

# ÇELİK (TS 708:2016)

Betonda oluşan çekme kuvvetlerini beton karşılamaz, çatlaklar. Çekme kuvvetlerini karşılamak ve çatlakları sınırlamak amacıyla çekme bölgelerine çelik çubuklar konur. Ayrıca, sargı donatısı olarak ve bazen basınç kuvveti almak için de kullanılır. “inşaat çeliği”, “beton çeliği”, “betonarme çeliği”, “donatı çeliği” denildiği gibi kısaca “donatı” da denir.

Betonu “donatmak” fikri 1849 yılında doğmuştur. İlk uygulamaları demir teller ile donatılmış beton kayık, saksı ve borulardır. Demir tel yerini zamanla demir profillere ve daha sonra demir çubuklara bıraktı. 1900 yıllarına kadar çelik değil demir çubuklar kullanıldı. Günümüzde sadece çelik kullanılmasına rağmen, uygulamada “demir” ve “Demirci” kelimesi hala yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yüzeyi “düz” veya girintili-çukıntılı üretilirler. Yüzeyi çıkıntılı olana “nervürlü” girintili olana “Profilli” çelik denir. Yüzeyin girintili çukıntılı olmasına bakılmaksızın çelik çubuk kesiti dairesel kabul edilir.

Düz yüzeyli çeliğin dayanımı düşüktür ve beton ile kenetlenmesi iyi değildir, kolayca sıyrılır. Uygulamada artık kullanılmamaktadır.

Nervürlü çeliğin dayanımı yüksektir ve beton ile daha iyi kenetlenir. Nervürler bir olta gibi davranır, çeliğin beton içinden sıyrılması zorlaşır. Günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Profilli çelik sadece hasır çelik üretilmesinde kullanılır. Çubukların ağ şeklinde fabrikada birbirine kaynaklanmasıyla üretilen çeliklere “çelik hasır” denir. Döşeme, tünel kaplaması, kanalet, beton yol gibi büyük yüzeyli elemanlarda kullanılır, işçilik azdır.

Betonarme çelik çubuklarının standardı TS 708<sup>1</sup> dir, 2010 ve 2016 da yenilendi. Eski yönetmelik TS 708:1996<sup>2</sup> da tanımlı çelikler iptal edildi, yeni çelikler tanımlandı. TS 500:2000 Madde 3.2 ‘**Beton donatısı olarak kullanılacak çelikler TS 708’e uygun olmalıdır**’ demektedir. Dolayısıyla TS 708:1996<sup>2</sup> da ve TS 500:2000 çizelge 3.1 de yer alan eski çelikler artık kullanılamazlar.

**TS 708:2016 da tanımlı betonarme çeliklerin simgeleri:**

S220, S420, B420B, B420C, B500A, B500B, B500C



Düz



Nervürlü



Hasır

## Çeliklerin sınıflandırılması

**Karbon miktarına göre:**

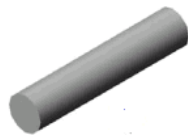
- Düşük karbonlu çelikler: Sünektir
- Yüksek karbonlu çelikler: Gevrektrir

**En küçük akma dayanımına göre:**

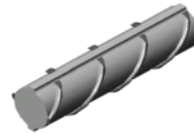
- En küçük akma dayanımı **220** N/mm<sup>2</sup> olan çelik: S220
- En küçük akma dayanımı **420** N/mm<sup>2</sup> olan çelikler: S420, B420B, B420C
- En küçük akma dayanımı **500** N/mm<sup>2</sup> olan çelikler: B500A, B500B, B500C

**Yüzey özelliğine göre:**

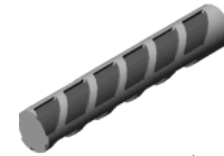
- Düz yüzeyli çelik: S220
- Nervürlü çelikler: S420, B420B, B420C, B500B, B500C
- Profilli çelik: B500A



Düz



Nervürlü

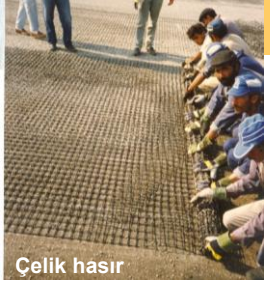


Profilli

<sup>1</sup> TS 708 Çelik-Betonarme için-Donatı Çeliği, Türk Standardları Enstitüsü, Mart, 2016

<sup>2</sup> TS 708 Beton Çelik Çubukları, Türk Standardları Enstitüsü, Mart, 1996

# Çelik hasır(TS 4559-1985)



## Kullanıldığı yerler:

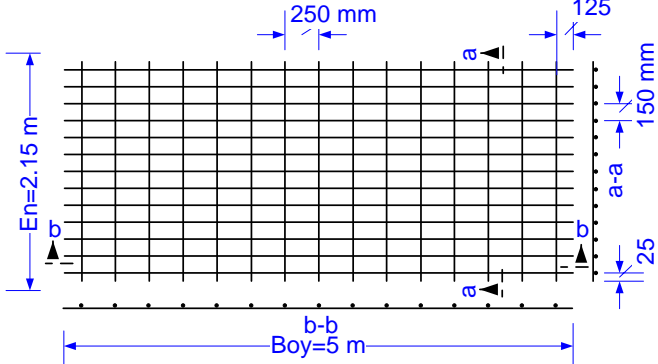
- Döşemelerde
- Radye temellerde
- Salt perdeli yapılarda
- Perdelerin gövdelerinde
- Tünel kaplamalarında
- İstinat duvarlarında
- Beton yol ve saha kaplama betonlarında

## Standart çelik hasır boyutları:

Kare (Q) veya dikdörtgen (R) gözenekli olarak, B500 çelik çubukları fabrikada kaynaklanarak üretilirler. Standart boyutları 5x2.15 m'xm dir

Mesnetlerde ek donatı ve bir doğrultuda çalışan plakların açıklıklarında tercih edilir

## R TİPİ standart çelik hasır (150x250 mmxmm dikdörtgen gözenekli):

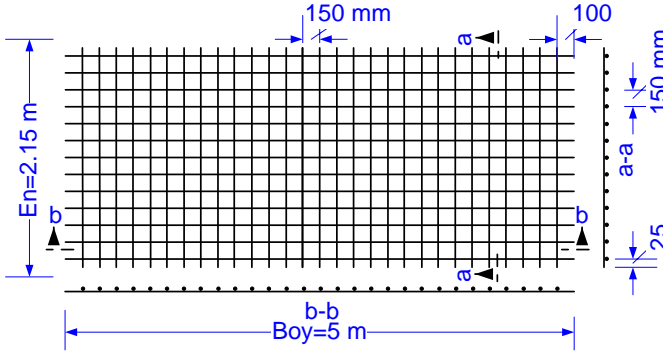


Tip	Çubuk çapı (mm)		Donatı alanı mm <sup>2</sup> /m	
	Boyuna	Enine	Boyuna	Enine
R106	4,5	4,5	106	64
R131	5,0	5,0	131	79
R158	5,5	5,0	158	79
R188	6,0	5,0	188	79
R221	6,5	5,0	221	79
R257	7,0	5,0	257	79
R295	7,5	5,0	295	79
R317	5,5d	5,0	317	79
R335	8,0	5,0	335	79
R377	6,0d	5,0	377	79
R443	6,5d	5,5	443	95
R513	7,0d	6,0	513	113
R589	7,5d	6,5	589	133

**R hasır tablosu:**  
Enine donatı alanı boyuna donatı alanından az. Enine donatı alanı boyuna donatı alanının yaklaşık beşte biridir.

**Q hasır tablosu:**  
Enine donatı alanı boyuna donatı alanına eşit veya daha az

## Q TİPİ standart çelik hasır (150x150 mmxmm kare gözenekli):



Tip	Çubuk çapı (mm)		Donatı alanı mm <sup>2</sup> /m	
	Boyuna	Enine	Boyuna	Enine
Q106/106	4,5	4,5	106	106
Q106/131	4,5	5,0	106	131
Q106/158	4,5	5,5	106	158
Q131/106	5,0	4,5	131	106
Q131/131	5,0	5,0	131	131
Q158/158	5,5	5,5	158	158
Q188/188	6,0	6,0	188	188
Q221/221	6,5	6,5	221	221
Q257/131	7,0	5,0	257	131
Q257/158	7,0	5,5	257	158
Q257/188	7,0	6,0	257	188
Q257/221	7,0	6,5	257	221
Q257/257	7,0	7,0	257	257
Q257/295	7,0	7,5	257	295
Q295/131	7,5	5,0	295	131
Q295/158	7,5	5,5	295	158
Q295/188	7,5	6,0	295	188
Q295/221	7,5	6,5	295	221
Q295/257	7,5	7,0	295	257
Q295/295	7,5	7,5	295	295
Q317/158	5,5d	5,5	316	158
Q377/131	6,0d	5,0	377	131
Q443/257	6,5d	7,0	443	257
Q513/188	7,0d	6,0	513	188
Q589/221	7,5d	6,5	589	221
Q589/295	7,5d	7,5	589	295

•Standart çelik hasıra depo hasırı da denir. Boyu 5 m, eni 2.15 m olarak üretilmiş, satışa hazır, hemen teslim edilebilir anlamındadır. Projede gösterilen boyutlarda kesilerek yerine yerleştirilir.

- Sipariş verilerek özel boyutlarda üretim yaptırılabilir.
- Mimarisi aynı çok sayıda yapıda standart hasır uygun olmaz. Projesine göre sipariş vermek zayıflar, işçilik azalır.
- Her standart hasır her üreticide bulunamayabilir.
- Bazı standart hasırların boyuna çubukları çift çubukludur. Bu hasırlar boyuna çapın yanına **d** (=double=çift) harfi yazılarak belirtilir. Örnek: **Q 150.150.7d.6**

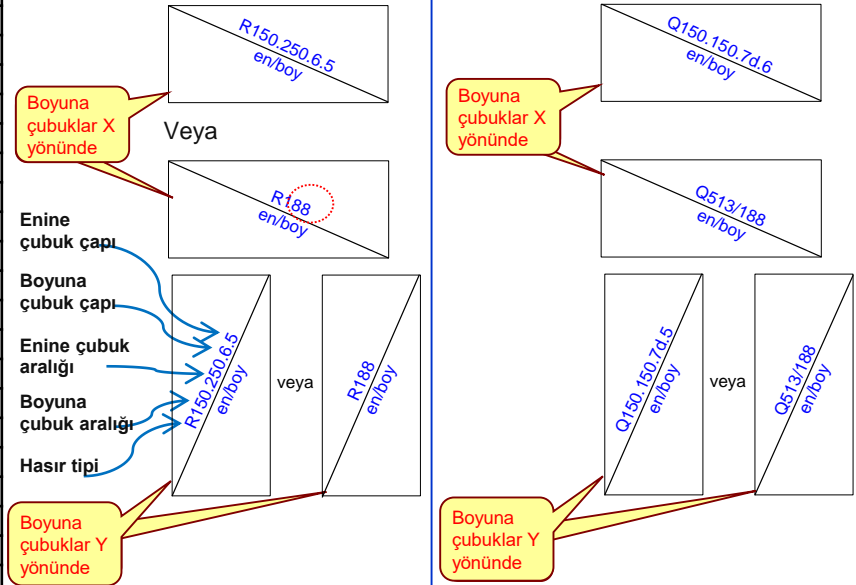
•Açıklıkta boyuna çubuklar alta ve çalışma doğrultusuna gelecek şekilde yerleştirilir.

•Mesnetlerde boyuna çubuklar üste ve çalışma doğrultusuna gelecek şekilde yerleştirilir.

•Daha detaylı hasır tabloları için **EK15A** ya bakınız

## Projede gösterilişi:

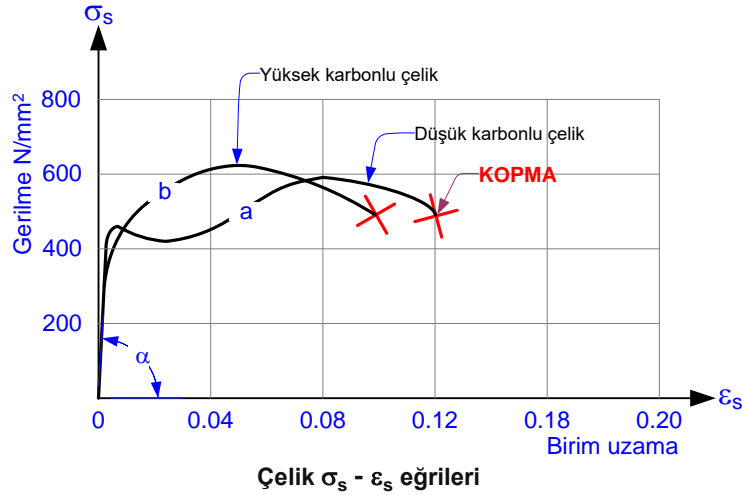
Hasırlar kalıp planı üzerinde bir diyagonal çizilerek gösterilir. Çubuklar çizilmez. Diyagonal üzerine hasır tipi bilgileri yazılır. Örnek:



**R188 = R150.250.6.5 dir. Buradaki 188 değeri boyuna çubukların 1 m genişlikteki toplam alanıdır: mm<sup>2</sup>/m**

**Q513/188 = Q150.150.7d.6 dir. Buradaki 513 değeri boyuna,188 değeri de enine çubukların 1 m genişlikteki toplam alanıdır: mm<sup>2</sup>/m**

# Betonarme çeliği davranışı, gerilme-şekil değiştirme ( $\sigma_s - \epsilon_s$ ) eğrisi



Bir çeliğin çekme deneyi sonucunda çizilen gerilmesi-birim uzama eğrisi a ve b ile gösterildiği gibi olur.

a eğrisi düşük karbonlu çeliklerde görülür, akıncaya kadar doğrusal yükselir; aktıktan sonra, gerilme artmaksızın, uzama hızla artar, eğride yatay bir bölge gözlenir. Bu bölgeye akma eşiği yada akma sahanlığı denir. Çeliğin aktığı anda ölçülen gerilmesine 'akma gerilmesi' veya '**akma dayanımı**' denir,  $f_y$  ile gösterilir. Sonra, pekleşme nedeniyle eğri biraz yükselerek bir tepe noktası oluşur. Tepe noktasına karşılık gelen gerilmeye 'çekme gerilmesi' veya '**çekme dayanımı**' denir  $f_{su}$  ile gösterilir. Çelik çekme dayanımına ulaştıktan sonra hızla uzayarak kopar. Koptuğu andaki birim uzamaya '**kopma birim uzaması**' denir ve  $\epsilon_{su}$  ile gösterilir.

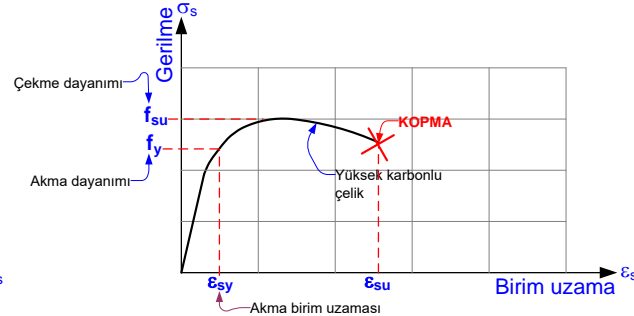
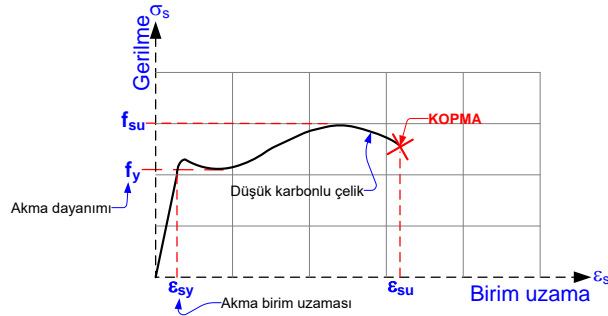
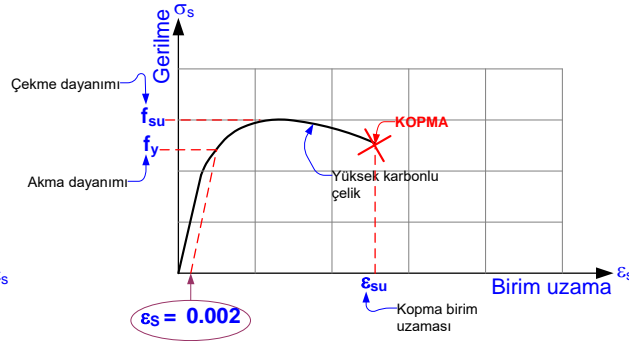
b eğrisi yüksek karbonlu çeliklerde görülür, akıncaya kadar doğrusal yükselir, fakat aktığını gösteren belirgin bir akma sahanlığı oluşmaz.

## Tanımlar:

- $f_y$  : çelik akma dayanımı
- $f_{yk}$  : çelik karakteristik akma dayanımı (ölçülmemiş, yönetmelik veya projede öngörülmüş dayanım)
- $f_{su}$  : çelik çekme dayanımı
- $\epsilon_{sy}$  : çelik akma birim uzama veya kısalması
- $\epsilon_{su}$  : çelik kopma birim uzaması
- $\sigma_s$  : çelikteki gerilme
- $\epsilon_s$  : çelik birim uzama veya kısalması
- $E_s$  : çelik elastisite modülü

- Düşük karbonlu çelik düşük dayanımlı(kötü) fakat sünektir(iyi).
- Yüksek karbonlu çelik yüksek dayanımlı(iyi) fakat gevrek(kötü).
- Sünek çeliğin akma eşiği belirgindir. Gevrek çelikte ise akma sınırı gözlenemez.
- Her iki tür çelik akma dayanımına kadar doğrusal-elastik davranır. Bu bölgede HOOKE kanunu geçerlidir:  $\sigma_s = E_s \epsilon_s$
- Çelik aktıktan sonra, HOOKE geçersizdir, gerilme ile birim şekil değiştirme arasında hiçbir bağıntı yoktur.
- Tan  $\alpha = E_s$  çeliğin elastisite modülüdür, her iki çelik tipi için de aynıdır.
- $E_s$  değeri  $1.9 \cdot 10^5$  ile  $2.1 \cdot 10^5$  N/mm<sup>2</sup> arasındadır. Hesaplarda  $E_s = 2.0 \cdot 10^5$  N/mm<sup>2</sup> alınır.

**Aşırı gevrek çelikler yapıların kiriş, kolon ve perdelerin uçlarında kullanılmamalıdır.**



## Akma dayanımı :

Çekme deneyi yapılır,  $\sigma_s - \epsilon_s$  eğrisi çizilir.

Çeliğin  $\sigma_s - \epsilon_s$  eğrisinde akma eşiği varsa akma eşiğine karşılık gelen gerilme akma dayanımı olarak alınır,  $f_y$  ile gösterilir. Bu dayanım karakteristik (ölçülmemiş, yönetmelik veya projede öngörölmüş dayanım) ise  $f_{yk}$  ile gösterilir.

$\sigma_s - \epsilon_s$  eğrisinde akma eşiği yoksa, 0.002 kalıcı şekil değiştirme noktasından çıkış doğrusuna paralel çizilir. Paralelin  $\sigma_s - \epsilon_s$  eğrisini kestiği noktaya karşılık gelen gerilme akma dayanımı olarak alınır.

## Çekme dayanımı :

$\sigma_s - \epsilon_s$  eğrisinin tepe noktasına karşılık gelen dayanım çekme dayanımı olarak alınır,  $f_{su}$  ile gösterilir.

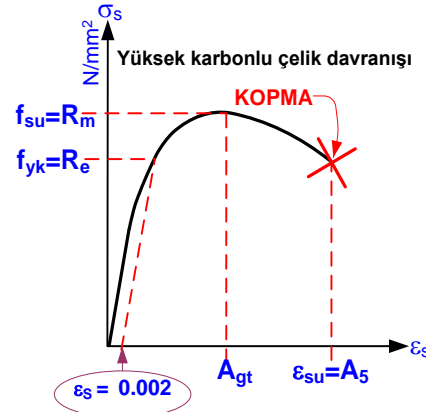
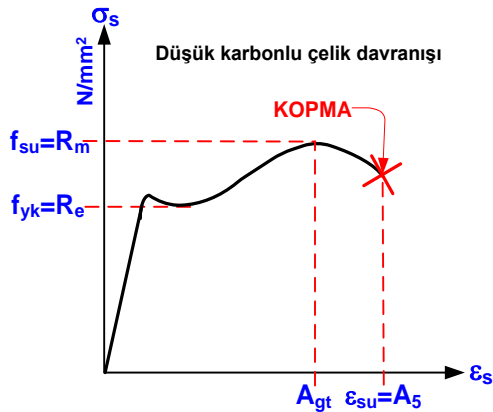
## Akma birim uzaması:

$f_y$  akma dayanımına karşılık gelen birim uzamadır,  $\epsilon_{sy}$  ile gösterilir.

## Kopma birim uzaması:

Çeliğin koptuğu andaki birim uzamasıdır,  $\epsilon_{su}$  ile gösterilir.

## TS 708:2016 daki tanımlar



Yukarıda tanımları verilen  $f_{yk}$ ,  $f_{su}$ ,  $\epsilon_{su}$  büyüklükleri TS 708:2016 da farklı adlandırılmaktadır. İlişki kurulabilmesi açısından karşılıkları soldaki grafiklerde verilmiştir:

$$f_{yk} = R_e$$

$$f_{su} = R_m$$

$$\epsilon_{su} = A_5$$

$f_y$ ,  $\epsilon_{sy}$ ,  $f_{yk}$ ,  $\epsilon_{su}$  simgeleri teoride yoğun kullanılır.  $f_{su}=R_m$  ye karşılık gelen  $A_{gt}$  birim uzaması teoride kullanılmaz.

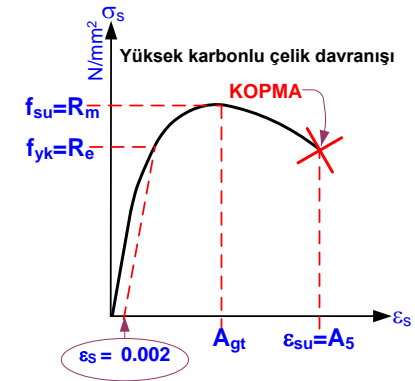
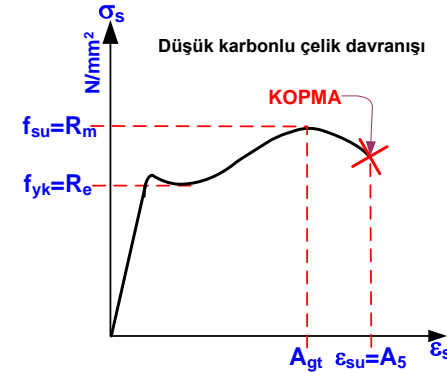
$R_e$ ,  $R_m$ ,  $A_5$  değerleri kullanılacak çeliğin seçiminde önemlidirler (Bak: TBDY-2018, Madde 7.2.5.3).

# Betonarme çeliği sınıfları ve mekanik özellikleri (TS 708:2016)

	Çelik sınıfı						
	S220 Düz	S420 Nervürlü	B420B Nervürlü	B420C Nervürlü	B500B Nervürlü	B500C Nervürlü	B500A Profilli
Akma dayanımı $f_{yk}=R_e$ (N/mm <sup>2</sup> )	≥ 220	≥ 420	≥ 420	≥ 420	≥ 500	≥ 500	≥ 500
Çekme dayanımı $f_{su}=R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	≥ 340	≥ 500	-	-	-	-	≥ 550
Çekme dayanımı/akma dayanımı oranı $f_{su}/f_{yk}=R_m/R_e$	≥1.2	≥1.15	≥1.08	≥1.15 <1.35	≥1.08	≥1.15 <1.35	-
DeneySEL akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı oranı $R_{e,act}/R_{e,nom}$	-	≤1.3	-	≤1.3	-	≤1.3	-
Kopma uzaması $\epsilon_{su}=A_5$	≥ %18	≥ %10	≥ %12	≥ %12	≥ %12	≥ %12	≥ %5
Maksimum yükte toplam uzama $A_{gt}$	-	-	≥ %5	≥ %7.5	≥ %5	≥ %7.5	≥ %2.5
<b>TBDY-2018 e uygun mu?</b>	<b>Hayır</b>	<b>Hayır</b>	<b>Hayır</b>	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>

**UYGUN**

**UYGUN**



## Çelik seçimi:

Sünek davranışı olabildiğince sağlamak amacıyla; TBDY-2018 **kiriş, kolon ve perdelerin uçlarında kullanılacak çeliğin**

1. Nervürlü olmasını
2. Akma dayanımı  $R_e \geq 420$  veya  $R_e \geq 500$  N/mm<sup>2</sup> olmasını
3. Çekme dayanımı/akma dayanımı oranının  $1.15 \leq R_m/R_e < 1.35$  olmasını
4. DeneySEL akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı oranının  $R_{e,act}/R_{e,nom} \leq 1.3$  olmasını
5. Kopma uzamasının  $A_5 \geq \%10$  olmasını
6. Eşdeğer karbon oranının  $\leq \%0.50$  olmasını

istemektedir. **Bu koşulları sadece B420C ve B500C sağlamaktadır. Bu nedenle TBDY-2018, sadece B420C ve B500C çeliklerinin kullanılmasına doğrudan izin verirken S420 çeliğinin kullanımına koşullu izin vermektedir(TBDY-2018, Madde 7.2.5.3)**

**Döşemelerde, perdelerin gövdelerinde, radye temellerin plaklarında S 220 hariç, her tür çelik kullanılabilir.**

**Not: Yapılan araştırmalar ve denetimler<sup>1</sup> pazarlanan bazı çeliklerin (özellikle S 420 nin) TBDY-2018 koşullarını sağlamadığını göstermektedir. Bu tür çeliklerin kullanımından şiddetle kaçınılmalıdır.**

<sup>1</sup><http://www2.tbmm.gov.tr/d24/7/7-5631c.pdf>

## Mekanik özellikler:

Elastisite modülü:  $E_s=2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

Poisson oranı  $\nu=0.30$

Birim sıcaklık genişleme katsayısı:  $\alpha_s=10^{-5} \text{ } 1/c^\circ$

Kütle :  $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$

## Üretim çapı $\phi^1$ :

Yaygın: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32 mm

Nadir : 25, 40, 50 mm

Hasır donatı için: 4, 4.5, 5, 5.5, ..., 11, 11.5, 12, 14, 16 mm

## Üretim boyu L:

Standartlarla belirlenmiş bir boy yoktur. Çubuklar yaygın olarak L=12 m boyunda üretilir.

Özel sipariş ile daha uzun imal edilmektedir. Apartman türü basit yapıların projelendirilmesinde çubuk boyu 12 m yi geçmemelidir.

## Nakliye şekli:

Nakliye şekli hakkında TS 708:2016 da bir kayıt yoktur.

Düşük karbonlu çelikler: Çapları  $\phi 12$  mm den küçük olanlar kangal, firkete veya çubuklar halinde,  $\phi 12$  mm ve daha kalın olanlar firkete veya çubuk olarak nakledilmesi uygundur.

Yüksek karbonlu çelikler: Sadece çubuklar halinde, bükülmeden nakledilmelidir.

## Depolama:

Paslanmayı önlemek için, üstü kapalı sundurma altında saklanmalıdır. Zorunlu hallerde 1 yıl kadar açıkta da depolanabilir.

Kabuk atacak kadar paslı çelik kullanılmamalıdır (düşük kenetlenme !)

Paslanmayı önlemek amacıyla çelik kesinlikle boyanmamalı ve yağlanmamalıdır (düşük kenetlenme !)

Şantiyeye gelen çelikler özenle etiketlenmelidir. Küçük çaplı, özellikle çelik hasırlar demir ustaları tarafından tam ayırt edilemez.

## Diğer:

•Çap arttıkça kenetlenme(aderans) düşer ve çelik gevrekleşir.

• $\phi > 32$  mm çaplı çubukların kullanımından, çok özel durumlar hariç, kaçınılmalıdır (gevrek ve temini zor).



Firkete



Çubuk



Kangal

Çapı 24 mm den kalın çubukların temini zordur, çoğu kez özel sipariş gerekir.

Çelik levhalar



Paslanan çelik şişer, betonu çatlatır.  
Gönderen: Yusuf Levent TOPÇU, 2016

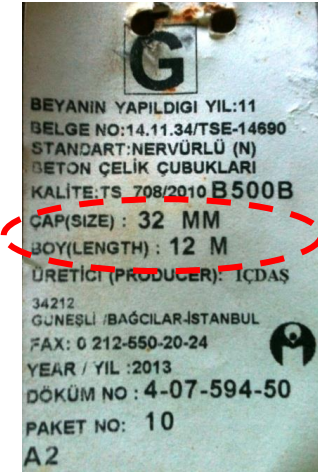


Foto: Berhan ŞAHİN, 2013

12 m boyunda normal üretim çeliği

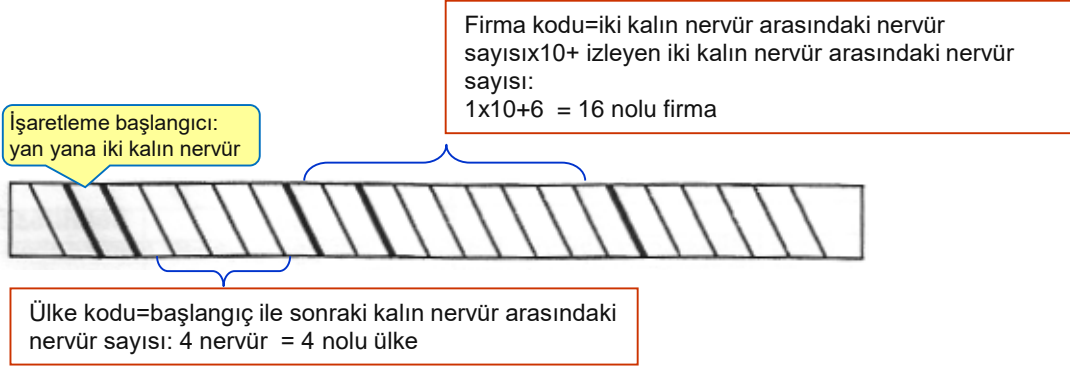


Foto: Berhan ŞAHİN, 2013

14 m boyunda özel sipariş ile üretilmiş çelik: Gebze-Yalova arasındaki Osmangazi köprüsü viyadük ayaklarında kullanıldı

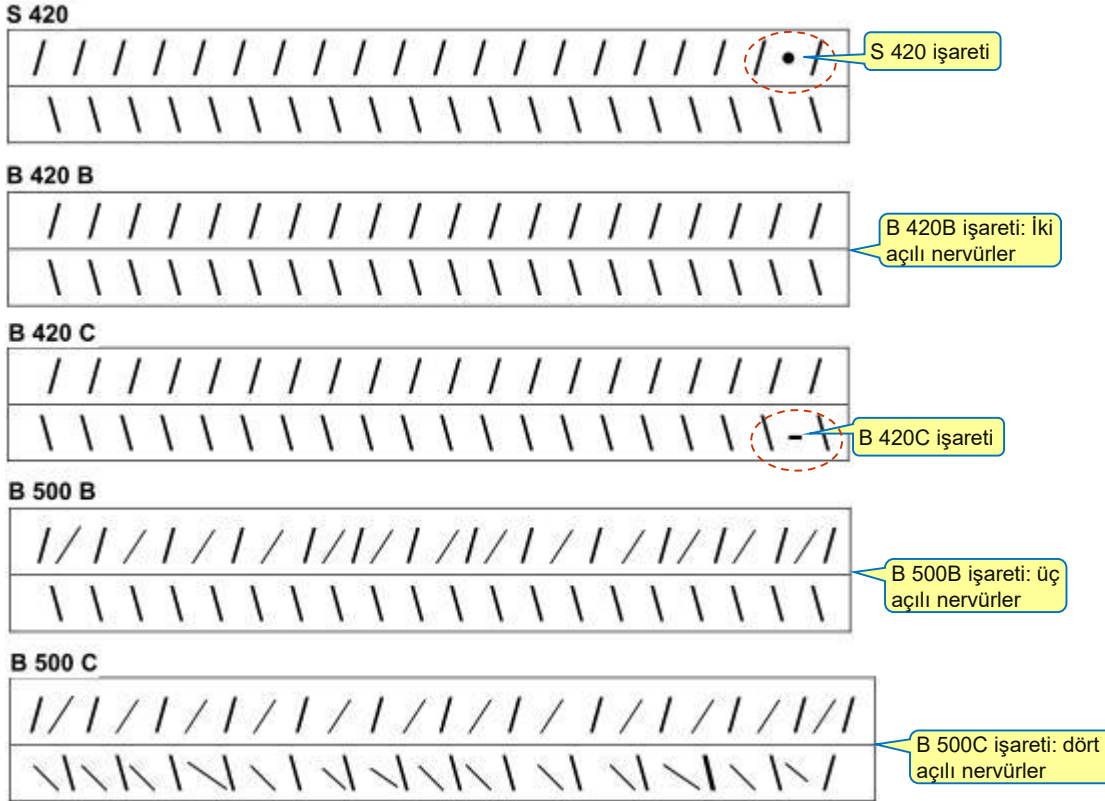
<sup>1</sup>Projelerde çubuk çapı  $\phi$  ile gösterilir. Örneğin;  $\phi 18$ , çapı 18 mm olan çubuk anlamındadır.  $\phi 25$  ve üstü çubukların tüketimi azdır ve temini zordur.

**İşaretleme:** Her 1.5 metrede bir işaretleme olmak zorundadır.



### Ülke kodu:

- 1: Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Almanya, Polonya, Slovakya
- 2: Belçika, Hollanda, Lüksemburg, İsviçre
- 3: Fransa, Macaristan
- 4: İtalya, Malta, Slovenya
- 5: İngiltere, İrlanda, İzlanda
- 6: Danimarka, Estonya, Finlandiya, Letonya, Litvanya, Norveç, İsveç
- 7: Portekiz, İspanya
- 8: Güney Kıbrıs, Yunanistan
- 9: Türkiye ve diğer ülkeler



### Bir işaretleme: örneği:



## Beton sınıfları:

B160, B225, B300

Küp (20x20x20 cm) dayanımı 160, 225, 300 kg/cm<sup>2</sup> olan betonlar. 1981 yılına kadar sadece bu betonlar vardı, Alman yapı yönetmeliğinde tanımlı idiler. B160 yoğun olarak kullanıldı. T S500:2000 ile kaldırıldılar. O halde 2000 yılına kadarki yapıların projelerinde bu betonlar ile karşılaşılabilirsiniz.

BS12, BS14, BS16, BS20, BS25, BS30, BS35, BS40, BS45, BS50

T S500:1981 de tanımlı idiler. BS simgesinden sonra gelen sayı betonun Silindir ( $\phi=15$  cm, h=30 cm) dayanımıdır. BS 14 yoğun olarak kullanıldı. 2000 yılına kadar yapılmış projelerde karşılaşılabilirsiniz.

BS14, BS16, BS20, BS25, BS30, BS35, BS40, BS45, BS50

TS 500:1984 de tanımlı idiler. BS simgesinden sonra gelen sayı betonun Silindir ( $\phi=15$  cm, h=30 cm) dayanımıdır. BS 14 –BS16 yoğun olarak kullanıldı. 2000 yılına kadar yapılmış projelerde karşılaşılabilirsiniz.

C16, C18, C20, C25, C30, C35, C40, C45, C50

TS 500:2000 de tanımlıdır, hala geçerlidir. C simgesinden sonra gelen sayı betonun silindir ( $\phi=15$  cm, h=30 cm) dayanımıdır. C20-C25 yoğun olarak kullanıldı. 2000 yılı sonrası projelerde karşılaşılabilirsiniz.

C8/10, C12/15, C 16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60, C55/67, C60/75, C70/85, C80/95, C90/105, C100/115

TS EN 206-1:2002 de tanımlıdır, hala geçerlidir. C simgesinden sonra gelen sayılar silindir ( $\phi=15$  cm, h=30 cm) / küp(15x15x15 cm) dayanımıdır. C25/30-C30/37 yoğun olarak kullanılmaktadır. 2002 yılı sonrası projelerde karşılaşılabilirsiniz.

## Çelik sınıfları:

Stla, STIIIa, STIIIb, StIVa, StIVb

Akma dayanımı sırasıyla 2200, 4200, 4200, 5000, 5000 kg/cm<sup>2</sup> olan çelikler. 1981 yılına kadar sadece bu simgeler kullanıldı, Alman yapı yönetmeliğinde tanımlı idiler. Düz yüzeyli ve düşük dayanımlı Stla yoğun kullanıldı. 1981 yılına kadarki yapıların projelerinde karşılaşılabilirsiniz.

BÇIa, BÇIIIa, BÇIIIb, BÇIVa, BÇIVb

Akma dayanımı sırasıyla 220, 420, 420, 500, 500 N/mm<sup>2</sup> olan çelikler. TS 708:1969 ve TS 500:1984 de tanımlı idiler. TS 500:2000 de bu simgeler kaldırıldı. Düz yüzeyli ve düşük dayanımlı BÇIa 2000 yılına kadar yoğun kullanıldı. 1984 sonrası projelerde karşılaşılabilirsiniz.

S220a, S420a, S420b, S500a, S500b

Akma dayanımı sırasıyla 220, 420, 420, 500, 500 N/mm<sup>2</sup> olan çelikler. TS 708:1996 ve TS 500:2000 de tanımlandılar. 2000 sonrası projelerde karşılaşılabilirsiniz. S 220a kullanımı 2007 de kısıtlandı. S 420b yoğun kullanıldı.

S220, S420, B420B, B420C, B500A, B500B, B500C

TS 708:2010 ve TS 708:2016 da tanımlı çeliklerdir. 2010 sonrası projelerde karşılaşılabilirsiniz.

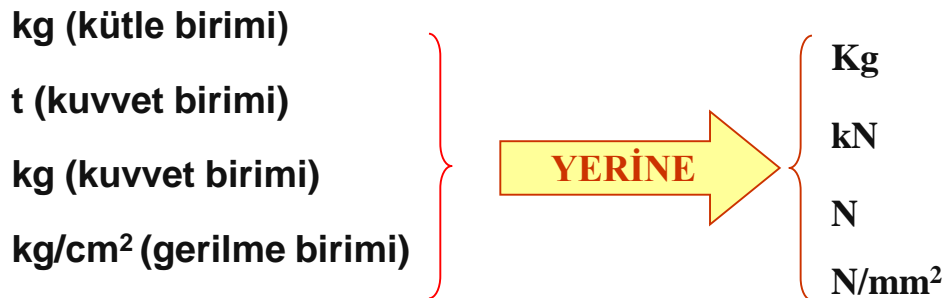
1965 yılına kadar Türkiye'de sadece düz yüzeyli çelik vardı. Nervürlü çelik bu tarihten sonra üretilmeğe başladı!



**Projelerinizde:**

- Beton sınıfını paftalarda silindir/küp dayanımı ile birlikte belirtiniz. En az C25/30 kullanınız.
- B420C veya B500C çeliğini tercih ediniz, C indisini mutlaka yazınız, çünkü B420 veya B500 çeliği yoktur.
- BÇ simgesi eskidir, ne TS 500:2000 de ne de TS 708:2016 da tanımlıdır, kullanmayınız.
- SI biriminde çalışınız.

ÖRNEK:



## Beton+çelik+iyi mühendislik+iyi işçilik+iyi bakım→Betonarme

Betonarme, çoğu kez, beton ile çeliğin beraber kullanımı olarak tanımlanır. Bu tanım çok basittir ve betonarme malzemeyi tanımlamaya yetmez. Betonarme mühendislik bilgisi gerektirir. Bir malzemeye betonarme diyebilmek için çeliğin gerektiği kadar, doğru yere, doğru biçimde konulması, özenli işçilik ve bakım gerekir.

Bilindiği gibi; betonun basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı ise çok düşüktür. Çekme kuvvetleri betonu çatlatır.

Betonarme elemanlarda **çekme kuvvetlerini** karşılamak ve **çatlakları sınırlamak** için **çekme bölgelerine** çelik çubuklar (**donatı**) konur.

Betonarmede beton ile çeliğin birbirine kaynaşmış olarak birlikte çalışması şarttır. Buna **kenetlenme (aderans)** denir. Kenetlenme betonarmenin temel koşuludur. Mühendis kenetlenmeyi sağlamakla yükümlüdür. Kenetlenmenin sağlanmadığı durumda, hesap ve çizimler ne kadar özenli yapılırsa yapılsın, sonuç felakettir. Çünkü; çelik betondan sıyrılacak, çekme kuvveti alamayacak, beton çatlayacak ve göçme olacaktır.

## Beton ve betonarmenin kullanıldığı yerler

- Çok katlı yapı
- Her tür yapı için temel
  - Köprü
  - Baraj
- İstinat duvarı
  - Tünel
  - Viyadük
- Beton yol, hava pist kaplaması
  - Bordür ve parke taşı
  - Dekoratif kaldırım
  - Elektrik direği
- Kazık, keson temel
- Bacalar, soğutma kuleleri (fabrika, termik santral)
  - Çit
  - Travers
- Temiz ve atık su borusu (büz)
  - Su deposu
  - Aritma tesisi
  - Su kanalı, kanalet
  - Bot, gemi
  - Silo
- Nükleer reaktör zırhı
- Nükleer atık depoları
- Sanat eserleri (heykel)

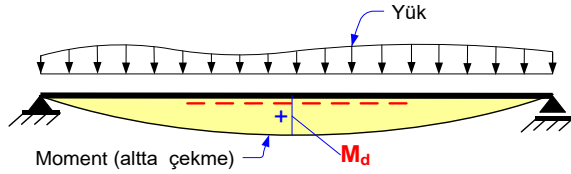
## Betonarmenin avantajları

- Kolay işlenip şekillendirilebilir.
- Ekonomiktir. Ana malzemesi (agrega, su) yerel olarak bulunur. Az enerji gerektirir.
- İnşasında diğer yapılara nazaran (ahşap, çelik) büyük özen gerekmez.
- Kalifiye eleman gerektirