \leq 1.0 \checkmark$
<p><b>a.</b> Birleşimin eksenel yük etkisi altında kontrolü (çekme elemanı)</p> $\left(\frac{P_u}{P_d}\right)_{K\text{-birleşimi}} + \left(\frac{P_u}{P_d}\right)_{X\text{-birleşimi}} =$ $0 + 0.50 = 0.50 \leq 1.0 \checkmark$	<p><b>b.</b> Birleşimin eksenel yük etkisi altında kontrolü (çekme elemanı)</p> $\left(\frac{P_a}{P_g}\right)_{K\text{-birleşimi}} + \left(\frac{P_a}{P_g}\right)_{X\text{-birleşimi}} =$ $0 + 0.50 = 0.50 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 14.16

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen boru-boru eleman kafes sistem X-birleşimi, Boru 159×8 enkesitli bir başlık elemanı ile Boru 101.6×6.3 enkesitli iki örgü elemanından oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

- Eğilme momenti etkisinde birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Eğilme momenti etkisinde birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Boru elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı boru elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Başlık elemanı

(Boru 159×8)

$$A_g = 3542 \text{ mm}^2 \quad D = 159 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

Örgü elemanları

(Boru 101.6×6.3)

$$D_b = 101.6 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 6.3 = 5.86 \text{ mm}$$

## Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.3.1A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 45^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{D}{t} = \frac{159}{7.44} = 21.4 \leq 40 \checkmark$$

$$\frac{D_b}{t_b} = \frac{101.6}{5.86} = 17.3 \leq 50 \checkmark$$

$$\frac{D_b}{t_b} = \frac{101.6}{5.86} = 17.3 \leq 0.05 \frac{E}{F_y} = 0.05 \times \frac{200000}{275} = 36.4 \checkmark$$

$$0.2 \leq \left( \frac{D_b}{D} = \frac{101.6}{159} = 0.64 \right) \leq 1.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

X-birleşimi uygulama sınırları içerisinde olup mevcut eğilme momenti dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.3.1 uyarınca kontrol edilebilir.

YDKT	GKT
Örgü elemanı birleşimi için gerekli dayanım	
$M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$ $M_u = 1.2 \times 2 + 1.6 \times 6 = 12 \text{ kNm}$	$M_a = M_G + M_Q$ $M_a = 2 + 6 = 8 \text{ kNm}$

X-birleşimi için başlık elemanında plastikleşme sınır durumu

YDKT	GKT
Başlık elemanının gerekli dayanımları, $P_{ro}$ ve $M_{ro}$	
$P_{ro} = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_{ro} = 1.2 \times 100 + 1.6 \times 300 = 600 \text{ kN}$	$P_{ro} = P_a = P_G + P_Q$ $P_{ro} = 100 + 300 = 400 \text{ kN}$
$M_{ro} = 0$	$M_{ro} = 0$
$F_c = F_y = 275 \text{ MPa}$	$F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c W_e} \right  \quad (14.1.6)$	
$U = \left  \frac{600 \times 10^3}{275 \times 3542} + 0 \right  = 0.62$	$U = \left  \frac{400 \times 10^3}{165 \times 3542} + 0 \right  = 0.69$
$Q_f = 1.0 - 0.3U(1+U) \quad (14.1.5b)$	
$Q_f = 1.0 - 0.3 \times 0.62 \times (1 + 0.62) = 0.70$	$Q_f = 1.0 - 0.3 \times 0.69 \times (1 + 0.69) = 0.65$
Başlık elemanında plastikleşme için karakteristik eğilme momenti dayanımı	
$\beta = \frac{D_b}{D} = \frac{101.6}{159} = 0.64$ $\gamma = \frac{D}{2t} = \frac{159}{2 \times 7.44} = 10.7$ $M_n \sin \theta = 5.39 F_y t^2 \gamma^{0.5} \beta D_b Q_f \quad (14.3.1)$	
$M_n = \frac{1}{\sin 45} 5.39 \times 275 \times 7.44^2 \times 10.7^{0.5} \times$ $0.64 \times 101.6 \times 0.70 \times 10^{-6} = 17.3 \text{ kNm}$	$M_n = \frac{1}{\sin 45} 5.39 \times 275 \times 7.44^2 \times 10.7^{0.5} \times$ $0.64 \times 101.6 \times 0.65 \times 10^{-6} = 16.0 \text{ kNm}$
<b>a.</b> Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi M_n = 0.9 \times 17.3 = 15.57 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{16.0}{1.67} = 9.58 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{12}{15.57} = 0.77 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{8}{9.58} = 0.84 \leq 1.0 \checkmark$

X-birleşimi için için kayma etkisinde akma sınır durumu

$D_b \leq (D - 2t)$  koşulunun sağlanması gerekmektedir

$$101.6 \leq (159 - 2 \times 7.44) = 144.1 \checkmark$$

Başlık elemanında kayma etkisinde akma için karakteristik eğilme momenti dayanımı

$$M_n = 0.6F_y t D_b^2 \left( \frac{1 + 3\sin\theta}{4\sin^2\theta} \right) \quad (14.3.2)$$

$$M_n = 0.6 \times 275 \times 7.44 \times 101.6^2 \times \left( \frac{1 + 3\sin 45}{4\sin^2 45} \right) \times 10^{-6} = 19.8 \text{ kNm}$$

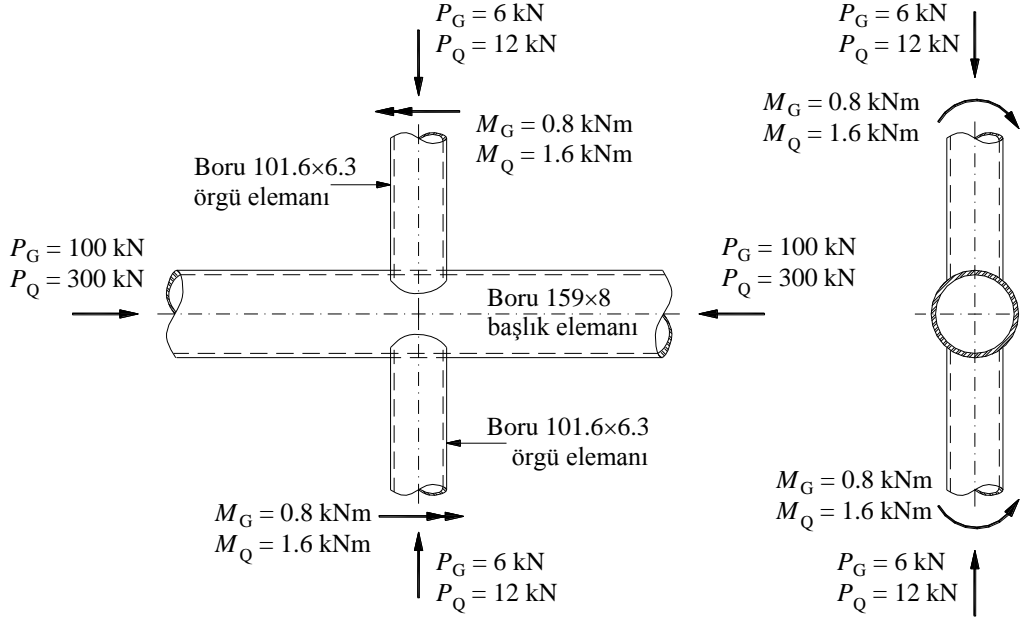
YDKT	GKT
<b>a.</b> Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi M_n = 0.95 \times 19.8 = 18.8 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{19.8}{1.58} = 12.5 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{12}{18.8} = 0.64 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{8}{12.5} = 0.64 \leq 1.0 \checkmark$



### Örnek 14.17

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen boru-boru eleman kafes sistem X-birleşimi, Boru 159×8 enkesitli bir başlık elemanı ile Boru 101.6×6.3 enkesitli iki örgü elemanından oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

- Eğilme momenti etkisinde birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Eğilme momenti etkisinde birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Boru elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı boru elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Başlık elemanı

(Boru 159×8)

$$A_g = 3542 \text{ mm}^2 \quad D = 159 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

Örgü elemanları

(Boru 101.6×6.3)

$$D_b = 101.6 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 6.3 = 5.86 \text{ mm}$$

## Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.2.1A ve Tablo 14.3.1A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 90^\circ \geq 30^\circ \checkmark$$

$$\frac{D}{t} = \frac{159}{7.44} = 21.4 \leq 40 \checkmark$$

$$\frac{D_b}{t_b} = \frac{101.6}{5.86} = 17.3 \leq 50 \checkmark$$

$$\frac{D_b}{t_b} = \frac{101.6}{5.86} = 17.3 \leq 0.05 \frac{E}{F_y} = 0.05 \times \frac{200000}{275} = 36.4 \checkmark$$

$$0.2 \leq \left( \frac{D_b}{D} = \frac{101.6}{159} = 0.64 \right) \leq 1.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

X-birleşimi uygulama sınırları içerisinde olup mevcut aksenal kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.2.1 ve mevcut eğilme momenti dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.3.1 uyarınca kontrol edilebilir.

YDKT	GKT
Örgü elemanı birleşiminin gerekli dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 6 + 1.6 \times 12 = 26.4 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 6 + 12 = 18 \text{ kN}$
$M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$ $M_u = 1.2 \times 0.8 + 1.6 \times 1.6 = 3.52 \text{ kNm}$	$M_a = M_G + M_Q$ $M_a = 0.8 + 1.6 = 2.4 \text{ kNm}$

*Yönetmelik* Tablo 14.2.1 uyarınca mevcut aksenal kuvvet dayanımlarının kontrolü aşağıda verilmiştir.

X-birleşimi için kayma etkisinde akma sınır durumu

$$D_b \leq (D - 2t) \text{ koşulunun sağlanması gerekmektedir}$$

$$101.6 \leq (159 - 2 \times 7.44) = 144.1 \checkmark$$

Başlık elemanında kayma etkisinde akma için karakteristik aksenal kuvvet dayanımı

$$P_n = 0.6F_y \pi t D_b \left( \frac{1 + \sin \theta}{2 \sin^2 \theta} \right) \quad (14.2.1)$$

$$P_n = 0.6 \times 275 \times 7.44 \times \pi \times 101.6 \times \left( \frac{1 + \sin 90}{2 \sin^2 90} \right) \times 10^{-3} = 391.8 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
a. Tasarım aksenal kuvveti dayanımının kontrolü	b. Güvenli aksenal kuvvet dayanımının kontrolü
$P_d = \phi P_n = 0.95 \times 391.8 = 372.2 \text{ kN}$	$P_{eg} = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{391.8}{1.58} = 248.0 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{26.4}{372.2} = 0.07 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_{eg}} = \frac{18}{248.0} = 0.07 \leq 1.0 \checkmark$

X-birleşimi için başlık elemanında plastikleşme sınır durumu

YDKT	GKT
Başlık elemanının gerekli dayanımları, $P_{ro}$ ve $M_{ro}$	
$P_{ro} = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_{ro} = 1.2 \times 100 + 1.6 \times 300 = 600 \text{ kN}$	$P_{ro} = P_a = P_G + P_Q$ $P_{ro} = 100 + 300 = 400 \text{ kN}$
$M_{ro} = 0$	$M_{ro} = 0$
$F_c = F_y = 275 \text{ MPa}$	$F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c W_e} \right $ (14.1.6)	
$U = \left  \frac{600 \times 10^3}{275 \times 3542} + 0 \right  = 0.62$	$U = \left  \frac{400 \times 10^3}{165 \times 3542} + 0 \right  = 0.69$
$Q_f = 1.0 - 0.3U(1+U)$ (14.1.5b)	
$Q_f = 1.0 - 0.3 \times 0.62 \times (1+0.62) = 0.70$	$Q_f = 1.0 - 0.3 \times 0.69 \times (1+0.69) = 0.65$
Başlık elemanında plastikleşme için karakteristik aksenal kuvvet dayanımı	
$P_n = \frac{1}{\sin \theta} F_y t^2 (3.1 + 15.6\beta^2) \gamma^{0.2} Q_f$ (14.2.2)	
$\beta = \frac{D_b}{D} = \frac{101.6}{159} = 0.64$	
$\gamma = \frac{D}{2t} = \frac{159}{2 \times 7.44} = 10.7$	
$P_n = \frac{1}{\sin 90} 275 \times 7.44^2 (3.1 + 15.6 \times 0.64^2) \times 10.7^{0.2} \times 0.70 \times 10^{-3} = 162.4 \text{ kN}$	$P_n = \frac{1}{\sin 90} 275 \times 7.44^2 (3.1 + 15.6 \times 0.64^2) \times 10.7^{0.2} \times 0.65 \times 10^{-3} = 150.8 \text{ kN}$

YDKT	GKT
<b>a. Tasarım eksenel kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli eksenel kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 0.9 \times 162.4 = 146.2 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{150.8}{1.67} = 90.3 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{26.4}{146.2} = 0.18 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{18}{90.3} = 0.20 \leq 1.0 \checkmark$

*Yönetmelik* Tablo 14.3.1 uyarınca mevcut eğilme momenti dayanımlarının kontrolü aşağıda verilmiştir.

#### X-birleşimi için başlık elemanında plastikleşme sınır durumu

Başlık elemanında plastikleşme için karakteristik eğilme momenti dayanımı	
$M_n \sin \theta = F_y t^2 D_b \left( \frac{3.0}{1 - 0.81\beta} \right) Q_f \quad (14.3.3)$	
$M_n = \frac{1}{\sin 90} \times 275 \times 7.44^2 \times 101.6 \times \left( \frac{3.0}{1 - 0.81 \times 0.64} \right) \times 0.70 \times 10^{-6} = 6.74 \text{ kNm}$	$M_n = \frac{1}{\sin 90} \times 275 \times 7.44^2 \times 101.6 \times \left( \frac{3.0}{1 - 0.81 \times 0.64} \right) \times 0.65 \times 10^{-6} = 6.26 \text{ kNm}$
YDKT	GKT
<b>a. Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>
$M_d = \phi M_n = 0.9 \times 6.74 = 6.07 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{6.26}{1.67} = 3.75 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{3.52}{6.07} = 0.58 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{2.4}{3.75} = 0.64 \leq 1.0 \checkmark$

#### X-birleşimi için kayma etkisinde akma kontrolü

$D_b \leq (D - 2t)$  koşulunun sağlanması gerekmektedir

$$101.6 \leq (159 - 2 \times 7.44) = 144.1 \checkmark$$

Başlık elemanında kayma etkisinde akma için karakteristik eğilme momenti dayanımı

$$M_n = 0.6 F_y t D_b^2 \left( \frac{3 + \sin \theta}{4 \sin^2 \theta} \right) \quad (14.3.4)$$

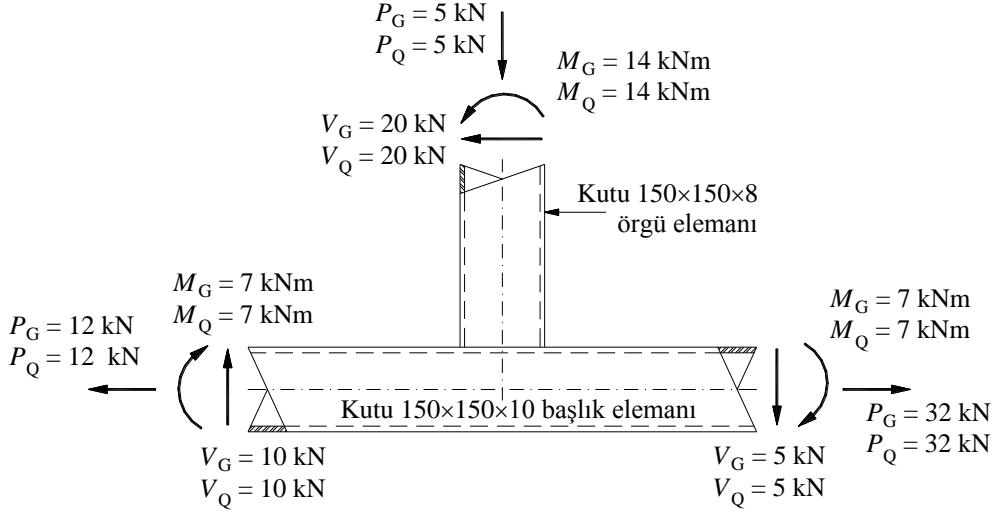
$$M_n = 0.6 \times 275 \times 7.44 \times 101.6^2 \times \left( \frac{3 + \sin 90}{4 \sin^2 90} \right) \times 10^{-6} = 12.67 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
<b>a. Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>
$M_d = \phi M_n = 0.95 \times 12.67 = 12.0 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{12.67}{1.58} = 8.0 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{3.52}{12.0} = 0.29 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{2.4}{8.0} = 0.30 \leq 1.0 \checkmark$
<b>a. Bileşik etkiler altında birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Bileşik etkiler altında birleşimin tasarım dayanımının kontrolü</b>
$\frac{P_r}{P_c} + \left( \frac{M_{r-ip}}{M_{c-ip}} \right)^2 + \left( \frac{M_{r-op}}{M_{c-op}} \right) \leq 1.0 \quad (14.3.5)$	$\frac{P_r}{P_c} + \left( \frac{M_{r-ip}}{M_{c-ip}} \right)^2 + \left( \frac{M_{r-op}}{M_{c-op}} \right) \leq 1.0 \quad (14.3.5)$
$0.18 + (0) + (0.58) = 0.76 \leq 1.0 \checkmark$	$0.20 + (0) + (0.64) = 0.84 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 14.18

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen kutu-kutu eleman kafes sistem T-birleşimi, Kutu 150×150×10 enkesitli bir başlık elemanı ile Kutu 150×150×8 enkesitli örgü elemanından oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

- Bileşik etkiler altında birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Bileşik etkiler altında birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Kutu elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Başlık elemanı

(Kutu 150×150×10)

$$A_g = 5234 \text{ mm}^2 \quad H = 150 \text{ mm} \quad B = 150 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 10 = 9.3 \text{ mm} \quad W_e = 231 \text{ cm}^3$$

Örgü elemanı

(Kutu 150×150×8)

$$W_{pb} = 227 \text{ cm}^3 \quad H_b = 150 \text{ mm} \quad B_b = 150 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 8 = 7.44 \text{ mm}$$

## Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.2.2A ve Tablo 14.3.2A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta = 90^\circ \geq 30^\circ \quad \theta \cong 90^\circ \checkmark$$

$$\frac{H}{t} = \frac{B}{t} = \frac{150}{9.3} = 16.1 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{B_b}{t_b} = \frac{150}{7.44} = 20.2 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{B_b}{t_b} = \frac{150}{7.44} = 20.2 \leq 1.25 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 33.7 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{B} = \frac{H_b}{H} = \frac{150}{150} = 1.0 \geq 0.25 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H}{B} = \frac{H_b}{B_b} = \frac{150}{150} = 1.0 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

T-birleşimi uygulama sınırları içerisinde olup mevcut aksenal kuvvet dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.2.2 ve mevcut eğilme momenti dayanımları *Yönetmelik* Tablo 14.3.2 uyarınca kontrol edilebilir.

YDKT	GKT
Örgü elemanının gerekli dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_u = 1.2 \times 5 + 1.6 \times 5 = 14 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 5 + 5 = 10 \text{ kN}$
$M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$ $M_u = 1.2 \times 14 + 1.6 \times 14 = 39.2 \text{ kNm}$	$M_a = M_G + M_Q$ $M_a = 14 + 14 = 28 \text{ kNm}$

### Eksenel kuvvet dayanımı

$$\beta = \frac{B_b}{B} = \frac{150}{150} = 1.0 \text{ olduğundan,}$$

Başlık elemanı cidarında yerel akma için karakteristik aksenal kuvvet dayanımı

$$P_n \sin \theta = 0.6 F_y t (5k + l_b) \quad (14.2.9)$$

$$k = \text{kutu enkesitin dış köşe yarıçapı} \geq 1.5t = 1.5 \times 9.3 = 13.95 \text{ mm} \checkmark$$

$$l_b = 150 \text{ mm}$$

$$P_n = \frac{1}{\sin 90} \times 2 \times 275 \times 9.3 \times (5 \times 13.95 + 150) \times 10^{-3} = 1124.0 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>a. Tasarım aksenal kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli aksenal kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 1.0 \times 1124.0 = 1124.0 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{1124}{1.5} = 749.3 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{14}{1124} = 0.012 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{10}{749.3} = 0.013 \leq 1.0 \checkmark$

Başlık elemanı cidarında yerel buruşma sınır durumu,  $\beta = 1.0$  ve örgü elemanı basınç etkisinde olduğu durumda,

YDKT	GKT
Başlık elemanının gerekli dayanımları, $P_{ro}$ ve $M_{ro}$	
$P_{ro} = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_{ro} = 1.2 \times 12 + 1.6 \times 12 = 33.6 \text{ kN}$ (çekme)	$P_{ro} = P_a = P_G + P_Q$ $P_{ro} = 12 + 12 = 24 \text{ kN}$ (çekme)
$M_{ro} = M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$ $M_{ro} = M_u = 1.2 \times 7 + 1.6 \times 7 = 19.6 \text{ kNm}$	$M_{ro} = M_a = M_G + M_Q$ $M_{ro} = M_a = 7 + 7 = 14 \text{ kNm}$
$F_c = F_y = 275 \text{ MPa}$	$F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c W_e} \right $ (14.1.6)	
$U = \left  \frac{-33.6 \times 10^3}{275 \times 5234} + \frac{19.6 \times 10^6}{275 \times 227 \times 10^3} \right  = 0.29$	$U = \left  \frac{-24 \times 10^3}{165 \times 5234} + \frac{14 \times 10^6}{165 \times 231 \times 10^3} \right  = 0.34$
$Q_f = 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta} \leq 1.0$ (14.1.16)	
$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.29}{1.0} = 1.18 \geq 1.0$ $Q_f = 1.0$	$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.34}{1.0} = 1.16 \geq 1.0$ $Q_f = 1.0$



Başlık elemanı cidarında yerel buruşma için karakteristik eksenel kuvvet dayanımı	
$P_n \sin \theta = 1.6t^2 \left( 1 + \frac{3l_b}{H - 3t} \right) \sqrt{EF_y Q_f} \quad (14.2.10)$	
$P_n = \frac{1}{\sin 90} 1.6 \times 9.3^2 \times \left( 1 + \frac{3 \times 150}{150 - 3 \times 9.3} \right) \times \sqrt{200000 \times 275 \times 1.0 \times 10^{-3}} = 4809 \text{ kN}$	$P_n = \frac{1}{\sin 90} 1.6 \times 9.3^2 \times \left( 1 + \frac{3 \times 150}{150 - 3 \times 9.3} \right) \times \sqrt{200000 \times 275 \times 1.0 \times 10^{-3}} = 4809 \text{ kN}$
<b>a. Tasarım eksenel kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli eksenel kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 0.75 \times 4809 = 3607 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{4809}{2.00} = 2405 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{14}{3607} = 0.004 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{10}{2405} = 0.004 \leq 1.0 \checkmark$

Eşit olmayan eksenel kuvvetler nedeniyle örgü elemanlarında yerel akma sınır durumu,

$\beta > 0.85$  olduğu durumda,

Örgü elemanında yerel akma için karakteristik eksenel kuvvet dayanımı

$$b_{coi} = \frac{10}{B/t} \left( \frac{F_y t}{F_{yb} t_b} \right) B_b \leq B_b \quad (14.2.13)$$

$$b_{coi} = \frac{10}{150/9.3} \left( \frac{275 \times 9.3}{275 \times 7.44} \right) \times 150 = 116.3 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$$

$$P_n = F_{yb} t_b (2H_b + 2b_{coi} - 4t_b) \quad (14.2.12)$$

$$P_n = 275 \times 7.44 \times (2 \times 150 + 2 \times 116.3 - 4 \times 7.44) \times 10^{-3} = 1029 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
<b>a. Tasarım eksenel kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli eksenel kuvvet dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi P_n = 0.95 \times 1029 = 977.6 \text{ kN}$	$P_g = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{1029}{1.58} = 651.3 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{14}{977.6} = 0.014 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{10}{651.3} = 0.015 \leq 1.0 \checkmark$

Eğilme momenti dayanımı

Kutu profil cidarında yerel akma sınır durumu,

$B > 0.85$  durumunda,

Yerel akma için karakteristik eğilme momenti dayanımı

$$M_n = 0.5 F_y^* t (H_b + 5t)^2 \quad (14.3.7)$$

$$F_y^* = F_y = 275 \text{ MPa} \quad \text{T-birleşim için}$$

$$M_n = 0.5 \times 275 \times 9.3 \times (150 + 5 \times 9.3)^2 \times 10^{-6} = 49.38 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
<b>a.</b> Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi M_n = 1.0 \times 49.38 = 49.38 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{49.38}{1.50} = 32.92 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{39.2}{49.38} = 0.79 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{28}{32.92} = 0.85 \leq 1.0 \checkmark$

Eşit olmayan aksenal kuvvetler nedeniyle örgü elemanlarında yerel akma,

$\beta > 0.85$  durumunda,

Örgü elemanlarında yerel akma için karakteristik eğilme momenti dayanımı

$$M_n = F_{yb} \left[ W_{pb} - \left( 1 - \frac{b_{eoi}}{B_b} \right) B_b H_b t_b \right] \quad (14.3.8)$$

$$M_n = 275 \times \left[ 227 \times 10^3 - \left( 1 - \frac{116.3}{150} \right) \times 150 \times 150 \times 7.44 \right] \times 10^{-6} = 52.09 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
<b>a.</b> Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi M_n = 0.95 \times 52.09 = 49.5 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{52.09}{1.58} = 33 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{39.2}{49.5} = 0.792 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{28}{33} = 0.848 \leq 1.0 \checkmark$

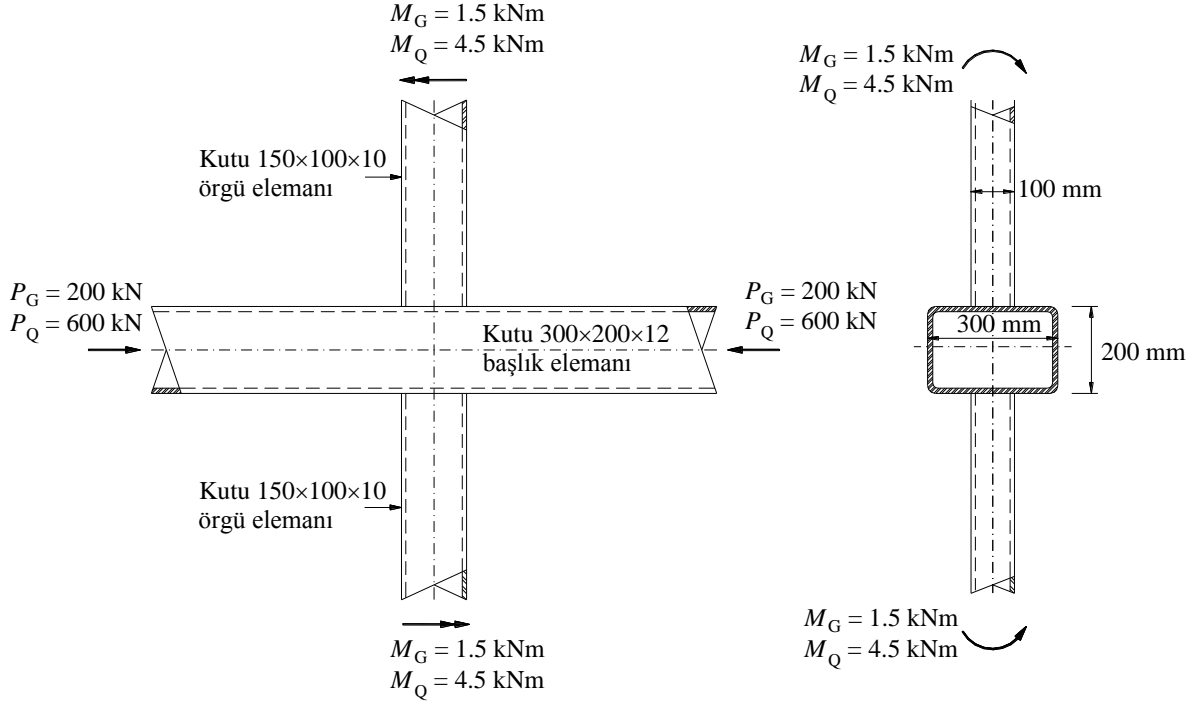
Bileşik etkiler altında birleşimin kontrolü

YDKT	GKT
<b>a.</b> Bileşik etkiler altında birleşimin tasarım dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Bileşik etkiler altında birleşimin güvenli dayanımının kontrolü
$\frac{P_r}{P_c} + \left( \frac{M_{r-ip}}{M_{c-ip}} \right) + \left( \frac{M_{r-op}}{M_{c-op}} \right) \leq 1.0 \quad (14.3.13)$	$\frac{P_r}{P_c} + \left( \frac{M_{r-ip}}{M_{c-ip}} \right) + \left( \frac{M_{r-op}}{M_{c-op}} \right) \leq 1.0 \quad (14.3.13)$
$0.014 + (0.792) + (0) = 0.806 \leq 1.0 \checkmark$	$0.015 + (0.848) + (0) = 0.863 \leq 1.0 \checkmark$

### Örnek 14.19

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen kutu-kutu eleman kafes sistem X-birleşimi, Kutu 300×200×12 enkesitli bir başlık elemanı ile Kutu 150×100×10 enkesitli iki adet örgü elemanından oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

- Eğilme momenti etkisi altında birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Eğilme momenti etkisi altında birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Kutu elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Başlık elemanı

(Kutu 300×200×12)

$$A_g = 12894 \text{ mm}^2 \quad H = 300 \text{ mm} \quad B = 200 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 12 = 11.16 \text{ mm}$$

Örgü elemanları

(Kutu 150×100×10)

$$H_b = 150 \text{ mm} \quad B_b = 100 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 10 = 9.3 \text{ mm}$$

## Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.3.2A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta \cong 90^\circ \checkmark$$

$$\frac{H}{t} = \frac{200}{11.16} = 17.9 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{B}{t} = \frac{300}{11.16} = 26.9 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{150}{9.3} = 16.1 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{100}{9.3} = 10.8 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{150}{9.3} = 16.1 \leq 1.25 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 33.7 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{100}{9.3} = 10.8 \leq 1.25 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 33.7 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{B} = \frac{100}{300} = 0.33 \geq 0.25 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H}{B} = \frac{200}{300} = 0.67 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H_b}{B_b} = \frac{150}{100} = 1.5 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

X-birleşimi uygulama sınırları içerisinde olup mevcut eğilme momenti dayanımları Yönetmelik Tablo 14.3.2 uyarınca kontrol edilebilir.

YDKT	GKT
Örgü elemanlarının gerekli dayanımı	
$M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$	$M_a = M_G + M_Q$
$M_u = 1.2 \times 1.5 + 1.6 \times 4.5 = 9 \text{ kNm}$	$M_a = 1.5 + 4.5 = 6 \text{ kNm}$

Başlık elemanı cidarında plastikleşme sınır durumu,

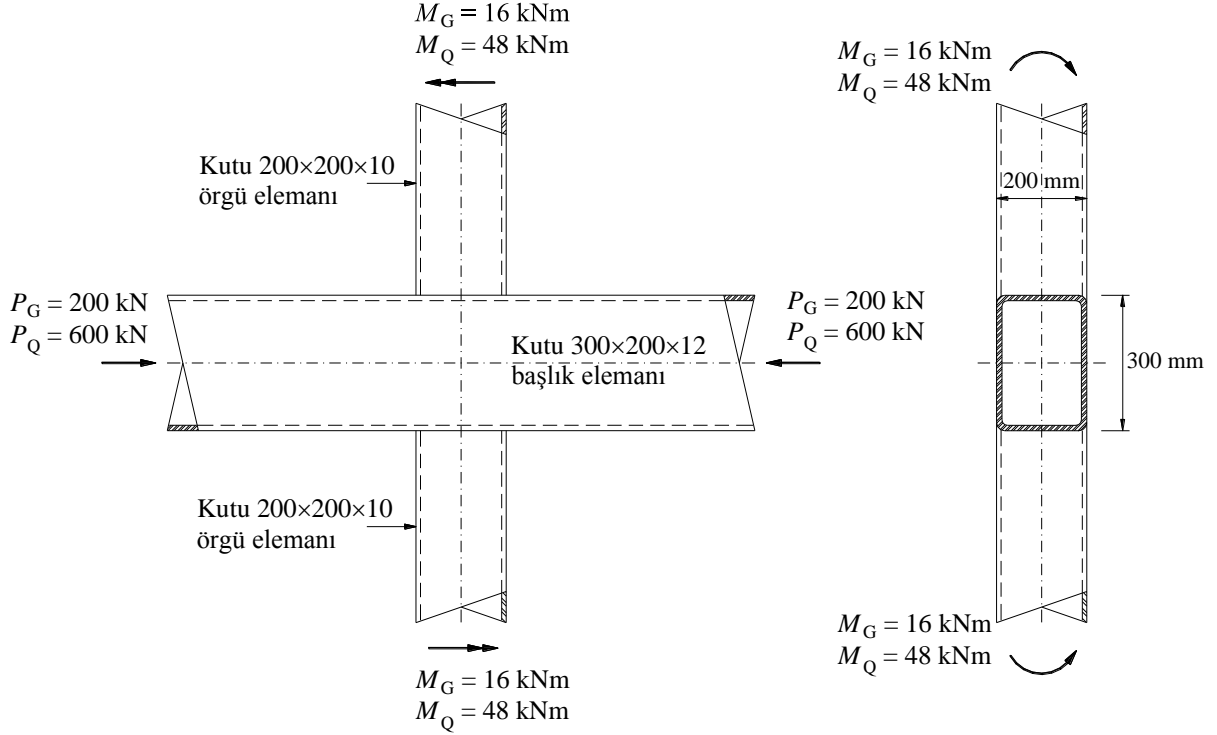
$$\beta = \frac{B_b}{B} = \frac{100}{300} = 0.33 \leq 0.85 \text{ için,}$$

YDKT	GKT
Başlık elemanının gerekli dayanımı, $P_{ro}$	
$P_{ro} = P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $P_{ro} = 1.2 \times 200 + 1.6 \times 600 = 1200 \text{ kN}$	$P_{ro} = P_a = P_G + P_Q$ $P_{ro} = 200 + 600 = 800 \text{ kN}$
$F_c = F_y = 275 \text{ MPa}$	$F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c W_e} \right $ (14.1.6)	
$U = \left  \frac{1200 \times 10^3}{275 \times 12894} + 0 \right  = 0.34$	$U = \left  \frac{800 \times 10^3}{165 \times 12894} + 0 \right  = 0.38$
$Q_f = 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta} \leq 1.0$ (14.1.16)	
$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.34}{0.33} = 0.89$	$Q_f = 1.3 - 0.4 \times \frac{0.38}{0.33} = 0.839$
Başlık elemanı cidarında plastikleşme için karakteristik eğilme momenti dayanımı	
$M_n = F_y t^2 \left[ \frac{0.5H_b(1+\beta)}{(1-\beta)} + \sqrt{\frac{2BB_b(1+\beta)}{(1-\beta)}} \right] Q_f$ (14.3.9)	
$M_n = 275 \times 11.16^2 \times$ $\left[ \frac{0.5 \times 150 \times (1.33)}{(1-0.33)} + \sqrt{\frac{2 \times 300 \times 100 \times (1.33)}{(1-0.33)}} \right]$ $\times 0.89 \times 10^{-6} = 15.03 \text{ kNm}$	$M_n = 275 \times 11.16^2 \times$ $\left[ \frac{0.5 \times 150 \times (1.33)}{(1-0.33)} + \sqrt{\frac{2 \times 300 \times 100 \times (1.33)}{(1-0.33)}} \right]$ $\times 0.839 \times 10^{-6} = 14.19 \text{ kNm}$
<b>a. Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>	<b>b. Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü</b>
$M_d = \phi M_n = 1.0 \times 15.03 = 15.03 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{14.19}{1.5} = 9.46 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{9}{15.03} = 0.60 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{6}{9.46} = 0.63 \leq 1.0 \checkmark$

## Örnek 14.20

Aşağıdaki şekilde detayı ile sabit ve hareketli yükler altında yükleme durumu verilen kutu-kutu eleman kafes sistem X-birleşimi, Kutu 300×200×12 enkesitli bir başlık elemanı ile Kutu 200×200×10 enkesitli iki adet örgü elemanından oluşmaktadır. Birleşimin kaynaklarının yeterli dayanıma sahip olduğu varsayılacaktır.

- Eğilme momenti etkisi altında birleşimin tasarım dayanımının kontrolü (YDKT)
- Eğilme momenti etkisi altında birleşimin güvenli dayanımının kontrolü (GKT)



### Çelik sınıfı

Kutu elemanlar (Yönetmelik Tablo 2.1B)

$$S 275 \quad F_y = 275 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

### Enkesit

TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu elemanlar

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n$  için

Başlık elemanı

(Kutu 300×200×12)

$$A_g = 12894 \text{ mm}^2 \quad H = 200 \text{ mm} \quad B = 300 \text{ mm} \quad t = 0.93 \times 12 = 11.16 \text{ mm}$$

Örgü elemanları

(Kutu 200×200×10)

$$W_{pe} = 507.7 \text{ cm}^3 \quad H_b = 200 \text{ mm} \quad B_b = 200 \text{ mm} \quad t_b = 0.93 \times 10 = 9.3 \text{ mm}$$

## Çözüm

Yönetmelik Tablo 14.3.2A uyarınca uygulama sınırlarının kontrolü

$$\theta \cong 90^\circ \checkmark$$

$$\frac{H}{t} = \frac{300}{11.16} = 26.9 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{B}{t} = \frac{200}{11.16} = 17.9 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{B_b}{t_b} = \frac{200}{9.3} = 21.5 \leq 35 \checkmark$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{B_b}{t_b} = \frac{200}{9.3} = 21.5 \leq 1.25 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 33.7 \checkmark$$

$$\frac{B_b}{B} = \frac{200}{200} = 1.0 \geq 0.25 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H}{B} = \frac{300}{200} = 1.5 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$0.5 \leq \left( \frac{H_b}{B_b} = \frac{200}{200} = 1.0 \right) \leq 2.0 \checkmark$$

$$F_y = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$F_{yb} = 275 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \checkmark$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

$$\frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{275}{430} = 0.64 \leq 0.8 \checkmark$$

X-birleşimi uygulama sınırları içerisinde olup, mevcut eğilme momenti dayanımları Yönetmelik Tablo 14.3.2 uyarınca kontrol edilebilir.

YDKT	GKT
Örgü elemanlarının gerekli dayanımı	
$M_u = 1.2M_G + 1.6M_Q$ $M_u = 1.2 \times 16 + 1.6 \times 48 = 96 \text{ kNm}$	$M_a = M_G + M_Q$ $M_a = 16 + 48 = 64 \text{ kNm}$

Kutu enkesitte yerel akma sınır durumu,

$$\beta = \frac{B_b}{B} = \frac{200}{200} = 1.0 > 0.85 \text{ durumunda,}$$

Kutu enkesitte yerel akma için karakteristik eğilme momenti dayanımı

$$M_n = F_y^* t (B - t) (H_b + 5t) \quad (14.3.10)$$

X-birleşim için  $F_y^* = 0.8F_y = 0.8 \times 275 = 220$  MPa

$$M_n = 220 \times 11.16 \times (200 - 11.16) \times (200 + 5 \times 11.16) \times 10^{-6} = 118.6 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
<b>a.</b> Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi M_n = 1.0 \times 118.6 = 118.6 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{118.6}{1.50} = 79.1 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{96}{118.6} = 0.81 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{64}{79.1} = 0.81 \leq 1.0 \checkmark$

Eşit olmayan aksel kuvvetler nedeniyle örgü elemanlarında yerel akma sınır durumu,

$\beta > 0.85$  durumunda,

Örgü elemanlarında yerel akma için karakteristik eğilme momenti dayanımı

$$b_{coi} = \frac{10}{200/11.16} \left( \frac{275 \times 11.16}{275 \times 9.3} \right) \times 200 = 133.9 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm} \quad (14.2.13)$$

$$M_n = F_{yb} \left[ W_{pb} - 0.5 \left( 1 - \frac{b_{coi}}{B_b} \right)^2 B_b^2 t_b \right] \quad (14.3.11)$$

$$M_n = 275 \times \left[ 507.7 \times 10^3 - 0.5 \times \left( 1 - \frac{133.9}{200} \right)^2 \times 200^2 \times 9.3 \right] \times 10^{-6} = 134 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
<b>a.</b> Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	<b>b.</b> Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi M_n = 0.95 \times 134 = 127.33 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{134}{1.58} = 84.81 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{96}{127.33} = 0.75 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{64}{84.81} = 0.75 \leq 1.0 \checkmark$





## BÖLÜM 15 KULLANILABİLİRLİK SINIR DURUMLARI İÇİN TASARIM

Çelik yapı sistemlerinin *kullanılabilirlik sınır durumları* için tasarımı *Yönetmelik* Bölüm 15 de belirtilen kurallar esas alınarak gerçekleştirilecektir. Kullanılabilirlik sınır durumları, öngörülen belirli yük birleşimleri altında, yapı sisteminin yerdeğiştirme ve ivme gibi davranış büyüklüklerine ait sınırlar ile tanımlanır.

Kullanılabilirlik sınır durumunun esas alınmasıyla, kullanım konforunun sağlanması ve yapısal olmayan elemanların hasar görmesinin önlenmesi amaçlanmaktadır.

### Düşey Yerdeğiştirme (Sehim) Kontrolleri

Düşey yerdeğiştirme için sınır değerler, kirişin kullanım amacına ve aşırı yerdeğiştirme nedeniyle ortaya çıkabilecek hasara bağlı olduğundan *Yönetmelikte* önerilen sınır değerler bu kapsamda değerlendirilerek kullanılmalıdır. Çelik kirişlere sıcak veya soğuk işlemle ters eğrilik verildiğinde, sabit yük etkisinde oluşabilecek sehim değeri azaltılabilmektedir. Bu durumda kirişin sehimi, maksimum sabit yük ve hareketli yük toplamı yerine sadece hareketli yük tarafından kontrol edilecektir.

Sabit yükler ve hareketli yükler (kar yükleri) altında, *Yönetmelik* 15.1 de verilen ilgili yük birleşimleri gözönünde tutularak hesaplanan toplam düşey yerdeğiştirmelerin açıklığa oranı 1/300 sınır değerini aşmayacaktır. *Yönetmelikte* verilen düşey yerdeğiştirme koşulları  $L$ , kiriş açıklığına bağlı olarak, Tablo 15.1 de özetlenmiştir.

**Tablo 15.1 – Düşey Yerdeğiştirmelerin Sınır Değerleri**

Eleman	$G + Q$ (veya $0.5S$ )	$Q$ (veya $S$ )
Kat kirişi	$L / 300$	$L / 360$

Konsol elemanlarda düşey yerdeğiştirmenin konsol boyuna oranı 1/150 sınır değerini aşmamalıdır.

### Yatay Yerdeğiştirme (Sehim) Kontrolleri

Cephe kaplamaları ve yapısal olmayan bölme duvarlarının hasar görmemesi ve fonksiyonlarının olumsuz etkilenmemesi için yatay yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması gerekmektedir. Yatay yerdeğiştirmelerin sınır değeri, binanın türüne ve cephe kaplamaları ile bölme duvarlarının cinsine bağlı olarak değişebilir. Genel olarak sınır değer, kat yüksekliğinin veya bina yüksekliğinin (1 / 400 ile 1 / 600 ) katı olarak önerilmektedir.

### Titreşim Kontrolleri

Bina veya döşeme sistemlerinin titreşim hareketlerinin bina kullanıcıları tarafından algılanmasının doğuracağı olası rahatsızlıklara karşı önlem alınması amacıyla bu konfor kontrollerinin yapılması gereklidir.

Döşeme sisteminin doğal titreşim frekansı yapının kullanım amacına bağlı olarak, olağan insan aktiviteleri için kullanımda 2 ile 6 Hz arasında değişebilmektedir.

## **KAYNAK YAYINLAR**

West, M.A., and Fisher, J.M., *Serviceability Design Consideration for Steel Buildings*, Design Guide Series 3, 2003, AISC, Chicago.

European Commission, Technical Steel Research: Generalisation of criteria for floor vibrations for industrial, office, residential and public building and gymnastic halls, RFCS Report EUR 21972 EN, ISBN 92-79-01705-5, 2006, <http://europa.eu.int>

Murray, T.M., Allen, D.E. and Ungar, E.E., *Floor Vibrations due to Human Activity*, Steel Design Guide Series 11, 2003, AISC, Chicago.

Allen, D.E., Onysko, D.M., and Murray, T.M., *Minimizing Floor Vibrations*, ATC Design Guide 1, 1999, Applied Technology Council, Redwood City, CA.

## BÖLÜM 16 YAPISAL ELEMANLAR İÇİN STABİLİTE BAĞLANTILARI

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki kolonların, eğilme momenti etkisindeki kirişlerin ve eksenel basınç kuvveti ve eğilme momentinin ortak etkisi altındaki elemanların olası yanal yerdeğiştirmesinin ve/veya burulmasının önlenmesi amacıyla uç ve ara noktalarına uygulanan stabilite bağlantı elemanları için gerekli minimum dayanım ve rijitlik, *Yönetmelik* Bölüm 16 da belirtilen kurallara göre belirlenecektir. Çaprazlı çerçeve sistemlerinin stabilite koşulları için *Yönetmelik* Bölüm 6 da verilen kurallar uygulanacaktır.

Eksenel basınç kuvveti, eğilme momenti veya eksenel basınç kuvveti ile eğilme momentinin ortak etkisi altındaki elemanların tasarımında burkulma boyunun (*Yönetmelik* Bölüm 8 ve Bölüm 9 da, sırasıyla, genel burkulma durumu için  $L_c$  ve yanal burulmalı burkulma durumu için  $L_b$  olarak tanımlanan) eleman uzunluğu boyunca uç ve ara stabilite bağlantıları ile desteklenen (yanal yerdeğiştirmenin ve/veya burulmanın önlendiği) noktalar arasındaki uzaklığa eşit alınmasına, ( $K=1.0$ ), stabilite bağlantı elemanlarının *Yönetmelik* 16.2, 16.3 ve 16.4 de verilen kurallara uygun olarak tasarlanması koşulu ile izin verilir.

Bir stabilite bağlantısı birden fazla eleman için kullanıldığında, stabilite bağlantısı elemanlarının gerekli dayanım ve rijitliği, desteklediği tüm elemanlar için hesaplanan gerekli dayanım ve rijitliklerin toplamına eşit olarak alınacaktır. Stabilite elemanı ile sağlanan rijitlik, birleşim detaylarının rijitliği azaltıcı etkileri de gözönüne alınarak değerlendirilecektir.

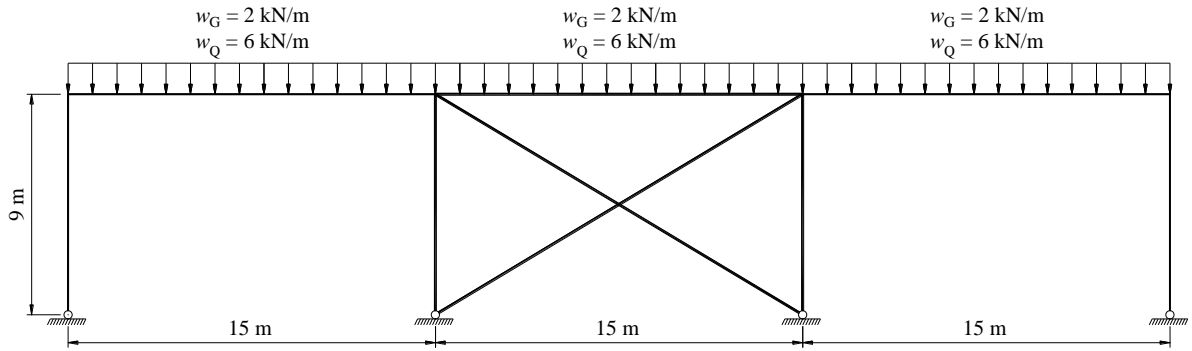
Stabilite bağlantılarının, kolonların boyuna eksenleri etrafında dönmelerinin sınırlandırılması amacıyla, kolon enkesiti kayma merkezinde teşkil edilmeleri sağlanmalıdır. Bu durumun sağlanamaması halinde, kolonların tasarımı *Yönetmelik* 8.2.2 de verilen esaslar gözönüne alınarak değerlendirilecektir.

Mesnet noktalarında kirişlerin boyuna eksenleri etrafında dönmesi önleneyecektir. Gerekli dayanım ve rijitliğe sahip yanal stabilite bağlantısı, burulma stabilite bağlantısı veya ikisinin birlikte kullanıldığı noktalarda, kiriş üst ve alt başlıklarının görelî yerdeğiştirmesinin (kesitin çarpılmasının) önlenildiği varsayılır. Çift eğrilikli eğilme etkisindeki elemanlarda büküm noktası (moment sıfır noktası), bu noktanın yanal yerdeğiştirmesi stabilite bağlantısıyla önlenmediği sürece, desteklenen bir nokta olarak gözönüne alınamaz.

## Örnek 16.1

Aşağıdaki şekilde taşıyıcı sistemi ve yükleme durumu verilen çerçeve sisteminin düzlem içindeki stabilitesi, çaprazları sadece çekme kuvveti aktaran elemanlardan oluşan orta açıklıktaki çaprazlı (panel) yanal stabilite bağlantısı ile sağlanmaktadır.

- Çerçeve sistemi stabilitesinin sağlanabilmesi için çapraz elemanın gerekli dayanım ve rijitliğin belirlenmesi (YDKT ve GKT)
- Çapraz elemanın sahip olması gereken en küçük enkesit alanının belirlenmesi



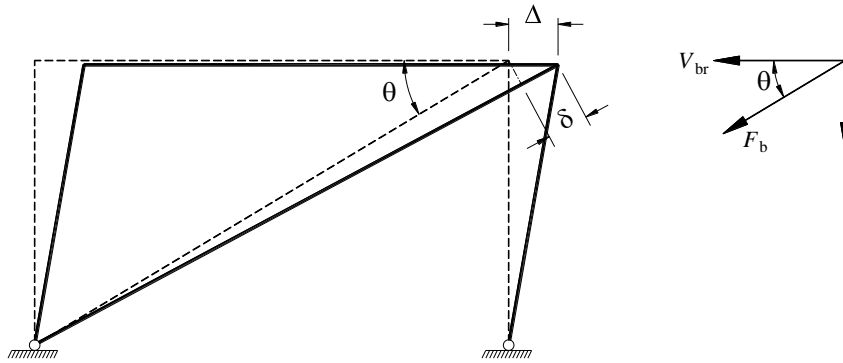
### Çelik sınıfı

$$S 235 \quad F_y = 235 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

### Çözüm

- Çaprazlı (panel) yanal stabilite bağlantısının gerekli dayanımını ve rijitliğinin belirlenmesi

*Yönetmelik 16.2.1* uyarınca belirlenen stabilite sisteminin gerekli kesme kuvvetinin, çekme etkisindeki çapraz eleman tarafından karşılandığı varsayılarak, çerçeve sisteminin yatay yerdeğiştirme durumu ve çapraz elemanın uzama şekildeğiştirmesinin Şekil 16.1.1 de gösterildiği şekilde oluşturulması varsayılmaktadır.



Şekil 16.1.1 – Çaprazlı (panel) yanal stabilite sisteminin yerdeğiştirme durumu ve çapraz elemanın iç kuvvet durumu

YDKT	GKT
Toplam düşey yük	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(2) + 1.6(6) = 12 \text{ kN/m}$ $P_r = \sum P_u = 3 \times (12)15 = 540 \text{ kN}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 2 + 6 = 8 \text{ kN/m}$ $P_r = \sum P_a = 3 \times (8)15 = 360 \text{ kN}$
Stabilite sisteminin gerekli kesme kuvveti dayanımı, <i>Yönetmelik</i> Denk.(16.1)	
$V_{br} = 0.005P_r$ $= 0.005(540) = 2.7 \text{ kN}$	$V_{br} = 0.005P_r$ $= 0.005(360) = 1.8 \text{ kN}$
Stabilite sisteminin çapraz elemanın gerekli eksenel kuvvet dayanımı,	
$F_b = \frac{V_{br}}{\cos \theta} \quad \theta = \tan^{-1} \frac{9}{15} = 30.96^\circ$	
$F_b = 2.7 / \cos 30.96^\circ = 4.5 \text{ kN}$	$F_b = 1.8 / \cos 30.96^\circ = 2.45 \text{ kN}$
Stabilite sisteminin gerekli kayma rijitliği, <i>Yönetmelik</i> Denk.(16.2)	
$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left( \frac{2P_r}{L_{br}} \right)$ $= \frac{1}{0.75} \left( \frac{2(540)}{9} \right) = 160 \text{ kN/m}$	$\beta_{br} = \Omega \left( \frac{2P_r}{L_{br}} \right)$ $= 2.0 \left( \frac{2(360)}{9} \right) = 160 \text{ kN/m}$

**b. Çapraz eleman için gerekli minimum enkesit alanının belirlenmesi**

Çapraz elemanın gerekli minimum enkesit alanı, çaprazın sadece çekme kuvveti taşıdığı varsayımı altında akma sınır durumu ile belirlenebilir.

*Yönetmelik* 7.2.1 uyarınca,

YDKT	GKT
Çapraz eleman için gerekli minimum enkesit alanı,	
$A \geq \frac{F_b}{\phi F_y}$ $A \geq \frac{4.5(10)^3}{0.9(235)} = 21.27 \text{ mm}^2$	$A \geq \frac{F_b}{F_y / \Omega}$ $A \geq \frac{1.67 \times 2.45(10)^3}{235} = 17.41 \text{ mm}^2$

Gerekli rijitlik esas alınarak, çapraz eleman için gerekli minimum enkesit alanının belirlenmesi

Sistem geometrisi ile çapraz elemanın sistem boyu,  $L_b$ ,

$$L_b = \sqrt{9.0^2 + 15^2} = 17.50 \text{ m}$$

Çapraz elemanda aksel uzama,  $\delta$  olarak alındığında, çaprazın aksel rijitliği,  $F_b / \delta$  olacaktır.

$$\delta \approx \Delta \cos \theta \text{ (Şekil 16.1.1)}$$

$$\frac{F_b}{\delta} = \frac{V_{br} / \cos \theta}{\Delta \cos \theta}$$

$$\frac{F_b}{\delta} = \frac{V_{br}}{\Delta} \times \frac{1}{\cos^2 \theta} \quad \text{veya} \quad \frac{F}{\delta} \cos^2 \theta = \frac{V_{br}}{\Delta}$$

Bu durumda,

$$\text{Eksel rijitlik} \times \cos^2 \theta = \text{Yanal rijitlik şeklinde yazılabilir.}$$

Eksel rijitlik,  $F_b / \delta = AE / L_b$  olarak da elde edilebilmektedir. Böylece,

$$\frac{AE}{L_b} \cos^2 \theta = \beta_{br}$$

olarak bulunur.

Yanal stabilite bağlantısının yeterli rijitliğe sahip olabilmesi için çapraz elemanın gerekli minimum enkesit alanı,  $A$

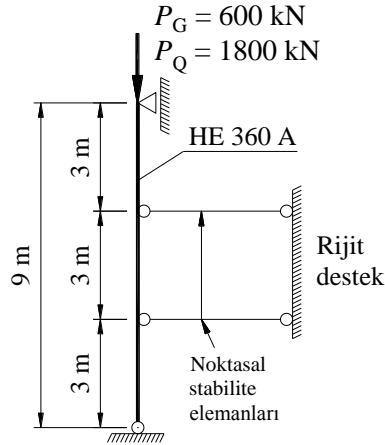
YDKT	GKT
Çapraz eleman için gerekli minimum enkesit alanı,	
$A \geq \frac{\beta_{br} L_b}{E \cos^2 \theta} \quad \beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left( \frac{2P_r}{L_{br}} \right)$ $A \geq \frac{160(10)^{-3} (17500)}{200000(10)^{-3} \cos^2 (30.96)} = 19.04 \text{ mm}^2$ $21.27 \text{ mm}^2 > 19.04 \text{ mm}^2$ $A_g = 21.27 \text{ mm}^2$	$A \geq \frac{\beta_{br} L_b}{E \cos^2 \theta} \quad \beta_{br} = \Omega \left( \frac{2P_r}{L_{br}} \right)$ $A \geq \frac{160(10)^{-3} (17500)}{200000(10)^{-3} \cos^2 (30.96)} = 19.04 \text{ mm}^2$ $17.41 \text{ mm}^2 < 19.04 \text{ mm}^2$ $A_g = 19.04 \text{ mm}^2$

Bu durumda, çapraz elemanın enkesitini YDKT için gerekli çekme dayanımının GKT için ise gerekli rijitliğin belirlediği görülmektedir.

## Örnek 16.2

Aşağıdaki şekilde sistem şeması ile yükleme durumu verilen iki ucu yanal yerdeğiştirmeye ve burulmaya karşı destekli mafsallı uç koşullarına sahip ve boyunun üçte bir noktaları da her iki asal eksenine dik doğrultuda olmak üzere, yanal yerdeğiştirmeye karşı noktasal stabilite bağlantısı ile desteklenen HE 360 A enkesitli eleman sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 600\text{kN}$  ve  $P_Q = 1800\text{kN}$  aksel basınç kuvvetleri etkisindedir.

- Elemanın mevcut basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT ve GKT)
- Noktasal stabilite elemanın gerekli dayanım ve rijitliğinin belirlenmesi (YDKT ve GKT)



### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

HE 360 A

$A = 14280 \text{ mm}^2$	$b_f = 300 \text{ mm}$	$h = 261 \text{ mm}$	$t_f = 17.5 \text{ mm}$
$t_w = 10 \text{ mm}$	$i_x = 152.2 \text{ mm}$	$i_y = 74.3 \text{ mm}$	

### Çözüm

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık enkesit parçası (Tablo 5.1A, Durum 1)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2(17.5)} = 8.57 \leq \lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 13.29$$

Gövde enkesit parçası (Tablo 5.1A, Durum 5)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{261}{19} = 26.10 \leq \lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F}} = 1.49 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.28$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından *narin olmayan enkesit* olarak değerlendirilir.



*Yönetmelik* 8.2.1 uyarınca, elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, x- ve y-asal eksenleri etrafındaki eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda asal eksenlere göre eleman burkulma boyları

$$L_{cx} = L_{cy} = 1.0(3000) = 3000 \text{ mm}$$

*Yönetmelik* 6.4.3(a) uyarınca, burkulma boyu katsayısı,  $K=1.0$  olarak alınmıştır.

Narinlik oranları,

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{3000}{152.20} = 19.71 \leq 200 \checkmark$$

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{3000}{74.30} = 40.38 \leq 200 \checkmark$$

*Yönetmelik* 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları  $L_c/i \leq 200$  koşulunu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ .

$$\left(\frac{L_c}{i}\right)_{\text{maks}} = \left(\frac{L_{cx}}{i_x}; \frac{L_{cy}}{i_y}\right)_{\text{maks}} = 40.38$$

Elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, y-asal eksen etrafındaki eğilmeli burkulma sınır durumu belirleyecektir.

*Yönetmelik* 8.2 uyarınca,

$$40.38 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 111.79$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , için elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(40.38)^2} = 1211 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y \quad (8.2)$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658^{\frac{355}{1211}} \right] 355 = 314.43 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ .

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (8.1)$$

$$P_n = 314.43(14280)10^{-3} = 4490 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	

$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(600) + 1.6(1800) = 3600 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 600 + 1800 = 2400 \text{ kN}$
<b>a. Tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü</b>	<b>a. Güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü</b>
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(4490) = 4040 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 4490 / 1.67 = 2689 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{3600}{4040} = 0.89 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{2400}{2689} = 0.89 \leq 1.0 \checkmark$

**b. Noktasal stabilite elemanının gerekli dayanımı ve rijitliğinin belirlenmesi**

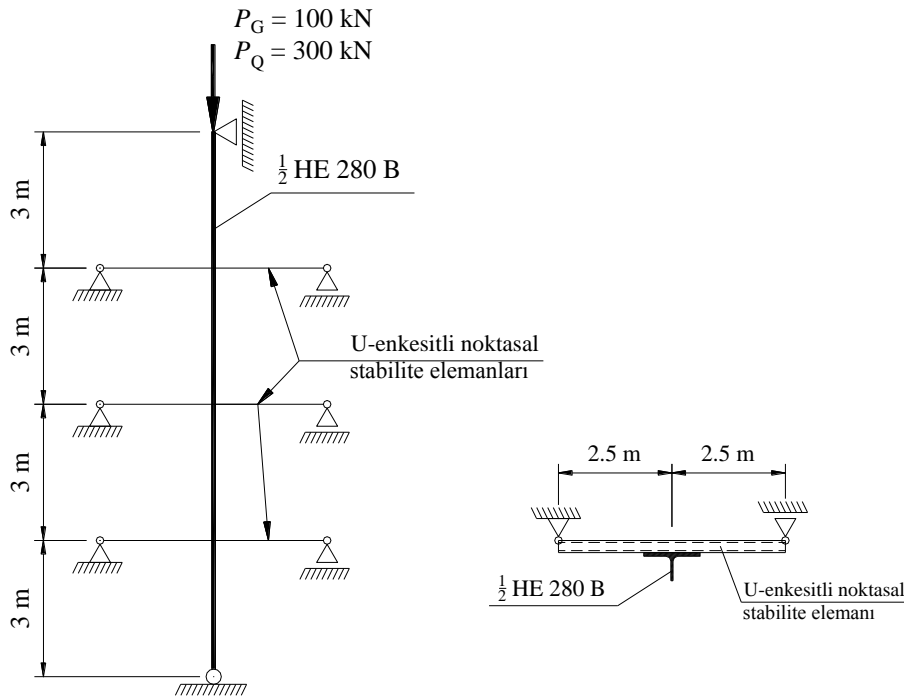
*Yönetmelik 16.2.2 uyarınca,*

YDKT	GKT
Gerekli dayanım, <i>Yönetmelik Denk.(16.3)</i>	
$P_{br} = 0.01P_u$ $= 0.01(3600) = 36 \text{ kN}$	$P_{br} = 0.01P_a$ $= 0.01(2400) = 24 \text{ kN}$
Gerekli rijitlik, <i>Yönetmelik Denk.(16.4)</i>	
$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left( \frac{8P_u}{L_{br}} \right)$ $= \frac{1}{0.75} \left( \frac{8(3600)}{3000} \right) = 12.8 \text{ kN/mm}$	$\beta_{br} = \Omega \left( \frac{8P_a}{L_{br}} \right)$ $= 2.0 \left( \frac{8(2400)}{3000} \right) = 12.8 \text{ kN/mm}$

### Örnek 16.3

Aşağıdaki şekilde sistem şeması ile yükleme durumu verilen iki ucu yanal yerdeğiştirmeye ve burulmaya karşı destekli mafsallı uç koşullarına sahip ve boyunun üçte bir noktaları da her iki asal eksenine dik doğrultuda olmak üzere, yanal yerdeğiştirmeye karşı noktasal stabilite bağlantısı ile desteklenen  $\frac{1}{2}$  HE 280 B enkesitli eleman sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $P_G = 100\text{kN}$  ve  $P_Q = 300\text{kN}$  eksenel basınç kuvvetleri etkisindedir.

- Elemanın mevcut basınç kuvveti dayanımının kontrolü (YDKT ve GKT)
- Noktasal stabilite elemanının gerekli dayanım ve rijitliğinin belirlenmesi (YDKT ve GKT)
- Elemanın x-ekseni etrafında burkulması durumunda, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi konumlandırılan U-enkesitli noktasal stabilite elemanının boyutlandırılması



### Çelik sınıfı

S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

### Enkesit

$\frac{1}{2}$ HE 280 B			
$A = 6570 \text{ mm}^2$	$I_x = 673 \text{ cm}^4$	$I_y = 3294 \text{ cm}^4$	$J = 594869 \text{ mm}^4$
$d = 140 \text{ mm}$	$b_f = 280 \text{ mm}$	$t_f = 18 \text{ mm}$	$t_w = 10.5 \text{ mm}$
$i_x = 32 \text{ mm}$	$i_y = 71 \text{ mm}$	$y_g = 22.31 \text{ mm}$	

### Çözüm

- Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 5.4* uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin sınıflandırılması

Başlık enkesit parçası (Tablo 5.1A, Durum 1)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{280}{2(18)} = 7.78 \leq \lambda_r = 0.56\sqrt{\frac{E}{F}} = 0.56\sqrt{\frac{200000}{355}} = 13.29$$

Gövde enkesit parçası (Tablo 5.1A, Durum 4)

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{140}{10.5} = 13.33 \leq \lambda_r = 0.75\sqrt{\frac{E}{F}} = 0.75\sqrt{\frac{200000}{355}} = 17.80$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, başlık ve gövde enkesit parçalarının genişlik/kalınlık oranları  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından ( $\lambda \leq \lambda_r$ ) *narın olmayan enkesit* olarak sınıflandırılır.

*Yönetmelik 8.2.2* uyarınca, basınç elemanı enkesiti tek simetri eksenine sahip olduğundan basınç kuvveti dayanımını, x- ve y-asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma veya simetri eksenine olan y-asal ekseninde eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumları ile hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

Narinlik oranları

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{1.0(4000)}{32} = 125 \leq 200 \checkmark$$

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{1.0(4000)}{71} = 56.34 \leq 200 \checkmark$$

*Yönetmelik 8.1.1* uyarınca, narinlik oranları  $L_c/i \leq 200$  koşulunu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$(L_c/i)_{\text{maks}} = (L_{cx}/i_x; L_{cy}/i_y)_{\text{maks}} = (125; 56.34)_{\text{maks}} = 125$$

olduğundan, eğilmeli burkulma sınır durumunda kolon dayanımını x-asal eksenindeki narinlik oranı belirleyecektir. *Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$\lambda_x = 125 > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{200000}{355}} = 111.79$$

*Yönetmelik 8.2.1* uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , için elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cx}}{i_x}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(125)^2} = 126.33 \text{N/mm}^2 \quad (8.4)$$

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$F_{cr} = 0.877 F_e = 0.877(126.33) = 110.79 \text{ N/mm}^2 \quad (8.3)$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 110.79(6570)10^{-3} = 728 \text{ kN} \quad (8.1)$$

Eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

*Yönetmelik 8.2.2(b)* uyarınca, y-ekseni etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_{ey}$ ,

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2(200000)}{(56.34)^2} = 622 \text{ N/mm}^2 \quad (8.9)$$

½ HEB 280 enkesiti kayma merkezinin yeri, simetri ekseninde başlık kalınlığının orta noktasında olduğundan, kayma merkezinin enkesit ağırlık merkezine göre koordinatları,  $x_o = 0$  ve  $y_o = 22.31 - (18 / 2) = 13.31 \text{ mm}$  olarak elde edilir.

Kayma merkezine göre hesaplanan polar atalet yarıçapı,  $\bar{i}_o$ ,

$$\bar{i}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} = 0 + (13.31)^2 + \frac{673(10)^4 + 3297(10)^4}{6570} = 6219 \text{ mm}^2 \quad (8.12)$$

Burulmalı burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_{ez}$ ,

$$F_{ez} = \frac{GJ}{A_g \bar{i}_o^2} = \frac{77200(594869)}{6570(6219)} = 1124 \text{ N/mm}^2$$

(8.14)

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{i}_o^2} = 1 - \frac{0 + (13.31)^2}{6219} = 0.971 \quad (8.11)$$

*Yönetmelik 8.2.2(b)* uyarınca, y-asal ekseninde eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu için elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}}\right] \quad (8.6)$$

$$F_e = \left(\frac{622 + 1124}{2(0.971)}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4(622)(1124)(0.971)}{(622 + 1124)^2}}\right] = 601 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{355}{601} = 0.59 \leq 2.25$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y \quad (8.2)$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{355}{601}\right] 355 = 0.780(355) = 277.09 \text{ N/mm}^2$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 277.09(6570)10^{-3} = 1820 \text{ kN} \quad (8.1)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$P_n = (728 \text{ kN}; 1820 \text{ kN})_{\min} = 728 \text{ kN}$$

Kolon dayanımını x-ekseni etrafında oluşan eğilmeli burkulma sınır durumu belirleyecektir.

YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = 1.2P_G + 1.6P_Q$ $= 1.2(100) + 1.6(300) = 600 \text{ kN}$	$P_a = P_G + P_Q$ $= 100 + 300 = 400 \text{ kN}$
<b>a.</b> Tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	<b>a.</b> Güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(728) = 655.20 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 728 / 1.67 = 436 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{600}{655.20} = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{400}{436} = 0.92 \leq 1.0 \checkmark$

**b.** Noktasal stabilite elemanının gerekli dayanım ve rijitliğinin belirlenmesi

Elemanının y-ekseni etrafında burkulması halinde stabilite elemanının aksenal dayanımının ve rijitliğinin yeterli olduğu varsayılmaktadır.

*Yönetmelik 16.2.2* uyarınca,

YDKT	GKT
Gerekli dayanım, <i>Yönetmelik</i> Denk.(16.3)	
$P_{br} = 0.01P_u$ $= 0.01(600) = 6.0 \text{ kN}$	$P_{br} = 0.01P_a$ $= 0.01(400) = 4.0 \text{ kN}$
Gerekli rijitlik, <i>Yönetmelik</i> Denk.(16.4)	
$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left( \frac{8P_u}{L_{br}} \right)$ $= \frac{1}{0.75} \left( \frac{8(600)}{4000} \right) = 1.60 \text{ kN/mm}$	$\beta_{br} = \Omega \left( \frac{8P_a}{L_{br}} \right)$ $= 2.0 \left( \frac{8(400)}{4000} \right) = 1.60 \text{ kN/mm}$

**c.** Elemanın x-ekseni etrafında burkulması durumunda, U-enkesitli noktasal stabilite elemanının boyutlandırılması

Elemanının x-ekseni etrafında burkulması dikkate alındığında, ara noktalarda yanal yerdeğiştirmenin önlenmesi amacıyla kullanılan U-enkesitli eleman, açıklık ortasından tekil yük etkisindeki bir basit kiriş olarak incelenebilir. Böylece gerekli rijitlik esas alınarak, U-enkesitli eleman boyutlandırılabilir. Buna göre,

$$\Delta_{\max} = \frac{1}{48} \frac{P_{br} L_{br}^3}{EI_{br}}$$

$$P_{br} = \beta_{br} \Delta_{\max}$$

$$\beta_{br} = \frac{48EI_{br}}{L_{br}^3}$$

$$I_{br} = \frac{\beta_{br}L_{br}^3}{48E} = \frac{1.60(5000)^3}{48(200000)}(10)^3 = 2083(10)^4 \text{ mm}^4$$

Bu durumda, U-enkesitli elemanın yeterli rijitliğe sahip olabilmesi için eğilme rijitliğinin gerekli rijitlikten büyük olması gerektiğinden, noktasal stabilite elemanı olarak UPE 220 seçilebilir.

$$I_{x, UPE220} = 2680(10)^4 > I_{br} = 2083(10)^4$$

Ancak, seçilen enkesitin eğilme momenti dayanımının yeterliliğinin de kontrol edilmesi gerekir.

#### Stabilite elemanının eğilme dayanımının kontrolü

$$\text{UPE 220 için } W_{px} = 281 \text{ cm}^3$$

Kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki kompakt UPE 220 enkesitli elemanın, yanal burkulmasının önlendiği varsayımıyla, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik 9.2* uyarınca belirlenir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

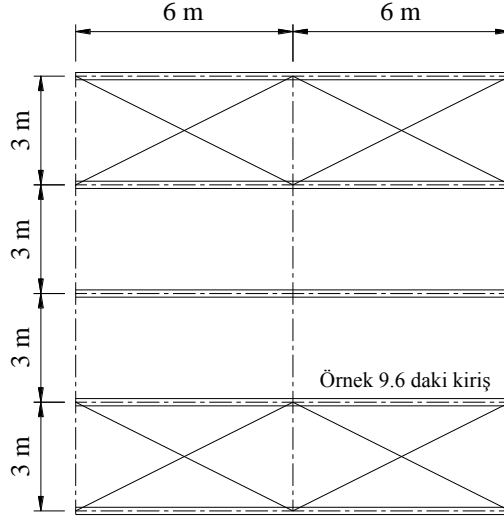
$$M_n = M_p = F_y W_{px} = 355(281)10^{-3} = 99.76 \text{ kNm} \quad (9.2)$$

YDKT	GKT
Gerekli dayanım	
$M_{rb} = \frac{P_{br} L_{br}}{4}$ $= \frac{6.0(5.0)}{4} = 7.5 \text{ kNm}$	$M_{rb} = \frac{P_{br} L_{br}}{4}$ $= \frac{4.0(5.0)}{4} = 5.0 \text{ kNm}$
Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(99.76) = 88.79 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 99.76 / 1.67 = 59.74 \text{ kNm}$
$M_d \geq M_{rb} \checkmark$	$M_g \geq M_{rb} \checkmark$

#### Örnek 16.4

Aşağıdaki şekilde, orta noktalarının yanal yerdeğiştirmesinin önlenmesi amacıyla oluşturulan yanal stabilite bağlantısının sistem şeması verilen Örnek 9.6 daki yapma enkesitli kirişin boyuna eksenini etrafındaki dönmesi önlenmektedir.

- Çaprazlı stabilite bağlantısının gerekli dayanım ve rijitliğin belirlenmesi (YDKT ve GKT)
- Çapraz elemanın, sadece çekme kuvveti aktardığı varsayımıyla, gerekli en küçük enkesit alanının belirlenmesi



### Çelik sınıfı

$$S 235 \quad F_y = 235 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 360 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

### Çözüm

- Çaprazlı (panel) stabilite bağlantısının gerekli dayanımını ve rijitliği

$h_o = 1625\text{mm}$  (Örnek 9.6) ve basit mesnetli yapma kiriş tek eğrilikli eğilme etkisinde olduğundan  $C_d = 1.0$  alınarak,

Yönetmelik 16.3.1 uyarınca,

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(80) + 1.6(170) = 368 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{368(12)^2}{8} = 6624 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 80 + 170 = 250 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{250(12)^2}{8} = 4500 \text{ kNm}$
Gerekli kesme kuvveti dayanımı, Yönetmelik Denk.(16.5)	
$V_{br} = 0.01 \left( \frac{M_r C_d}{h_o} \right) = 0.01 \left( \frac{6624(1.0)}{1.625} \right)$ $= 40.76 \text{ kN}$	$V_{br} = 0.01 \left( \frac{M_r C_d}{h_o} \right) = 0.01 \left( \frac{4500(1.0)}{1.625} \right)$ $= 27.69 \text{ kN}$



Gerekli kayma rijitliği, <i>Yönetmelik</i> Denk.(16.6)	
$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left( \frac{4M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) = \frac{1}{0.75} \left( \frac{4(6624)1.0}{6(1.625)} \right)$ $= 3623 \text{ kN/m}$	$\beta_{br} = \Omega \left( \frac{4M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) = 2.0 \left( \frac{4(4500)1.0}{6(1.625)} \right)$ $= 3692 \text{ kN/m}$

**b.** Çapraz elemanın, sadece çekme kuvveti aktardığı varsayımıyla, gerekli en küçük enkesit alanının belirlenmesi

Gerekli dayanım esas alınarak, çapraz elemanın gerekli minimum enkesit alanının belirlenmesi

Çaprazlı stabilite bağlantısının 2.5 adet kiriş için kullanıldığı gözönüne alınarak, çapraz elemanın gerekli eksenel dayanımı,  $(2.5 \times V_{br})$  ile belirlenmelidir. Bu durumda gerekli minimum enkesit alanı, çaprazın sadece çekme kuvveti taşıdığı varsayımı altında, akma sınır durumu ile belirlenebilir.

*Yönetmelik* 7.2.1 uyarınca,

YDKT	GKT
Stabilite sistemi çapraz elemanın gerekli eksenel dayanımı, $F_b = V_{br} / \cos \theta$	
$F_b = 2.5 \times 40.76 / \cos 63.43^\circ = 155 \text{ kN}$	$F_b = 2.5 \times 27.69 / \cos 63.43^\circ = 155 \text{ kN}$
Çapraz eleman için gerekli minimum enkesit alanı,	
$A \geq \frac{F_b}{\phi F_y}$ $A \geq \frac{228(10)^3}{0.9(235)} = 1078 \text{ mm}^2$	$A \geq \frac{\Omega F_b}{F_y}$ $A \geq \frac{1.67 \times 155(10)^3}{235} = 1101 \text{ mm}^2$

Gerekli rijitlik esas alınarak, çapraz elemanın gerekli minimum enkesit alanının belirlenmesi

Stabilite bağlantısı 2.5 kiriş için kullanıldığından, toplam gerekli rijitlik,  $(2.5 \times \beta_{br})$  olarak gözönüne alınmalıdır.

Sistem geometrisinden çapraz elemanın sistem boyu,  $L_b$ ,

$$L_b = \sqrt{6.0^2 + 3.0^2} = 6.71 \text{ m}$$

YDKT	GKT
------	-----

Çapraz eleman için gerekli minimum enkesit alanı,  $\frac{AE}{L_b} \cos^2 \theta = \beta_{br}$

$$A \geq \frac{\beta_{br} L_b}{E \cos^2 \theta}$$
$$= \frac{2.5 \times 3623 (6710) 10^{-3}}{200000 (10)^{-3} \cos^2 (63.43^\circ)}$$

$$= 1519 \text{ mm}^2$$

$$1519 \text{ mm}^2 > 1078 \text{ mm}^2$$

$$A_g = 1519 \text{ mm}^2$$

$$A \geq \frac{\beta_{br} L_b}{E \cos^2 \theta}$$
$$= \frac{2.5 \times 3692 (6710) 10^{-3}}{200000 (10)^{-3} \cos^2 (63.43^\circ)}$$

$$= 1548 \text{ mm}^2$$

$$1548 \text{ mm}^2 > 1101 \text{ mm}^2$$

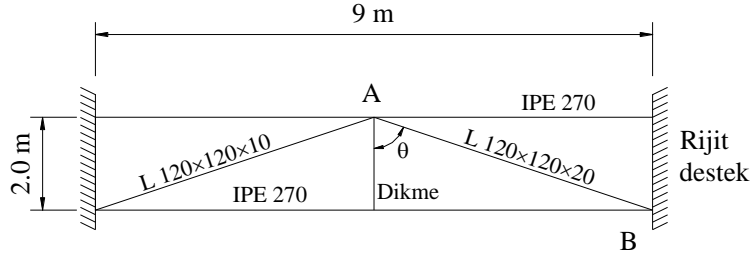
$$A_g = 1548 \text{ mm}^2$$

Bu durumda, çapraz elemanın enkesitini gerekli rijitliğin belirlediği görülmektedir.

### Örnek 16.5

Aşağıdaki şekilde sistem şeması verilen yürüme yolu IPE 270 enkesitli kirişler kullanılarak oluşturulmuştur. Çaprazlı stabilite sisteminin L120×120×10 enkesitli elemanları B noktasında rijit bir destek sistemine, A noktasında ise kiriş üst başlık hizasında teşkil edilen düğüm noktası levhasına birleşmektedir. Her bir kiriş, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 2.0\text{kN/m}$  ve  $w_Q = 6.0\text{kN/m}$  üniform yayılı yüklerin etkisindedir.

- Kirişin mevcut eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT ve GKT)
- Noktasal stabilite bağlantısının gerekli dayanım ve rijitliğinin belirlenmesi (YDKT ve GKT)
- L120×120×10 enkesitli çapraz elemanın aksenal dayanımının ve rijitliğinin kontrolü



### Çelik sınıfı

Yönetmelik Tablo 2.1A

IPE 270 için	S 355	$F_y = 355 \text{ N/mm}^2$	$F_u = 510 \text{ N/mm}^2$
L120×120×10 için	S 235	$F_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$F_u = 360 \text{ N/mm}^2$

### Enkesit

IPE 270

$W_{px} = 484 \text{ cm}^3$	$i_y = 112 \text{ mm}$	$d = 270 \text{ mm}$	
$b_f = 135 \text{ mm}$	$h = 219.9 \text{ mm}$	$t_f = 10.2 \text{ mm}$	$t_w = 6.6 \text{ mm}$

L120×120×10

$A = 2320 \text{ mm}^2$	$i_x = i_y = 36.70 \text{ mm}$	$i_w = 46.30 \text{ mm}$	$i_z = 23.50 \text{ mm}$
-------------------------	--------------------------------	--------------------------	--------------------------

### Çözüm

- Kirişin mevcut eğilme momenti dayanımının kontrolü

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin sınıflandırılması

Başlık enkesit parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{135}{2(10.2)} = 6.61 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

Gövde enkesit parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{219.9}{6.6} = 33.32 \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.24$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit *kompakt* olarak değerlendirilir.

Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.2 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = 355(484)10^{-3} = 171.82 \text{ kNm} \quad (9.2)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$L_p = 1.76i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(112) \sqrt{\frac{200000}{355}} = 4689 \text{ mm} \geq L_b = 4500 \text{ mm} \quad (9.6a)$$

*Yönetmelik* 9.2.2(a) uyarınca, yanal burulmalı burkulma sınır durumunun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

Bu durumda, karakteristik eğilme momenti dayanımı akma sınır durumu ile belirlenen değere eşit olur.

$$M_n = M_p = 171.82 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(2) + 1.6(6) = 12 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{12(9.0)^2}{8} = 121.50 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 2 + 6 = 8 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{8(9.0)^2}{8} = 81 \text{ kNm}$
Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n = 0.90(171.82) = 154.64 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b = 171.82 / 1.67 = 102.89 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{121.50}{154.64} = 0.80 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{81}{102.89} = 0.79 < 1.0 \checkmark$

**b.** Noktasal stabilite elemanının gerekli dayanım ve rijitliğinin belirlenmesi

Kiriş açıklığının orta noktasında yanal yerdeğiştirmenin önlenmesi amacıyla konumlandırılan yanal stabilite bağlantısı, çapraz elemanların diğer uçları rijit bir sisteme bağlı olduğundan noktasal stabilite bağlantısı olarak değerlendirilmelidir.

$$h_o = d - t_f = 270 - 10.2 = 259.80 \text{ mm}$$

Kiriş tek eğrilikli eğilme etkisinde olduğundan,  $C_d = 1.0$

*Yönetmelik* 16.3.1.2 uyarınca, noktasal stabilite bağlantısının kiriş açıklığına dik doğrultuda gerekli dayanımı,  $P_{br}$ ,

YDKT	GKT
Noktasal stabilite elemanının gerekli dayanımı, <i>Yönetmelik</i> Denk.(16.7)	
$P_{br} = 0.02 \left( \frac{M_r C_d}{h_o} \right)$ $= 0.02 \left( \frac{121.5(1.0)}{259.80} \right) 10^3 = 9.35 \text{ kN}$	$P_{br} = 0.02 \left( \frac{M_r C_d}{h_o} \right)$ $= 0.02 \left( \frac{81(1.0)}{259.80} \right) 10^3 = 6.23 \text{ kN}$
Stabilite bağlantısı iki kiriş için kullanıldığından, toplam gerekli dayanım	
$P_{br} = 2 \times 9.35 = 18.70 \text{ kN}$	$P_{br} = 2 \times 6.23 = 12.47 \text{ kN}$

### Noktasal stabilite elemanının gerekli rijitliğinin belirlenmesi

*Yönetmelik* 16.3.1.2 uyarınca,

YDKT	GKT
Noktasal stabilite elemanının gerekli rijitliği, <i>Yönetmelik</i> Denk.(16.8)	
$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left( \frac{10M_r C_d}{L_{br} h_o} \right)$ $= \frac{1}{0.75} \left( \frac{10(121500)1.0}{4500(259.8)} \right) = 1.385 \text{ kN/mm}$	$\beta_{br} = \Omega \left( \frac{10M_r C_d}{L_{br} h_o} \right)$ $= 2.0 \left( \frac{10(81000)1.0}{4500(259.8)} \right) = 1.385 \text{ kN/mm}$

Stabilite bağlantısı iki kiriş için kullanıldığından, toplam gerekli rijitlik,

$$\beta_{br} = 2 \times 1.385 = 2.77 \text{ kN/mm}$$

**c.** L120×120×10 enkesitli çapraz elemanın aksenal dayanımının ve rijitliğinin kontrolü

Sistem geometrisinden çapraz elemanın sistem boyu,  $L_b$ ,

$$L_b = \sqrt{2.0^2 + 4.5^2} = 4.92 \text{ m}$$

$$\cos \theta = \frac{2.0}{4.92} = 0.4065 \text{ veya } \left( \cos \theta = \frac{P_{br}}{F_b} = 0.4065 \right)$$

Bu durumda yanal stabilite bağlantısında bir çapraz stabilite elemanına etkiyen kuvvet,  $F_b$ ,

YDKT	GKT
$2F_b \cos \alpha = P_{br}$ $F_b = \frac{18.70}{2(2.0/4.92)} = 23 \text{ kN}$	$2F_b \cos \alpha = P_{br}$ $F_b = \frac{12.47}{2(2.0/4.92)} = 15.34 \text{ kN}$

Stabilite bağlantısının L120×120×10 enkesitli çapraz elemanı en elverişsiz durum olan basınç etkisi altında kontrol edilecektir.

### Elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik* 5.4 uyarınca,

### Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin sınıflandırılması

Korniyer kolu (Tablo 5.1A, Durum 3)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{120}{10} = 10 \leq \lambda_r = 0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.45 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 13.12$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre korniyer kollarının genişlik/kalınlık oranları  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından, enkesit *narin olmayan enkesit* olarak tanımlanır.

*Yönetmelik 8.3* uyarınca,

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{120}{10} = 12 \leq 0.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.71 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 20.71$$

Tek korniyerden oluşan basınç elemanının karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ , eğilmeli burkulma sınır durumu esas alınarak *Yönetmelik 8.2.1* uyarınca belirlenir.

*Yönetmelik 8.3* uyarınca, tek korniyerden oluşan basınç elemanlarında, dışmerkezlik etkisinin ihmal edilmesine ve tanımlanan *etkin narinlik oranları* ( $L_c / i$ ) kullanılarak eksenel basınç kuvveti dayanımının hesaplanmasına izin verilmektedir. Bunun için esas alınacak koşullar aşağıda verilmiştir.

- (a) Korniyer, her iki ucunda aynı kolundan basınç kuvveti etkisinde olmalıdır ✓
- (b) Korniyer uçları, en az 2 bulon ile veya kaynakla bağlanmalıdır ✓
- (c) Korniyerin boyuna eksenine dik yük bulunmamalıdır ✓
- (d)  $L_c/i$  oranı 200 sınırını aşmamalıdır. Etkin narinlik oranı, ( $L_c / i$ ),

$$\frac{L}{i_a} = \frac{(1.0)4920}{36.70} = 134.06 > 80 \quad \text{için}$$

$$\frac{L_c}{i} = 32 + 1.25 \frac{L}{i_a} \tag{8.16}$$

$$\frac{L_c}{i} = 32 + 1.25(13.06) = 199.57 \leq 200 \quad \checkmark$$

olmak üzere tüm koşullar sağlanmaktadır. Bu durumda, tek korniyerden oluşan basınç elemanında dışmerkezlik ihmal edilerek, eksenel basınç kuvveti dayanımı ( $L_c / i=199.57$ ) olarak hesaplanan etkin narinlik oranı ile belirlenir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$\frac{L_c}{i} = 199.57 > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 137.40$$

*Yönetmelik 8.2.1* uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(199.57)^2} = 50 \text{N/mm}^2 \tag{8.4}$$

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$F_{cr} = 0.877F_e = 0.877(50) = 43.8 \text{ N/mm}^2 \quad (8.3)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$P_n = F_{cr} A_g = 43.8(2320)10^{-3} = 101.73 \text{ kN} \quad (8.1)$$

YDKT	GKT
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(101.73) = 91.56 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 101.73 / 1.67 = 60.92 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{23}{91.56} = 0.25 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{15.34}{60.92} = 0.25 \leq 1.0 \checkmark$

Stabilite bağlantısının L120×120×10 enkesitli çapraz elemanın en elverişsiz durum olan basınç etkisi altında dayanımının yeterli olduğu görülmektedir. Ancak, gerekli rijitlik için enkesit alanının yeterli olduğu gösterilmelidir.

$$\frac{AE}{L_b} \cos^2 \theta = \beta_{br}$$

Bu durumda, yanal stabilite bağlantısının yeterli rijitliğe sahip olması için çapraz elemanın sahip olması gereken minimum enkesit alanı hesaplanır.

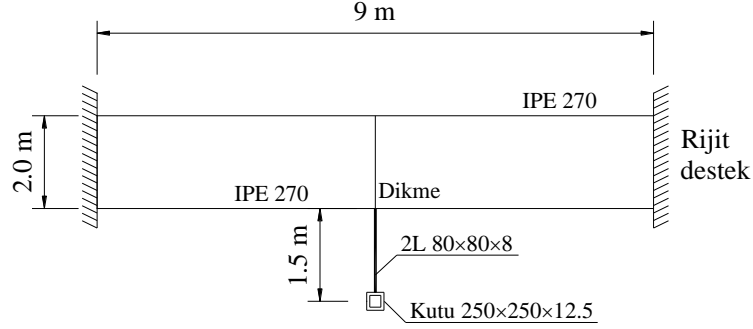
$$A = \frac{\beta_{br} L_b}{E \cos^2 \theta} = \frac{2.77(10)^3 (4920)}{200000 \cos^2 (0.406)} = 68.16 \text{ mm}^2 < 2320 \text{ mm}^2 \checkmark$$

## Örnek 16.6

Aşağıdaki şekilde sistem şeması verilen yürüme yolu, mesnet noktalarında boyuna eksenleri etrafında dönmelerinin önlendiği IPE 270 enkesitli kirişler kullanılarak oluşturulmuştur. Açıklıklarının ortalarından birbirine bağlanan kirişler, aynı noktada kiriş üst başlığına birleşen 2L80×80×8 enkesitli bir eleman yardımıyla 1500mm uzaklıktaki kutu enkesitli bir kolona

bağlanmaktadır. Kolonun yanal yerdeğiştirmesinin, yürüme yolunun 3.5m altındaki ve üstündeki hizalarda olmak üzere, önlendiği varsayılmaktadır. Her bir kiriş, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla,  $w_G = 2.0\text{kN/m}$  ve  $w_Q = 6.0\text{kN/m}$  üniform yayılı yüklerin etkisindedir.

- Kirişin mevcut eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT ve GKT)
- Stabilite elemanının gerekli dayanımının ve rijitliğinin belirlenmesi (YDKT ve GKT)
- 2L80×80×8 enkesitli stabilite elemanının eksenel dayanımının ve rijitliğinin kontrolü



### Çelik sınıfı

Yönetmelik Tablo 2.1A

IPE 270 için S 355  $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$

L80×80×8 için S 235  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$

Yönetmelik Tablo 2.1B

Kutu 250×250×12.5 için S 235  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$

### Enkesit

IPE 270

$W_{px} = 484 \text{ cm}^3$   $i_y = 112 \text{ mm}$   $d = 270 \text{ mm}$

$b_f = 135 \text{ mm}$   $h = 219.9 \text{ mm}$   $t_f = 10.2 \text{ mm}$   $t_w = 6.6 \text{ mm}$

L80×80×8

$A = 2320 \text{ mm}^2$

Kutu 250×250×12.5

$I = 10160 \text{ cm}^4$

### Çözüm

- Kirişin mevcut eğilme momenti dayanımının kontrolü

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	



$w_u = 1.2w_G + 1.6w_Q$ $= 1.2(2) + 1.6(6) = 12 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{12(9.0)^2}{8} = 121.50 \text{ kNm}$	$w_a = w_G + w_Q$ $= 2 + 6 = 8 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{w_a L^2}{8} = \frac{8(9.0)^2}{8} = 81 \text{ kNm}$
--	--

Basınç başlığının desteklenmeyen uzunluğunun  $L_b = 4.5\text{m}$  olması durumunda, her bir kirişin öngörülen yükler altında yeterli eğilme momenti dayanımına sahip olduğu Örnek 16.5 te gösterilmiştir.

**b. Noktasal stabilite elemanının gerekli dayanımının ve rijitliğinin belirlenmesi**

Kiriş açıklığının orta noktasında yanal yerdeğiştirmenin önlenmesi amacıyla konumlandırılan yanal stabilite bağlantısı, noktasal stabilite bağlantısı olarak değerlendirilmelidir.

$$h_o = d - t_f = 270 - 10.2 = 259.80 \text{ mm}$$

Kiriş tek eğrilikli eğilme etkisinde olduğundan,  $C_d = 1.0$

*Yönetmelik* 16.3.1.2 uyarınca, noktasal stabilite bağlantısının kiriş açıklığına dik doğrultuda gerekli dayanımı,  $P_{br}$ ,

YDKT	GKT
Gerekli dayanım, <i>Yönetmelik</i> Denk.(16.7)	
$P_{br} = 0.02 \left( \frac{M_r C_d}{h_o} \right)$ $= 0.02 \left( \frac{121.5(10)^3 1.0}{259.80} \right) = 9.35 \text{ kN}$	$P_{br} = 0.02 \left( \frac{M_r C_d}{h_o} \right)$ $= 0.02 \left( \frac{81(10)^3 1.0}{259.80} \right) = 6.23 \text{ kN}$
Stabilite bağlantısı iki kiriş için kullanıldığından, toplam gerekli dayanım	
$P_{br} = 2 \times 9.35 = 18.70 \text{ kN}$	$P_{br} = 2 \times 6.23 = 12.47 \text{ kN}$

Noktasal stabilite elemanı için gerekli rijitliğin belirlenmesi

*Yönetmelik* 16.3.1.2 uyarınca,

YDKT	GKT
Gerekli rijitlik, <i>Yönetmelik</i> Denk.(16.8)	

$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left( \frac{10M_r C_d}{L_{br} h_o} \right)$ $= \frac{1}{0.75} \left( \frac{10(121500)1.0}{4500(259.8)} \right) = 1.385 \text{ kN/mm}$	$\beta_{br} = \Omega \left( \frac{10M_r C_d}{L_{br} h_o} \right)$ $= 2.0 \left( \frac{10(81000)1.0}{4500(259.8)} \right) = 1.385 \text{ kN/mm}$
---	---

Stabilite bağlantısı iki kiriş için kullanıldığından, toplam gerekli rijitlik,

$$\beta_{br} = 2 \times 1.385 = 2.77 \text{ kN/mm}$$

Stabilite bağlantısının rijitliği 2L80×80×8 enkesitli dikme elemanının aksenal rijitliği ile Kutu 250×250×12.5 enkesitli kolonun eğilme rijitlikleri ile belirlenecektir.

2L80×80×8 enkesitli dikme elemanının aksenal rijitliği,

$$\beta = \frac{AE}{L} = \frac{2 \times 1230(200000)}{1500} 10^{-3} = 328 \text{ kN/mm}$$

Kolon, yürüme yolu hizasında orta noktasında stabilite sisteminin kiriş açıklığına dik doğrultuda gerekli dayanımı,  $P_{br}$ , kuvveti etkisinde olduğundan, Kutu 250×250×12.5 enkesitli kolonun eğilme rijitliği,

$$\beta = \frac{48EI}{L^3} = \frac{48(200000)10160(10)^4}{(3500+3500)^3} 10^{-3} = 2.84 \text{ kN/mm}$$

Bu durumda, stabilite bağlantı sisteminin toplam rijitliği,

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{\beta_{dikme}} + \frac{1}{\beta_{kolon}} = \frac{1}{328} + \frac{1}{2.84} = 0.355 \text{ kN/mm}$$

$$\beta = 2.82 \text{ kN/mm}$$

$$\beta = 2.82 \text{ kN/mm} \geq 2.77 \text{ kN/mm} \checkmark$$

olduğundan yanal stabilite bağlantısının yeterli rijitliğe sahip olduğu görülmektedir. Ancak, gerekli dayanım,  $P_{br}$ , için dikme elemanının aksenal dayanımı ve kolonun bileşik etkiler altında dayanımının yeterliliği kontrol edilmelidir.

## **ÖRNEK ÇELİK ENDÜSTRİ BİNASI**

Bu bölümde, tipik tek katlı tek açıklıklı çelik endüstri binasının düşey ve yatay yükler altında analizi ve seçilen elemanlarının tasarımı, “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları” Yönetmeliği’nde uygulama prensipleri verilen Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım

(YDKT) ve Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yaklaşımlarından her ikisi de uygulanarak açıklanacaktır.

Bina sistemi olarak, “*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) Açıklamalar ve Örnekler*” kitabı Bölüm 4 teki “Bir doğrultuda süneklik düzeyi normal çelik çerçeveli diğer doğrultuda süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çelik çerçeveli endüstri binası” örneği seçilmiştir.

Bina taşıyıcı sisteminin seçilen elemanlarının *gerekli dayanımı*, uygulanan tasarım yaklaşımı için öngörülen ve ayrıntıları *Yönetmelik 5.3* te verilen yük birleşimleri altında ve uygulama prensipleri *Yönetmelik 6.3* te açıklanan *Genel Analiz Yöntemi ile Tasarım* esasları kullanılarak hesaplanacaktır.

Kar ve rüzgar yükleri *Yönetmelik 1.3* te referans verilen sırasıyla, TS EN 1991-1-3 ve TS EN 1991-1-4 standartları, deprem yükleri ise DBYBHY 2007 esas alınarak belirlenmiştir.

Örnek binanın depreme dayanıklı olarak tasarımında, *Yönetmelik*'te esas alınan kural ve koşullara ek olarak, yürürlükteki deprem yönetmeliğinin kurallarının da uygulanması sağlanmalıdır.

1 Eylül 2016 da yürürlüğe giren “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları” Yönetmeliği kuralları esas alınarak tasarımı amaçlanan tipik tek katlı endüstri binası örneğinin tasarım aşamaları aşağıda özetlenmiştir.

1. Bina bilgileri, düşey yükler ve yatay yüklerin tanımlanması
2. Kar yüklerinin belirlenmesi
3. Rüzgar yüklerinin belirlenmesi
4. Deprem yüklerinin belirlenmesi
5. Sistem analizi
6. Seçilen elemanların YDKT ve GKT için en elverişsiz yük birleşimleri altında kontrolü

## **Bina Bilgileri**

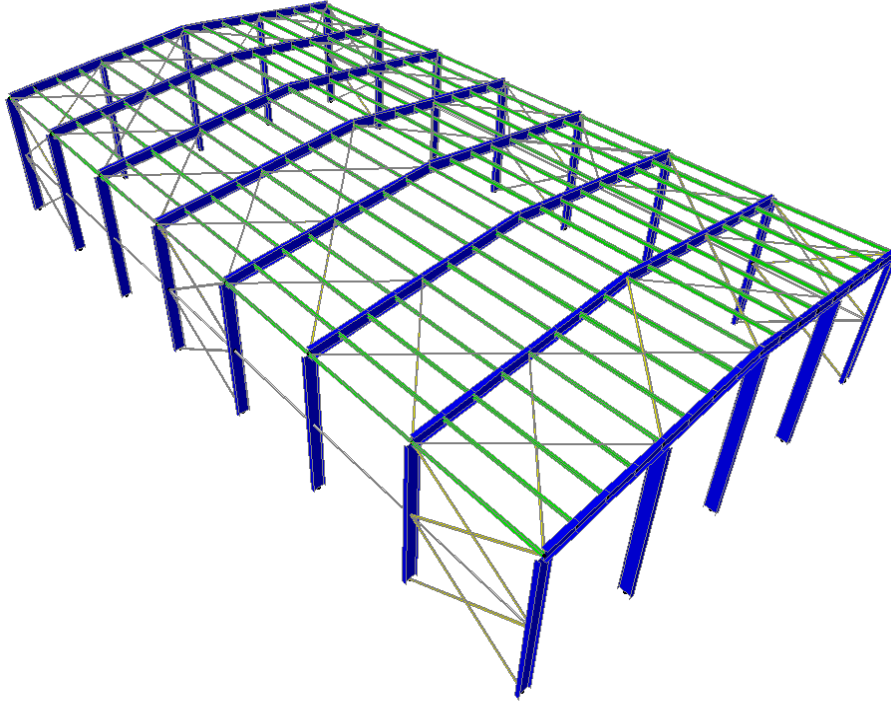
Çelik endüstri binası birinci derece deprem bölgesinde, Z3 yerel zemin sınıfı üzerinde inşa edilecek ve işyeri (fabrika) olarak kullanılacaktır.

İstanbul'da inşa edilen endüstri binasının mahal rakımı 100m olup, rüzgar etkileri için arazi kategorisi II olarak öngörülmüştür.

### **Taşıyıcı sistem bilgileri**

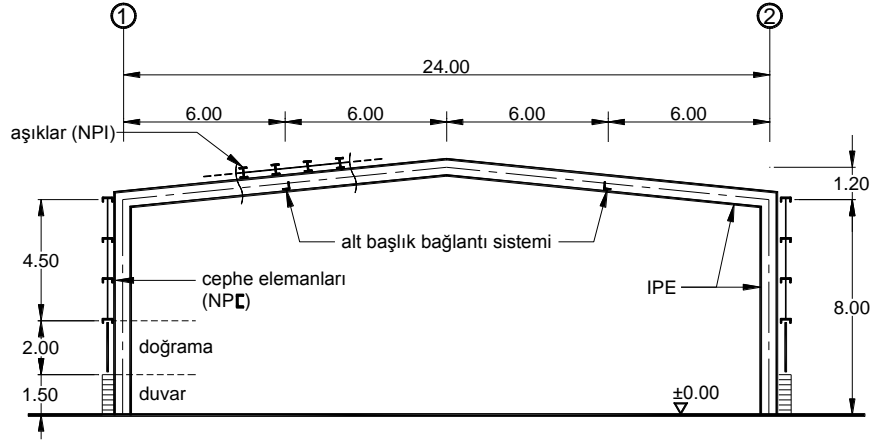
Üç boyutlu ve genel sistem görünüşü Şekil 1 de, çatı sistem planı Şekil 2 de, tipik çerçeve enkesiti ve cephe sistem görünüşü Şekil 3 te verilen tek katlı çelik endüstri binasının analizine ait başlıca sonuçlar ile tipik elemanların (kiriş ve kolon) boyutlandırma hesapları aşağıdaki bölümlerde açıklanacaktır.

Binanın (x) doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sistemi, DBYBHY 2007 de tanımlanan süneklik düzeyi normal moment aktaran çelik çerçevelerden, (y) doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sistemi ise, süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşmaktadır.

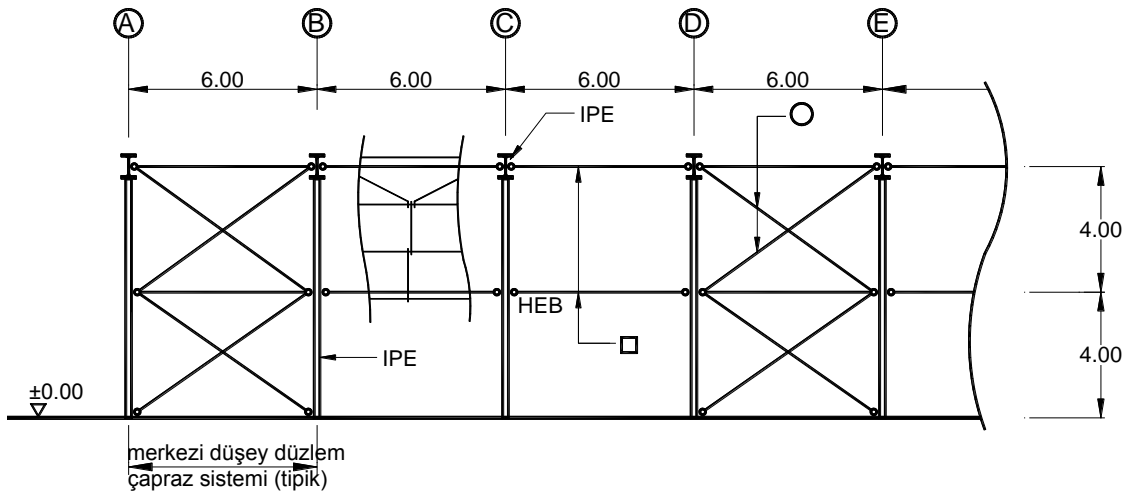


**Şekil 1** Genel sistem görünüşü





Şekil 3a – Tipik çerçeve enkesiti ( D aksı çerçevesi)



Şekil 3b – Cephe sistem görünüşü ( 2 aksı cephesi, bölgesel görünüş)

## Yükler

### Sabit yükler

Çatı döşemesi:	çatı kaplaması	: 0.1 kN/m <sup>2</sup>
	aşıklar	: 0.1 kN/m <sup>2</sup>
	tesisat yükü	: 0.25 kN/m <sup>2</sup>
	çelik konstrüksiyon	: 0.3 kN/m <sup>2</sup>
Cepheleler:	cephe kaplaması	: 0.1 kN/m <sup>2</sup>
	cephe elemanları	: 0.1 kN/m <sup>2</sup>
	doğrama	: 0.4 kN/m <sup>2</sup>
	bölme duvarlar	: 1.0 kN/m <sup>2</sup>
	çelik konstrüksiyon (kolonlar)	: 1.2 kN/m <sup>2</sup>
Dış duvar yükü		: 3.0 kN/m

## Kar yüklerinin belirlenmesi

Topografik bölge sınıfının, TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.2 Çizelge (5.1) e göre *normal* olma koşullarını sağladığı varsayılmaktadır.

TS EN 1991-1-3 Bölüm 1.6.1 deki tanım esas alınarak ve TS EN 1991-1-3 Bölüm 4.1 uyarınca, zemin yüzeyindeki kar ağırlığı,  $s_k$ , TS EN 1991-1-3 Ek MA Çizelge MA.1 e göre

$$s_k = 0.75 \text{ kN/m}^2$$

olarak belirlenebilir.

Not: TS EN 1991-1-3 Ek MA Çizelge MA.1 de verilen değerlerin güncel olmaması nedeniyle, zemin yüzeyindeki kar ağırlığının bölgedeki meteorolojik ölçümler kullanılarak değerlendirilmesi önerilmektedir.

TS EN 1991-1-3 Bölüm 1.6.4 e göre ve TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.2(3) uyarınca, çatı yüzeyindeki kar ağırlığı,  $S$

$$S = \mu_i C_e C_t s_k$$

Maruz kalma katsayısı,  $C_e$ , TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.2(7) Çizelge (5.1) e göre topografik bölge sınıfı normal topografik alan için,  $C_e = 1.0$  olarak belirlenmiştir.

Isı katsayısı,  $C_t$ , TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.2(8) e göre,  $C_t = 1.0$  olarak alınmıştır.

$$S = \mu_i (1.0)(1.0) s_k$$

$$S = \mu_i s_k$$

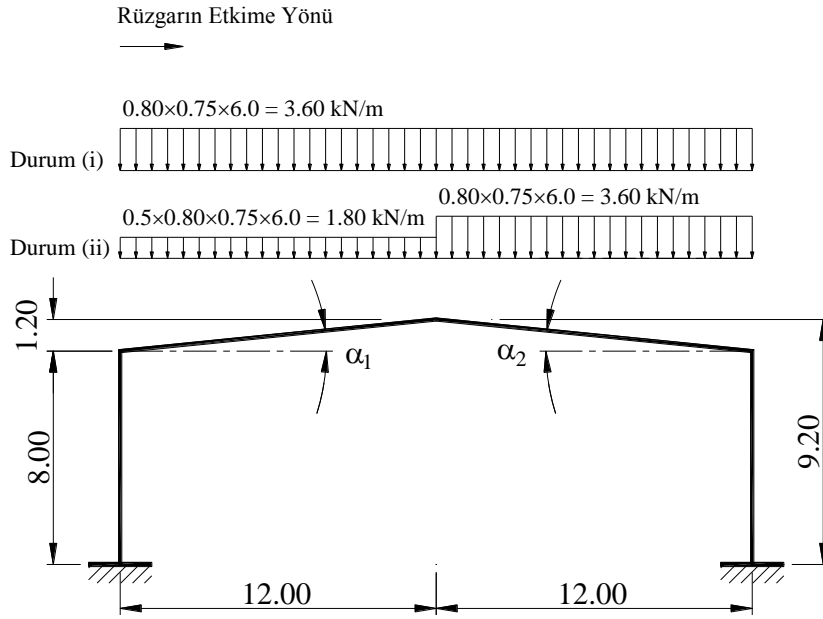
TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.3(2) uyarınca, çatı yüzeyindeki kar kütesinin kaymasının önlenmediği varsayılarak, şekil katsayıları için TS EN 1991-1-3 Çizelge (5.2) de verilen değer ile TS EN 1991-1-3 Şekil (5.3) e göre, her bir çerçeve arasındaki uzaklığın 6.0m olduğu gözönünde tutularak, bina için Şekil 4 te gösterilen kar yükü yayılışları dikkate alınmalıdır.

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$$

$$0^\circ \leq \alpha = 5.71^\circ \leq 30^\circ$$

$$\mu_i(\alpha) = 0.80$$





Şekil 4 – Kar yükü yayılışı

TS EN 1991-1-3 Bölüm 5.3.3(3) ve 5.3.3(4) uyarınca binanın analizinde, sırasıyla, birikmemiş kar yükü düzenlemesi olarak Durum (i) ve birikmiş kar yükü düzenlemesi olarak Durum (ii) de gösterilen kar yükü yayılışları gözönüne alınacaktır.

### Rüzgar yüklerinin belirlenmesi

Yönetmelik 5.3 e göre, rüzgar hızının temel değeri,  $V_{b,o} = 28$  m/sn (100 km/sa) den ve binanın ana taşıyıcı sistemine, dış cephe kaplamalarına ve rüzgara maruz yapısal ve yapısal olmayan elemanlarına gelen rüzgar yükleri  $0.50$  kN/m<sup>2</sup> den az olmayacaktır. Buna göre, rüzgar hızının temel değeri,  $V_{b,o} = 28$  m/sn (100 km/sa) olarak alınmıştır.

Not: Binanın bulunduğu arazi koşullarına göre gerektiğinde rüzgar hızının temel değeri bölgesel meteorolojik ölçümlerle değerlendirilmelidir.

Esas rüzgar hızı,

$$v_b = c_{dir} c_{season} V_{b,0} \quad \text{TS EN 1991-1-4 (4.1)}$$

Doğrultu katsayısı,  $c_{dir}$  ve mevsim katsayısı,  $c_{season}$  değerleri tavsiye edilen değer olan 1.0 alındığında, esas rüzgar hızı  $v_b = V_{b,0} = 28$  m/sn olarak elde edilir.

Bir arazide yer seviyesinden  $z$  metre yükseklikteki ortalama rüzgar hızı  $v_m(z)$ , o arazinin engebeliğine, orografik özelliklerine ve esas rüzgar hızı  $v_b$  değerine bağlı olarak TS EN 1991 - 1 -4 Denk.(4.3) ile hesaplanabilir.

Endüstri binasının inşa edileceği arazi kategorisi II için arazi parametreleri TS EN 1991-1-4 Çizelge (4.1) de aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$z_0 = 0.05 \text{ m}$$

$$z_{min} = 2 \text{ m}$$

İncelenen binada,  $z = 9.2$  m alınarak,

$$z_{min} = 2 \text{ m} \leq z = 9.2 \text{ m} \leq z_{maks} = 200 \text{ m}$$

$$k_r = 0.19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} = 0.19 \left( \frac{0.05}{0.05} \right)^{0.07} = 0.19 \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.5)}$$

$$c_r(z) = k_r \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 0.19 \ln \left( \frac{9.2}{0.05} \right) = 0.99 \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.4)}$$

Arazi orografisi için TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.3.3 esas alındığında, orografinin rüzgar hızını arttırmadığı varsayımı ile orografi katsayısı,  $c_o(z)$ , tavsiye edilen değer olan 1.0 e eşit olarak alınmaktadır (Bkz. TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.3.1, Not 1).

Ortalama rüzgar hızı,  $v_m(z)$ ,

$$v_m(z) = c_r(z) c_o(z) V_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.3)}$$

$$v_m(z) = 0.99(1.00)28 = 27.72 \text{ m/sn}$$

$z$  metre yükseklikteki, ortalama ve kısa süreli hız değişikliklerini içeren tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı,  $q_p(z)$  TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.5 ile hesaplanabilir.

Bunun için,  $z$  metre yükseklikteki türbülans şiddeti,  $l_v(z)$

$$z_{\min} = 2 \text{ m} \leq z = 9.2 \text{ m} \leq z_{\max} = 200 \text{ m} \text{ olduğundan,}$$

$$l_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1.0}{1.0 \ln \left( \frac{9.2}{0.05} \right)} = 0.19 \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.7)}$$

$$q_p(z) = [1 + 7l_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.8)}$$

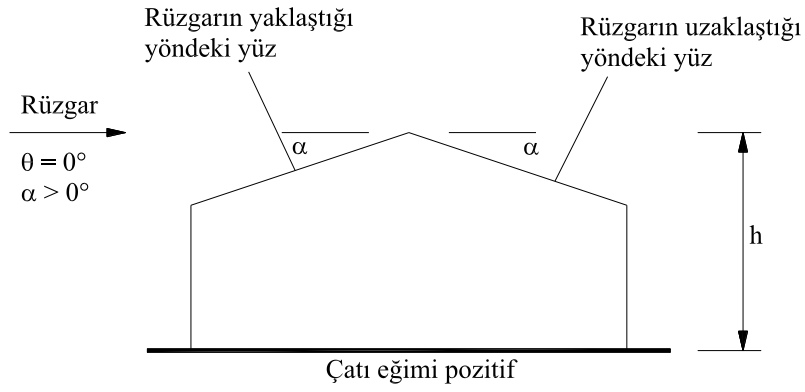
$$q_p(z) = [1 + 7(0.19)] \frac{1}{2} (1.25) (27.72)^2 10^{-3} = 1.12 \text{ kN/m}^2$$

veya TS EN 1991-1-4 Şekil (4.2) ile  $z = 9.2 \text{ m}$  yükseklik ve arazi kategorisi II için, maruz kalma katsayısı  $c_e(z) = 2.283$  olarak elde edilmektedir. Buna göre,

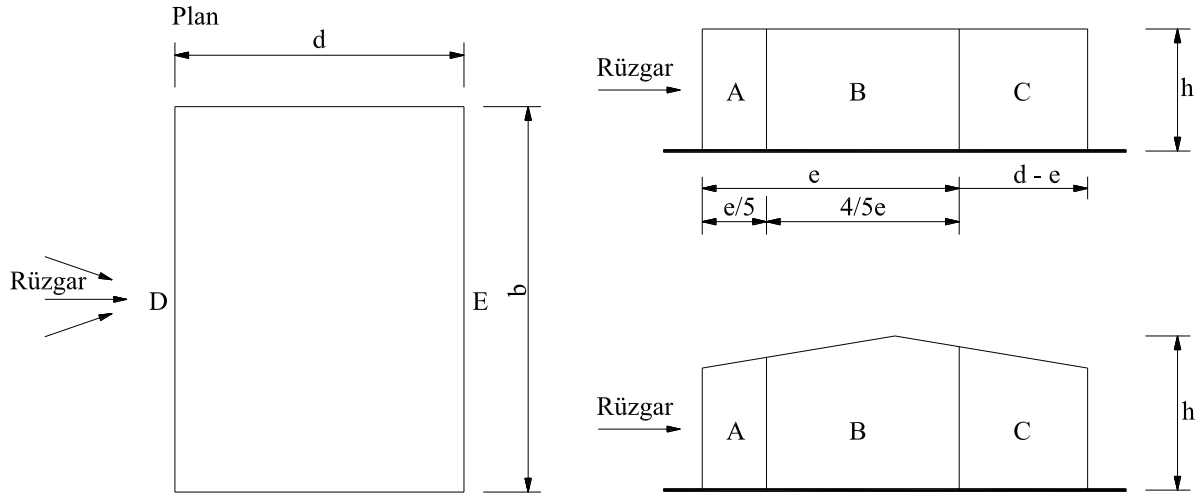
$$q_p = \frac{1}{2} \rho v_m^2 = \frac{1}{2} (1.25) 28^2 = 490 \text{ N/mm}^2 \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.10)}$$

$$q_p(z) = c_e(z) q_b = 2.283(490)10^{-3} = 1.12 \text{ kN/m}^2$$

Tepe kaynaklı hız basıncı,  $q_p(z)$ , referans yüksekliği,  $z_i$  ve dış ve iç basınç katsayılarına bağlı olarak, yüzeylere etkiyen dış ve iç rüzgar basınçları, TS EN 1991-1-4 Bölüm 5.2 de sırasıyla, Denk.(5.1) ve Denk.(5.2) ile verilmektedir. Bu durumda, binanın düşey duvarları için TS EN 1991-1-4 Bölüm 7.2.2 ve çift eğimli çatı için TS EN 1991-1-4 Bölüm 7.2.5 de verilen etki bölgelerinde kullanılması gereken dış basınç,  $c_{pe,10}$  ve iç basınç,  $c_{pi}$  katsayıları hesaplanacaktır.



Şekil 5 – Çift eğimli çatı



Şekil 6 – TS EN 1991-1-4 Şekil 7.5 e göre düşey duvar (cephe) etki bölgeleri

### Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ için yapının düşey duvarlarına ve çatıya etkiyen rüzgar yükünün belirlenmesi

$b = 42\text{m}$  (rüzgar yönüne dik boyut)

$d = 24\text{m}$

olmaktadır. Bu durumda,

$e = \min(b ; 2h) = \min(42.00\text{m}; 18.40\text{m}) = 18.40\text{m}$

$e < d$  olduğundan düşey duvarda A, B, C etki bölgeleri için dış basınç katsayıları,  $c_{pe}$

$h/d = 9.2/24 = 0.38 > 0.25$  olduğundan,

TS EN 1991-1-4 Çizelge (7.1) uyarınca, belirlenen değerler aşağıda verilmektedir.

**Tablo 1.** Düşey duvarlar için  $c_{pe,10}$  dış basınç katsayıları

Bölge	A	B	C	D	E
$c_{pe}$	-1.2	-0.8	-0.5	0.8	-0.5

Not: Güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla,  $h/d = 0.38 \leq 1.0$  olan binalar için önerilen 0.85 katsayısı kullanılmamıştır.



Çatı eğim açısı,  $\alpha=5.71^\circ$  olduğundan  $5^\circ$  ve  $15^\circ$  arasında doğrusal interpolasyon yapılarak, her bölge için kullanılması gereken dış basınç katsayıları belirlenmiştir.

**Tablo 5.** Çatı için  $c_{pnet}$ , net basınç katsayıları, ( $c_{pi} = -0.3$ ) için

Bölge	F	G	H	I	J
$c_{pnet} = c_{pe} - c_{pi}$	-0.83	-0.62	-0.28	-0.29	-0.33

**Tablo 6.** Çatı için  $c_{pnet}$ , net basınç katsayıları, ( $c_{pi} = +0.2$ ) için

Bölge	F	G	H	I	J
$c_{pnet} = c_{pe} - c_{pi}$	-1.33	-1.12	-0.78	-0.79	-0.83

### Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ için binanın düşey duvarlarına ve çatıya etkiyen rüzgar yükünün belirlenmesi

$b = 24.00\text{m}$  (rüzgar yönüne dik boyut)

$e = \min(b; 2h) = \min(24.00\text{m}; 18.40\text{ m}) = 18.40\text{m}$

$e = 18.40\text{ m}$  ve  $d = 42.00\text{ m}$  için,  $e < d$  olduğundan düşey duvarlarda A, B, C bölgeleri için  $c_{pe}$ , dış basınç katsayıları TS EN 1991-1-4 Şekil 7.5 de verildiği gibi gözönüne alınacaktır.

$h/d = 9.2/42 = 0.219 \leq 0.25$  olduğundan, TS EN 1991-1-4 Çizelge (7.1) ile belirlenen değerler aşağıda verilmektedir.

**Tablo 7.** Düşey duvarlar için  $c_{pe,10}$  dış basınç katsayıları

Bölge	A	B	C	D	E
$c_{pe}$	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.3

**Tablo 8.** Düşey duvarlar için  $c_{pnet}$ , net basınç katsayıları, ( $c_{pi} = -0.3$ ) için

Bölge	A	B	C	D	E
$c_{pnet} = c_{pe} - c_{pi}$	-0.9	-0.5	-0.2	1.0	0.0

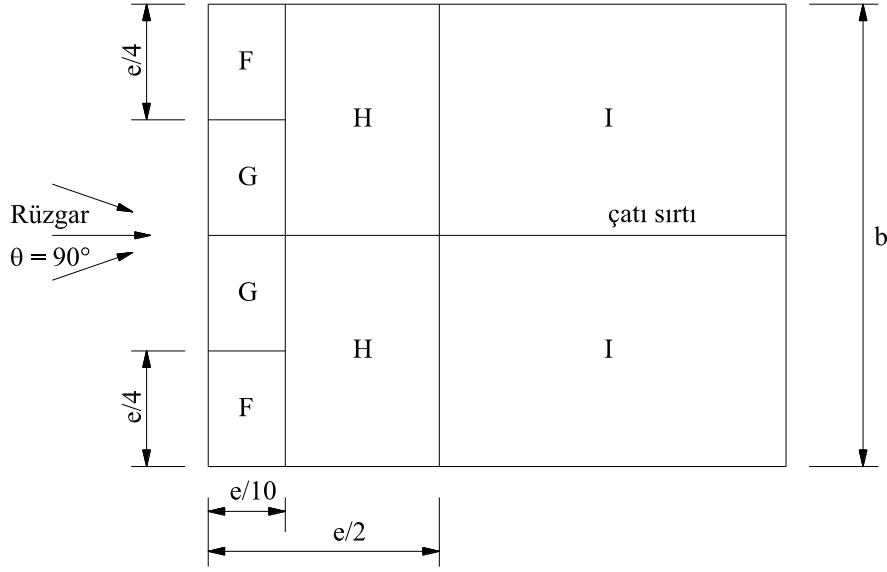
**Tablo 9.** Düşey duvarlar için  $c_{pnet}$ , net basınç katsayıları, ( $c_{pi} = +0.2$ ) için

Bölge	A	B	C	D	E
$c_{pnet} = c_{pe} - c_{pi}$	-1.4	-1.0	-0.7	0.5	-0.5

**Tablo 10.** Çatı için  $c_{pe,10}$  dış basınç katsayıları

Bölge	F	G	H	I
$c_{pe} (\alpha=5^\circ)$	-1.6	-1.3	-0.7	-0.6
$c_{pe} (\alpha=5.71^\circ)$	-1.58	-1.3	-0.7	-0.6
$c_{pe} (\alpha=15^\circ)$	-1.3	-1.3	-0.6	-0.5

Çatı için  $c_{pe}$  katsayıları TS EN 1991-1-4 Çizelge (7.4b) den çatı eğim açısı,  $\alpha=5.71^\circ$  için  $5^\circ$  ve  $15^\circ$  arasında doğrusal interpolasyon yapılarak, her bölge için kullanılması gereken dış basınç katsayıları belirlenmiştir.



Şekil 8 – Rüzgâr yönü  $\theta = 90^\circ$  için etki bölgeleri

Tablo 11. Çatı için  $c_{pnet}$ , net basınç katsayıları, ( $c_{pi} = -0.3$ ) için

Bölge	F	G	H	I
$c_{pnet} = c_{pe} - c_{pi}$	-1.28	-1.0	-0.4	-0.3

Tablo 12. Çatı için  $c_{pnet}$ , net basınç katsayıları, ( $c_{pi} = +0.2$ ) için

Bölge	F	G	H	I
$c_{pnet} = c_{pe} - c_{pi}$	-1.78	-1.5	-0.9	-0.8

Toplam rüzgâr basıncının belirlenmesi

Tepe kaynaklı hız basıncı,  $q_p(z)$ ,

$$q_p(z) = c_e(z) q_b = 2.283(490)10^{-3} = 1.12 \text{ kN/m}^2$$

Yukarıda belirlenen yüzeylere etkiyen net rüzgâr basınçları ile iç basınç ve dış basınç referans yükseklikleri,  $z_i = z_e$  olduğundan, etki bölgelerindeki rüzgâr basınçları

$$w(z) = c_{net} q_p(z)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Bu şekilde hesaplanan en elverişsiz rüzgâr basınçları bina geometrisi üzerinde olmak üzere, aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.







## Deprem yüklerinin belirlenmesi

Tasarımı yapılacak olan tek katlı çelik endüstri binası birinci derece deprem bölgesinde, Z3 yerel zemin sınıfı üzerinde inşa edilecek ve işyeri (fabrika) olarak kullanılacaktır. Yapı taşıyıcı sisteminin, (x) doğrultusunda süneklik düzeyi normal moment aktaran çelik çerçevelerden, (y) doğrultusunda süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşturulması öngörülmüştür. Bu parametreler esas alınarak belirlenen deprem karakteristikleri DBYBHY 2007 ye göre aşağıda verilmiştir.

- Etkin yer ivmesi katsayısı (1. Derece Deprem Bölgesi)  
 $A_o = 0.4$  (DBYBHY 2007 Tablo 2.2)
- Bina önem katsayısı (işyerleri)  
 $I = 1.00$  (DBYBHY 2007 Tablo 2.3)
- Spektrum karakteristik periyotları  
 $T_A = 0.15$  sn,  $T_B = 0.40$  sn (DBYBHY 2007 Tablo 2.4, Z3 yerel zemin sınıfı)
- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı  
(x doğrultusunda deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi normal moment aktaran çelik çerçeveler ile taşındığı çelik bina)  
 $R_x = 5$  (DBYBHY 2007 Tablo 2.5)  
(y doğrultusunda deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi normal çerçevelerle taşındığı çelik bina)  
 $R_y = 4$  (DBYBHY 2007 Tablo 2.5)
- Hareketli yük katılım katsayısı;  $n = 0.30$  (DBYBHY 2007 Tablo 2.7)

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanmasında, DBYBHY 2007 (2.7.4) e göre, çerçevenin birinci doğal titreşim periyodu, DBYBHY 2007 Denk.(2.11) ile hesaplanan değerden daha büyük alınmayacaktır.

$$T_1 = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad \text{DBYBHY 2007 (2.11)}$$

Toplam eşdeğer deprem kuvveti (taban kesme kuvveti),  $V_t$ , DBYBHY 2007 Denk.(2.4) ile hesaplanacaktır.

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10A_o IW \quad \text{DBYBHY 2007 (2.4)}$$

(x) doğrultusundaki moment aktaran çerçeveler özellikleri ve yükleri bakımından benzer olmaları nedeniyle, düşey yükler ve deprem etkileri, orta aks çerçevelerinden biri, örneğin (D) aksı çerçevesi, gözönüne alınarak belirlenmektedir.

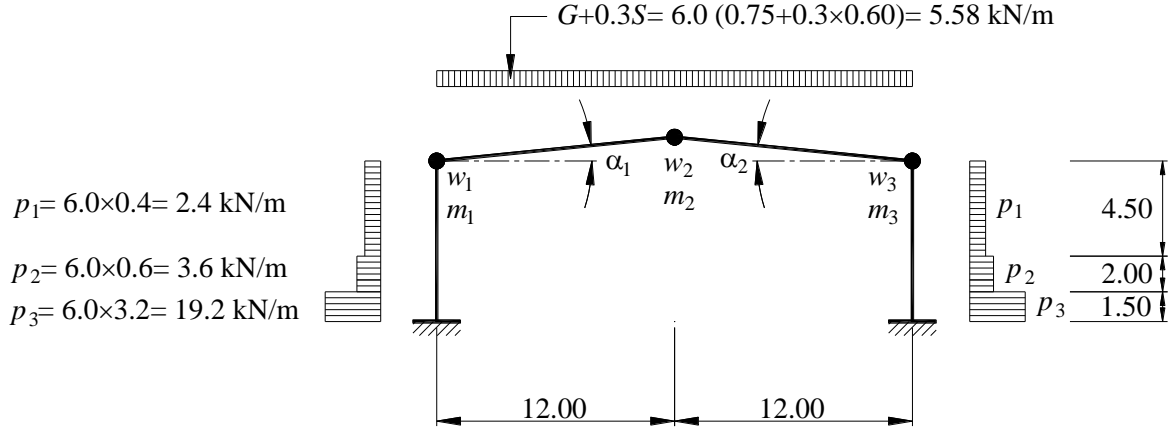
Örnek endüstri binası için (D) aksı çerçevesine etkiyen sabit yükler ve yukarıda Şekil 4 te gösterilen Durum (i) kar yükü yayılışı dikkate alınarak, hareketli yük katılım katsayısı ile çarpılmış kar yükleri Şekil 11 de gösterilmektedir.

Sistemin düğüm noktalarında toplandığı varsayılan  $w_i$  toplam ağırlıklarının ve  $m_i$  kütlelerinin bu yüklere bağlı olarak hesabı aşağıda verilmiş ve sonuçlar Tablo 13 te özetlenmiştir.

$$p_1 = 6.0 \times 0.2 + 1.2 = 2.4 \text{ kN/m}$$

$$p_2 = 6.0 \times 0.4 + 1.2 = 3.6 \text{ kN/m}$$

$$p_3 = 6.0 \times 3.0 + 1.2 = 19.2 \text{ kN/m}$$



Şekil 11 – (D) aksı çerçevesine etkileyen sabit ve hareketli yükler ( $n=0.30$ )

$$w_1 = w_3 = 19.2 \times 1.5 \times \frac{0.75}{8.0} + 3.6 \times 2.0 \times \frac{2.5}{8.0} + 2.4 \times 4.5 \times \frac{5.75}{8.0} + 5.58 \times 6.0 = 46.20 \text{ kN}$$

$$m_1 = m_3 = \frac{46.20}{9.81} = 4.71 \text{ kNs}^2/\text{m}$$

$$w_2 = 5.85 \times 12.0 = 70.20 \text{ kN}$$

$$m_2 = \frac{66.96}{9.81} = 6.83 \text{ kNs}^2/\text{m}$$

Tablo 13. Düğüm noktası ağırlıkları ve kütleleri

Düğüm Noktası	$w_i$	$m_i$
1	46.20	4.71
2	66.96	6.83
3	46.20	4.71
Toplam	159.36	16.25

DBYBHY Denk.(2.11) deki  $F_{fi}$  fiktif kuvvetleri düğüm noktalarının ağırlıkları ve  $\pm 0.00$  kotundan yükseklikleri ile orantılı kuvvetlerdir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilirler.

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} F_0$$

Burada  $F_0$ , seçilen herhangi bir yük katsayısını göstermektedir ve bu örnekte  $F_0 = 1000 \text{ kN}$  olarak alınacaktır. Bu şekilde hesaplanan  $F_{fi}$  fiktif kuvvetleri Tablo 14 ün ikinci kolonunda verilmişlerdir.

Ön boyutlandırma sonucunda kiriş ve kolon enkesitleri belirlenen çerçeve sistemin  $F_{fi}$  fiktif kuvvetleri altında analizi ile elde edilen  $d_{fix}$  yatay yerdeğiştirmeleri Tablo 14 ün üçüncü kolonunda görölmektedir. Bu büyüklükler DBYBHY 2007 Denk.(2.11) de yerlerine konularak (D) aksı çerçevesinin birinci doğal titreşim periyodu hesaplanır. Bu hesaplar, Tablo 14 üzerinde gösterilmiştir.

**Tablo 14.** Fiktif yüklerden oluşan yerdeğiştirmeleri

Düğüm Noktası	$F_{fi}$ (kN)	$d_{fix}$ (m)	$m_i$	$m_i d_{fix}^2$	$F_{fi} d_{fix}$
1	272.7	0.23991	4.71	0.27109	65.423
2	454.6	0.24088	6.83	0.39630	109.504
3	272.7	0.23991	4.71	0.27109	65.423
Toplam	1000.0			0.93848	240.35

(x) doğrultusu için, örnek binanın kiriş ve kolon enkesitleri ile belirlenen  $F_{fi}$  fiktif kuvvetleri altında analizi ile elde edilen  $d_{fix}$  yatay yerdeğiştirmeleri DBYBHY 2007 Denk.(2.11) de yerlerine konularak, (D) aksı çerçevesinin birinci doğal titreşim periyodu  $T_{1x}=0.393s$  olarak bulunur.

Binanın x doğrultusundaki taban kesme kuvveti,

$$T_{1x} = 0.393 \text{ s} < 0.60 \text{ s} = T_B$$

$$S(T_{1x}) = 2.5 \quad \text{ve} \quad R_{ax}(T_{1x}) = R_x = 5$$

değerleri DBYBHY 2007 Denk.(2.4) te yerlerine konularak,

$$V_{tx} = 159.36 \frac{0.40 \times 1.0 \times 2.5}{5} = 31.87 \text{ kN}$$

şeklinde hesaplanır.

DBYBHY 2007 Bölüm 2.7.2 uyarınca, (x) doğrultusunda, moment aktaran çelik çerçeveye etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü, düğüm noktalarına etkileyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak ifade edilir. Binanın tek katlı olması nedeniyle, ek eşdeğer deprem yükünün hesabına gerek olmamaktadır. Bu durumda, düğüm noktalarına etkileyen eşdeğer deprem yükleri,

$$F_i = V_t \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j}$$

DBYBHY 2007 (2.9)

$$\sum_{j=1}^N w_j H_j = 1355.23$$

$$F_1 = F_3 = 31.87 \frac{46.20 \times 8.0}{1355.23} = 8.69 \text{ kN}$$

$$F_2 = 31.87 \frac{66.96 \times 9.2}{1355.23} = 14.49 \text{ kN}$$

olarak elde edilir.

(y) doğrultusundaki deprem etkilerine karşı düzenlenen merkezi çaprazlı çelik çerçeveler özellikleri bakımından benzer olmaları nedeniyle, deprem etkileri, D-E aksları arasındaki merkezi çapraz sistemi gözönüne alınarak belirlenmektedir.

(y) doğrultusu için, tek katlı olan ve büyük bir yatay rijitliğe sahip bulunan merkezi çapraz sisteminin birinci doğal titreşim periyodunun

$$T_A \leq T_{1y} \leq T_B$$

olduğu, diğer bir deyişle,  $S(T_{1y})$  spektrum katsayısının

$$S(T_{1y}) = 2.5$$

olarak alınabileceği varsayımı yapılmıştır

D-E aksları arasındaki çatı ve düşey düzlem çapraz sistemlerine etkileyen deprem yükleri aşağıda hesaplanmış ve Şekil 12 de gösterilmiştir.

$W_i$ , ilgili düğüm noktasına etkileyen eşdeğer deprem yükünün hesabında esas alınan ağırlıktır ve C-F aksları arasındaki sabit yükler ve hareketli yük katılım katsayısı ile çarpılan kar yüklerinin toplamından meydana gelmektedir. Binaya (y) doğrultusunda etkileyen eşdeğer deprem yükleri,

$$S(T_{1y}) = 2.5 \quad \text{ve} \quad R_{yx}(T_{1y}) = R_y = 4$$

değerleri DBYBHY 2007 Denk.(2.4) te yerlerine konularak,

$$F_{iy} = W_i \frac{0.4 \times 1.0 \times 2.5}{4} = 0.25 W_i$$

şeklinde hesaplanır.

Çatı çapraz sistemine etkileyen eşdeğer deprem yükleri,

$$F_1 = 0.25 \times (0.75 + 0.3 \times 0.60) \times 3.0 \times 9.0 = 6.28 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0.25 \times (0.75 + 0.3 \times 0.6) \times 6.0 \times 9.0 = 12.56 \text{ kN}$$

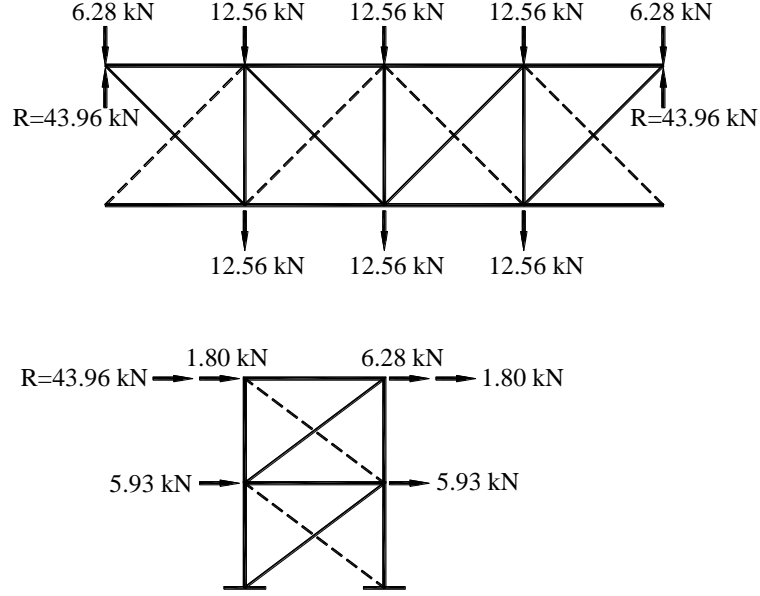
Çatı çapraz sisteminin mesnet tepkileri,

$$R = 6.28 + 3.0 \times 12.56 = 43.96 \text{ kN}$$

(y) doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sisteme (düşey merkezi çaprazlı çelik çerçeve) etkileyen deprem yükleri,

$$F_3 = 0.25 \times (2.4 \times 2.0) \frac{3}{2} = 1.80 \text{ kN}$$

$$F_4 = 0.25 \times \left( 2.4 \left( 2.0 + 0.5 \times \frac{3.75}{4.0} \right) + 3.6 \times 2.0 \times \frac{2.5}{4.0} + 19.2 \times 1.5 \times \frac{0.75}{4.0} \right) \times \frac{3}{2} = 5.93 \text{ kN}$$



**Şekil 12** – D-E aksları arasındaki yatay yük taşıyıcı sisteme etkiyen deprem yükleri

Hesaplarda, deprem yüklerinin basınç kuvveti oluşturacağı çubuklar terkedilerek yalnız çekme kuvvetleri etkisindeki çubuklar gözönüne alınmıştır.

### SİSTEM ANALİZİ

Endüstri binasının bilgisayar analizleri için analitik modeli üç boyutlu olarak hazırlanmıştır. Cephe ve çatı yüzeylerine etkiyen rüzgar yükleri, binanın üç boyutlu analitik modelinde, kolonlar ve çerçeve kirişlerine etkiyen statik olarak eşdeğer çizgisel yükler şeklinde uygulanmaktadır. Bina sistemine etkiyen deprem yükleri, (x) doğrultusunda D aksı çerçevesi için, (y) doğrultusunda ise D-E aksları arasındaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve için hesaplanan yükler esas alınarak uygulanmaktadır.

Sistemin *Genel Analiz Yöntemi* ile gerçekleştirilen ikinci mertbe teorisine göre analizinde, binanın elemanlarının *gerekli dayanımı*, uygulanan tasarım yaklaşımı için öngörülen ve ayrıntıları *Yönetmelik 5.3* te verilen aşağıdaki yük birleşimleri altında hesaplanacaktır. Bu yük birleşimleri ile belirlenen toplam yükler, ikinci mertbe teorisine göre sistem analizinde kullanılmak üzere, *Yönetmelik 6.1* uyarınca YDKT için  $\alpha = 1.0$  katsayısı ile, GKT yüklemesi için  $\alpha = 1.6$  katsayısı ile çarpılacaktır.

*Yönetmelik 6.2.2.2* uyarınca, sistemin düğüm noktalarının konumundaki geometrik ön kusurları temsil eden yatay fiktif yükler,

$$N_i = 0.002\alpha Y_i \quad (6.1)$$

olmak üzere, YDKT ve GKT yük birleşimleri için ayrı ayrı olarak gözönüne alınacaktır.

Genel Analiz Yöntemi ile sistemin ikinci mertbe teorisine göre analizinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin etkisini yaklaşık olarak gözönüne almak üzere, eleman rijitliklerinin azaltılması gerekmektedir.

Başlangıçta, kolon eksenel kuvvetlerinin eksenel kuvvet kapasitelerine oranlarının  $\alpha P_r / P_{ns} \leq 0.5$  koşulunu sağladığı varsayımı ile, elemanların eğilme, kesme ve eksenel rijitlikleri 0.80 katsayısı ile çarpılarak azaltılmıştır.

Analizin sonunda, yukarıdaki koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilecek ve gerekli olması halinde eğilme rijitlikleri *Yönetmelik* Denk.(6.3) uyarınca yeniden azaltılarak analiz tekrarlanacaktır.

Bir bilgisayar yazılımından yararlanarak, bu şekilde tanımlanan sistemin  $P - \Delta$  ve  $P - \delta$  etkilerini içerecek şekilde *ikinci merteye teorisine* göre analizi yapılmış, YDKT ve GKT yük birleşimleri için elde edilen iç kuvvetler ve düğüm noktası yatay yerdeğiştirmeleri belirlenmiştir.

Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım için Yük Birleşimleri (*Yönetmelik* 5.3.1)

- (1)  $1.4G$
- (2a)  $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (2b)  $1.2G + 1.6Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (3)  $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (Q \text{ veya } 0.8W)$
- (4)  $1.2G + 1.0Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 1.6W$
- (5)  $1.2G + 1.0Q + 0.2S + 1.0E$
- (6)  $0.9G + 1.6W$
- (7)  $0.9G + 1.0E$

Güvenlik Katsayıları ile Tasarım Yük Birleşimleri (*Yönetmelik* 5.3.2)

- (1)  $G$
- (2)  $G + Q$
- (3)  $G + (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (4)  $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (5a)  $G + 1.0W$
- (5b)  $G + 0.7E$
- (6a)  $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75W$
- (6b)  $G + 0.75Q + 0.75S + 0.75(0.7E)$
- (7)  $0.6G + W$
- (8)  $0.6G + 0.7E$

Not: DBYBHY 2007 ye göre deprem etkisi,  $E$ , aşağıdaki gibi gözönüne alınmıştır.

(x) doğrultusu için,  $E = E_x \pm 0.30E_y$

(y) doğrultusu için,  $E = E_y \pm 0.30E_x$

## TASARIM

Endüstri binasının seçilen elemanlarının *gerekli dayanımı*, uygulanan tasarım yaklaşımı için öngörülen ve ayrıntıları *Yönetmelik 5.3* te verilen yük birleşimleri altında ve uygulama prensipleri *Yönetmelik 6.3* te açıklanan Genel Analiz Yöntemi ile Tasarım esasları kullanılarak bilgisayar yazılımı yardımıyla hesaplanmıştır.

İkinci merteye etkileri içeren en elverişsiz yük birleşimi için belirlenen iç kuvvetler gözönüne alınarak, x doğrultusundaki çerçeve sisteminin seçilen elemanları (kiriş ve kolon) ile y doğrultusundaki çapraz sisteminin seçilen elemanlarının (diyagonal ve dikme) kontrol hesapları açıklanacaktır.

**Not:** Örnek binanın depreme dayanıklı olarak tasarımında, *Yönetmelik*'te esas alınan kural ve koşullara ek olarak, yürürlükteki deprem yönetmeliğinin kurallarının da uygulanması sağlanmalıdır.

### Çerçeve kirişleri

$N_{Gx}$ , sadece sabit yükler ile belirlenen ve  $N_{Sx}$ , Durum(i) kar yükü yayılışı için belirlenen (x) doğrultusunda etkiyen fiktif kuvvetler olmak üzere, en elverişsiz olan yük birleşimi için D aksı çerçeve kirişinde oluşan iç kuvvetler aşağıda verilmektedir.

YDKT	GKT
$1.2G + 1.6S + 1.2N_{Gx} + 1.6N_{Sx}$	$G + S + N_{Gx} + N_{Sx}$
$P_u = -100.98 \text{ kN}$	$P_a = -98.55 \text{ kN}$
$M_u = 436.96 \text{ kNm}$	$M_a = 314.40 \text{ kNm}$
$V_u = 125.07 \text{ kN}$	$V_a = 63.25 \text{ kN}$

### Çelik sınıfı

S 235  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$  (*Yönetmelik* Tablo 2.1A)

### Enkesit

IPE 600		
$A = 15600 \text{ mm}^2$	$I_x = 92080 \text{ cm}^4$	$I_y = 3387 \text{ cm}^4$
$J = 165 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 3070 \text{ cm}^3$	$W_{ey} = 308 \text{ cm}^3$
$W_{px} = 3512 \text{ cm}^3$	$W_{py} = 486 \text{ cm}^3$	$C_w = 2846000 \text{ cm}^6$
$d = 600 \text{ mm}$	$b_f = 220 \text{ mm}$	$h_o = 581 \text{ mm}$
$h = 514 \text{ mm}$	$t_f = 19 \text{ mm}$	$t_w = 12 \text{ mm}$
$i_x = 243 \text{ mm}$	$i_y = 46.6 \text{ mm}$	

### Elemanın karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 5.4.1* uyarınca, yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1A, Durum 1)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{220}{2(19)} = 5.79 \leq \lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 16.34$$

Gövde parçası (Tablo 5.1A, Durum 4)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{514}{12} = 42.83 \leq \lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 43.47$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından *narın olmayan enkesit* olarak değerlendirilir.

*Yönetmelik 8.2.1* uyarınca, elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, x- ve y-asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

$$\left(\frac{L_c}{i}\right)_{\text{maks}} = \frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{6030}{46.60} = 129.40 \leq 200 \checkmark$$

*Yönetmelik 8.1.1* uyarınca, narınlık oranları  $L_c/i \leq 200$  koşulunu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

Elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, en büyük narınlığa sahip olduğu y-asal ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu belirleyecektir. Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , için elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(129.40)^2} = 118 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$118 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 137.40$$

olduğundan,

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[ 0.658 \frac{235}{118} \right] 235 = 102.17 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$P_n = F_{cr} A_g = 102.17 (15600) 10^{-3} = 1594 \text{ kN} \quad (8.1)$$



YDKT	GKT
Kirişin tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	Kirişin güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(1594) = 1435 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 1594 / 1.67 = 954 \text{ kN}$

Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının x-ekseni etrafında eğilme durumunda belirlenmesi

*Yönetmelik 5.4* uyarınca, yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{220}{2(19)} = 5.79 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 11.09$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{514}{12} = 42.83 \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 109.70$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit *kompakt* olarak değerlendirilir.

Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik 9.2* uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = 235(3512)10^{-3} = 825.32 \text{ kNm} \quad (9.2)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kiriş başlığının yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklenmeyen uzunluğu,  $L_b = 6030 \text{ mm}$  olarak belirlenir (Bkz. Şekil 2 ve 3).

$$L_p = 1.76i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(46.60) \sqrt{\frac{200000}{235}} = 2393 \text{ mm} < L_b = 6030 \text{ mm} \quad (9.6a)$$

$$c = 1.0 \quad (9.7a)$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{1}{6} \frac{ht_w}{b_f t_f} \right)}} = \frac{220}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{1}{6} \frac{514(12)}{220(19)} \right)}} = 56.85 \text{ mm} \quad (9.8b)$$

$$h_o = d - t_f = 600 - 19 = 581 \text{ mm}$$

değerleri ile elastik olmayan yanal burkulma sınır uzunluk değeri,  $L_r$ , hesaplanır.

$$L_r = 1.95 i_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}} \quad (9.6b)$$

$$L_r = 1.95(56.85) \frac{200000}{0.7(235)} \times \dots$$

$$\dots \times \sqrt{\frac{165(10)^4(1.0)}{3070(10)^3(581)} + \sqrt{\left(\frac{165(10)^4(1.0)}{3070(10)^3(581)}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7(235)}{200000}\right)^2} = 7683 \text{ mm}$$

$$L_p = 2393 \text{ mm} < L_b = 6030 \text{ mm} \leq L_r = 7683 \text{ mm}$$

olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.2.2(b) uyarınca belirlenir.

Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki eleman uzunluğu,  $L_b=6030\text{mm}$ , boyunca eğilme momenti  $M_{maks}$ ,  $M_A$ ,  $M_B$  ve  $M_C$  momentleri ile *Yönetmelik* 9.1(c) uyarınca, moment düzeltme katsayısı,  $C_b$  belirlenir.

$$C_b = \frac{12.5 M_{maks}}{2.5 M_{maks} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad (9.1)$$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{ex}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (9.3)$$

YDKT

$$C_b = \frac{12.5(436.90)}{2.5(436.90) + 3(259.76) + 4(107.20) + 3(20.47)} = 2.312$$

$$M_n = 2.312 \left[ 825.32 - (825.32 - 0.7(235)(3070)10^{-3}) \left( \frac{6030 - 2393}{7683 - 2393} \right) \right]$$

$$M_n = 1399 \text{ kNm} \leq M_p = 825.32 \text{ kNm} \star$$

GKT

$$C_b = \frac{12.5(314.40)}{2.5(314.40) + 3(186.29) + 4(76.22) + 3(15.69)} = 2.316$$

$$M_n = 2.316 \left[ 825.32 - (825.32 - 0.7(235)(3070)10^{-3}) \left( \frac{6030 - 2393}{7683 - 2393} \right) \right]$$

$$M_n = 1401.43 \text{ kNm} \leq M_p = 825.32 \text{ kNm} \star$$

olduğundan, yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik moment dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = 825.32 \text{ kNm}$$

*Yönetmelik* 9.2 uyarınca, en küçük eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , akma sınır durumunda elde edildiğinden, dayanım hesabında bu sınır durum belirleyicidir.

YDKT	GKT
Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n$ $M_d = 0.90(825.32) = 742.79 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b$ $M_g = 825.32 / 1.67 = 494.20 \text{ kNm}$

#### Bileşik etkiler altında dayanım kontrolü

YDKT	GKT
Bileşik etkiler altında kirişin tasarım dayanımının kontrolü	Bileşik etkiler altında kirişin tasarım dayanımının kontrolü
$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{P_d} = \frac{100.97}{1435} = 0.07 < 0.2$	$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_a}{P_g} = \frac{72.50}{954} = 0.08 < 0.2$
$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \leq 1.0 \quad (11.1b)$	$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \leq 1.0 \quad (11.1b)$
$\frac{100.97}{2(1435)} + \frac{436.90}{742.79} = 0.62 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{72.50}{2(954)} + \frac{314.40}{494.20} = 0.67 \leq 1.0 \checkmark$

Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Çift simetri eksenli I-enkesitte *Yönetmelik* 10.2.1(a) uyarınca,

$$h / t_w = 514 / 12 = 42.83 \leq 2.24 \sqrt{E / F_y} = 2.24 \sqrt{200000 / 235} = 65.34 \text{ olduğundan,}$$

$\phi_v = 1.00$  (YDKT) veya  $\Omega_v = 1.50$  (GKT) ve  $C_{v1} = 1.0$  olarak alınacaktır.

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ ,

*Yönetmelik* 10.2 uyarınca,

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_{v1} \quad (10.1)$$

$$V_n = 0.6(235)(600 \times 12) 1.0(10)^{-3} = 1015 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$V_u = 125.06 \text{ kN}$	$V_a = 90.77 \text{ kN}$
Kirişin tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	Kirişin güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 1.0(1015) = 1015 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 1015 / 1.50 = 608 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{125.06}{1015} = 0.12 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{90.77}{608} = 0.15 \leq 1.0 \checkmark$

### Kirişte sehim kontrolü

Çerçeve kirişinin sehim (düşey yerdeğiştirme) kontrolü, D aksı çerçevesi için sabit yükler ve kısa süreli hareketli yükler veya kar yükleri altında *Yönetmelik* 15.1(a) uyarınca,  $G + Q$  (veya  $0.5S$ ) ve  $Q$  (veya  $S$ ) yük birleşimleri gözönüne alınarak yapılacaktır.

Buna göre,  $G + 0.5S$  yük birleşimi için Durum(i) kar yükü yayılışı esas alınarak elde edilen en büyük sehim değeri, 39.6mm olmaktadır. Bu değer, *Yönetmelik* 15.2 uyarınca,  $L/300$  olarak hesaplanan 80.0mm sınır değerini aşmamaktadır. Ayrıca, sadece kar yükü yayılışı altındaki en büyük sehim değeri 22.6mm olarak elde edilmemiştir. Bu değer, *Yönetmelik* 15.1(a) uyarınca,  $S$  yükleme durumu için  $L/360$  olarak tanımlanan 66.7mm lik sınır değeri aşmamaktadır.

### **Çerçeve kolonları**

$N_{Gx}$ , sadece sabit yükler ile belirlenen ve  $N_{Sx}$ , Durum(i) kar yükü yayılışı için belirlenen (x) doğrultusunda etkiyen fiktif kuvvetler olmak üzere, en elverişsiz olan yük birleşimi için D aksı çerçeve kolonunda oluşan iç kuvvetler aşağıda verilmektedir.

YDKT	GKT
$1.2G + 1.6S + 1.2N_{Gx} + 1.6N_{Sx}$	$G + S + N_{Gx} + N_{Sx}$
$P_u = -136.55\text{kN}$	$P_a = -98.55\text{kN}$
$M_u = 436.96\text{kNm}$	$M_a = 314.40\text{kNm}$
$V_u = 88.21\text{kN}$	$V_a = 63.25\text{kN}$

### **Çelik sınıfı**

S 235  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$  (*Yönetmelik* Tablo 2.1A)

### **Enkesit**

IPE 600

$A = 15600 \text{ mm}^2$	$I_x = 92080 \text{ cm}^4$	$I_y = 3387 \text{ cm}^4$
$J = 165 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 3070 \text{ cm}^3$	$W_{ey} = 308 \text{ cm}^3$
$W_{px} = 3512 \text{ cm}^3$	$W_{py} = 486 \text{ cm}^3$	$C_w = 2846000 \text{ cm}^6$
$d = 600 \text{ mm}$	$b_f = 220 \text{ mm}$	$h_o = 581 \text{ mm}$
$h = 514 \text{ mm}$	$t_f = 19 \text{ mm}$	$t_w = 12 \text{ mm}$
$i_x = 243 \text{ mm}$	$i_y = 46.6 \text{ mm}$	

### Elemanın karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik* 5.4.1 uyarınca, yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1A, Durum 1)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{220}{2(19)} = 5.79 \leq \lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 16.34$$

Gövde parçası (Tablo 5.1A, Durum 4)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{514}{12} = 42.83 \leq \lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 43.47$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından *narın olmayan enkesit* olarak değerlendirilir.

*Yönetmelik* 8.2.1 uyarınca, elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, x- ve y-asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

#### Eğilmeli burkulma sınır durumunda asal eksenlere göre eleman burkulma boyları

Bu örnekte, geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkileri genel analiz yöntemi ile hesaba katıldığından, *Yönetmelik* 6.3.3 uyarınca, burkulma boyu katsayısı,  $K=1.0$  olarak alınır. Buna göre,

$$L_{cx} = K_x L_x = 1.0(8000) = 8000 \text{ mm}$$

$$L_{cy} = [K_{y1} L_{y1}; K_{y1} L_{y1}]_{\text{maks}} = [1.0(4000); 1.0(4000)]_{\text{maks}} = 4000 \text{ mm}$$

Narinlik oranları,

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{8000}{243} = 32.92 \leq 200 \checkmark$$

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{4000}{46.60} = 85.84 \leq 200 \checkmark$$

*Yönetmelik* 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları  $L_c/i \leq 200$  koşulunu sağlamaktadır.

#### Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, $P_n$ ,

$$(L_c/i)_{\text{maks}} = (L_{cx}/i_x; L_{cy}/i_y)_{\text{maks}} = (32.92; 85.84)_{\text{maks}} = 85.84$$

olduğundan, elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, y-asal ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu belirleyecektir. Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , için elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(85.84)^2} = 268 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

*Yönetmelik* 8.2 uyarınca,

$$85.84 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 137.40$$

olduğundan,

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y = \left[0.658 \frac{235}{268}\right] 235 = 162.80 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$P_n = F_{cr} A_g = 162.80(15600)10^{-3} = 2539.67 \text{ kN} \quad (8.1)$$

YDKT	GKT
Kolonun tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	Kolonun güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.90(2539.67) = 2285.70 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 2539.67 / 1.67 = 1520.76 \text{ kN}$

Kolonun karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 5.4* uyarınca, yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{220}{2(19)} = 5.79 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 28.73$$

Gövde parçası (Tablo 5.1B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{514}{12} = 42.83 \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 109.70$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit *kompakt* olarak değerlendirilir.

Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik 9.2* uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = 235(3512)10^{-3} = 825.32 \text{ kNm} \quad (9.2)$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$

Kolon başlığı mesnet noktaları ve açıklık ortasında yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklendiğinden,  $L_b = 4000\text{mm}$  olarak belirlenir.

$$L_p = 1.76i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(46.60) \sqrt{\frac{200000}{235}} = 2393 \text{ mm} < L_b = 4000 \text{ mm} \quad (9.6a)$$

$$c = 1.0 \quad (9.7a)$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{1}{6} \frac{ht_w}{b_f t_f} \right)}} = \frac{220}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{1}{6} \frac{514(12)}{220(19)} \right)}} = 56.85 \text{ mm} \quad (9.8b)$$

$$h_o = d - t_f = 600 - 19 = 581 \text{ mm}$$

değerleri ile elastik olmayan yanal burkulma sınır uzunluk değeri,  $L_r$ , hesaplanır.

$$L_r = 1.95 i_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}} \quad (9.6b)$$

$$L_r = 1.95(56.85) \frac{200000}{0.7(235)} \times \dots$$

$$\dots \times \sqrt{\frac{165(10)^4(1.0)}{3070(10)^3(581)} + \sqrt{\left(\frac{165(10)^4(1.0)}{3070(10)^3(581)}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7(235)}{200000}\right)^2}} = 7683 \text{ mm}$$

$$L_p = 2393 \text{ mm} < L_b = 4000 \text{ mm} \leq L_r = 7683 \text{ mm}$$

olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , *Yönetmelik* 9.2.2(b) uyarınca belirlenir.

Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki eleman uzunluğu,  $L_b=4000\text{mm}$  boyunca eğilme momentleri  $M_{\text{maks}}$ ,  $M_A$ ,  $M_B$  ve  $M_C$  momentleri ile *Yönetmelik* 9.1(c) uyarınca, moment düzeltme katsayısı,  $C_b$  belirlenir.

$$C_b = \frac{12.5 M_{\text{maks}}}{2.5 M_{\text{maks}} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad (9.1)$$

$$C_b = \frac{12.5(436.90)}{2.5(436.90) + 3(349.23) + 4(261.14) + 3(172.73)} = 2.02 \quad (\text{YDKT})$$

$$C_b = \frac{12.5(314.40)}{2.5(314.40) + 3(251.34) + 4(188.13) + 3(124.82)} = 2.02 \quad (\text{GKT})$$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{ex}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (9.3)$$

$$M_n = 2.02 \left[ 825.32 - (825.32 - 0.7(235)(3070)10^{-3}) \left( \frac{4000 - 2393}{7683 - 2393} \right) \right]$$

$$M_n = 1474 \text{ kNm} \leq M_p = 825.32 \text{ kNm} \times$$

olduğundan, yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik moment dayanımı,  $M_n$

$$M_n = M_p = 825.32 \text{ kNm}$$

*Yönetmelik* 9.2 uyarınca, en küçük eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , akma sınır durumunda elde edildiğinden, dayanım hesabında bu sınır durum belirleyicidir.

YDKT	GKT
Kolonun tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	Kolonun güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b M_n$ $M_d = 0.90(825.32) = 742.79 \text{ kNm}$	$M_g = M_n / \Omega_b$ $M_g = 825.32 / 1.67 = 494.20 \text{ kNm}$

#### Bileşik etkiler altında dayanım kontrolü

YDKT	GKT
Bileşik etkiler altında kolonun tasarım dayanımının kontrolü	Bileşik etkiler altında kolonun tasarım dayanımının kontrolü
$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{P_d} = \frac{136.55}{2285.70} = 0.06 < 0.2$	$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_a}{P_g} = \frac{98.55}{1520.76} = 0.06 < 0.2$
$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \leq 1.0$ (11.1b)	$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \leq 1.0$ (11.1b)
$\frac{136.55}{2(2285.70)} + \frac{436.90}{742.79} = 0.62 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{98.55}{2(1520.76)} + \frac{314.40}{494.20} = 0.67 \leq 1.0 \checkmark$

#### Kolonun karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Çift simetri eksenli I-enkesitte *Yönetmelik* 10.2.1(a) uyarınca,

$$h/t_w = 514/12 = 42.83 \leq 2.24\sqrt{E/F_y} = 2.24\sqrt{200000/235} = 65.34 \text{ olduğundan,}$$

$\phi_v = 1.00$  (YDKT) veya  $\Omega_v = 1.50$  (GKT) ve  $C_{v1} = 1.0$  olarak alınacaktır.

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ ,

*Yönetmelik* 10.2 uyarınca,

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (10.1)$$

$$V_n = 0.6(235)(600 \times 12)1.0(10)^{-3} = 1015 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli kesme kuvveti dayanımı	
$V_u = 88.21 \text{ kN}$	$V_a = 63.25 \text{ kN}$
Kolonun tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü	Kolonun güvenli kesme kuvveti dayanımının kontrolü
$V_d = \phi_v V_n = 1.0(1015) = 1015 \text{ kN}$	$V_g = V_n / \Omega_v = 1015 / 1.50 = 677 \text{ kN}$
$\frac{V_u}{V_d} = \frac{88.21}{1015} = 0.09 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{V_a}{V_g} = \frac{63.25}{677} = 0.09 \leq 1.0 \checkmark$



## Merkezi çaprazlı çerçevenin diyagonal elemanı

Merkezi çaprazlı çerçevede en elverişsiz yük birleşimi için çapraz elemanda oluşan iç kuvvetler aşağıda verilmektedir.

YDKT	GKT
$0.9G + 1.0E_y + 0.3E_x$	$0.6G + 0.7E_y + 0.3(0.7E_x)$
$P_u = 64.35 \text{ kN}$	$P_a = 44.96 \text{ kN}$

### Çelik sınıfı

S 235  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$   $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$  (Yönetmelik Tablo 2.1A)

**Enkesit** TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı boru eleman

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(5.0) = 4.65 \text{ mm}$  için

Boru 101.6×5

$A_g = 1416.28 \text{ mm}^2$   $D = 101.6 \text{ mm}$   $t = 4.65 \text{ mm}$   $i = 34.3 \text{ mm}$

Elemanın karakteristik çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 7.2.1 uyarınca,

Akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_y A_g \quad (7.2)$$

$$T_n = F_y A_g = (235)(1416.28)10^{-3} = 332.83 \text{ kN}$$

Yönetmelik 7.2.2 uyarınca,

Kırılma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ ,

$$T_n = F_u A_e \quad (7.3)$$

$$A_e = U A_n \quad (7.1)$$

Etkin net enkesit alanı,  $A_e$ ,

Boru elemanın,  $t = 10 \text{ mm}$  kalınlığındaki düğüm noktası levhasına bağlantısının  $l=150 \text{ mm}$  uzunluğunda 4 adet köşe kaynak ile oluşturulduğu öngörülerek, net enkesit alanı boru enkesitinde karşılıklı olarak oluşturulan iki adet kesim dikkate alınarak değerlendirilecektir. Net enkesit alanı,

$$A_n = 1416.28 - 2(4.65)(10 + 2.0) = 1304.68 \text{ mm}^2$$

Not: Boru enkesitli elemanda meydana gelen enkesit kaybının alanının hesabındaki ilave 2.0mm kalınlık, boru elemanın düğüm noktası levhasına yerleşimini kolaylaştırmak amacıyla dikkate alınmaktadır.

$U$  (Tablo 7.1, Durum 5)

$D = 101.6 \text{ mm}$   $l = 150 \text{ mm}$

$l \geq 1.3D$

$$l = 150 \text{ mm} \geq 1.3(101.6) = 132.08 \text{ mm}$$

olduğundan,

$$U = 1$$

$$A_e = (1.0)(1304.68) = 1304.68 \text{ mm}^2$$

$$T_n = (360)(1304.68)10^{-3} = 469.68 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
Gerekli çekme kuvveti dayanımı	
$P_u = 64.35 \text{ kN}$	$P_u = 44.96 \text{ kN}$
Elemanın tasarım çekme kuvveti dayanımının kontrolü	Elemanın güvenli çekme kuvveti dayanımının kontrolü
$T_d = \phi_t T_n = 0.90(332.83) = 299.55 \text{ kN}$	$T_g = T_n / \Omega_t = 332.83 / 1.67 = 199.30 \text{ kN}$
$T_d = \phi_t T_n = 0.75(469.68) = 352.26 \text{ kN}$	$T_g = T_n / \Omega_t = 469.68 / 2.00 = 234.84 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{T_d} = \frac{64.35}{299.55} = 0.21 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{T_g} = \frac{44.96}{199.30} = 0.23 \leq 1.0 \checkmark$

Çekme elemanı narinlik oranı kontrolü,

Yönetmelik 7.1.1 uyarınca,  $L/i \leq 300$

$$i_{\min} = i = 34.3 \text{ mm alınarak, } 7210/34.3 = 210 \leq 300 \checkmark$$

### Merkezi çaprazlı çerçevenin dikme elemanı

Merkezi çaprazlı çerçevede en elverişsiz yük birleşimi için dikme elemanda oluşan iç kuvvetler aşağıda verilmektedir.

YDKT	GKT
$0.9G + 1.6W_y$	$G + 0.7E_y + 0.3(0.7E_x)$
$P_u = -46.68 \text{ kN}$	$P_a = -31.19 \text{ kN}$

### Çelik sınıfı

$$S 235 \quad F_y = 235 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 360 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1A})$$

**Enkesit** TS EN 10219 – Elektrik Direnç Kaynaklı kutu eleman

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,  $t = 0.93t_n = 0.93(8.0) = 7.44 \text{ mm}$  için

Kutu  $140 \times 140 \times 8$

$$A_g = 3802.44 \text{ mm}^2 \quad t = 7.44 \text{ mm} \quad i = 53.59 \text{ mm}$$

Dikme elemanının karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

*Yönetmelik 5.4* uyarınca, yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması (Tablo 5.1A, Durum 6)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{140 - 3 \times 7.44}{7.44} = 15.81 \leq \lambda_r = 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.40 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 40.84$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, çap/kalınlık oranı Tablo 5.1A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından *narın olmayan enkesit* olarak sınıflandırılır.

Kolon burkulma boyu,

$$L_c = KL = 1.0(6000) = 6000 \text{ mm}$$

Narinlik oranı,

$$\frac{L_c}{i} = \frac{6000}{53.59} = 111.96 \leq 200 \checkmark$$

*Yönetmelik 8.1.1* uyarınca, narinlik oranı  $L_c/i \leq 200$  koşulunu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

*Yönetmelik 8.2.1* uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(111.96)^2} = 157.47 \text{ N/mm}^2 \quad (8.4)$$

*Yönetmelik 8.2* uyarınca,

$$\frac{L_c}{i} = 111.96 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 137.40$$

olduğundan,

$$F_{cr} = \left[ 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y = \left[ 0.658^{\frac{235}{157.47}} \right] 235 = 125.85 \text{ N/mm}^2 \quad (8.2)$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ ,

$$P_n = F_{cr} A_g = 125.85 (3802.44) 10^{-3} = 478.55 \text{ kN} \quad (8.1)$$

YDKT	GKT
Gerekli basınç kuvveti dayanımı	
$P_u = -46.68 \text{ kN}$	$P_a = -31.19 \text{ kN}$
Elemanın tasarım basınç kuvveti dayanımının kontrolü	Elemanın güvenli basınç kuvveti dayanımının kontrolü
$P_d = \phi_c P_n = 0.90 (478.55) = 430.69 \text{ kN}$	$P_g = P_n / \Omega_c = 478.55 / 1.67 = 286.55 \text{ kN}$
$\frac{P_u}{P_d} = \frac{46.68}{430.69} = 0.108 \leq 1.0 \checkmark$	$\frac{P_a}{P_g} = \frac{31.19}{286.55} = 0.109 \leq 1.0 \checkmark$

## **KAYNAK YAYINLAR**

TS EN 1991 – 1 – 3 : 2009 Yapılar üzerindeki etkiler – Bölüm 1 – 3: Genel etkiler, kar yükleri

TS EN 1991 – 1 – 4 : 2005 Yapılar üzerindeki etkiler – Bölüm 1 – 4: Genel etkiler, rüzgar etkileri

DBYBHY 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik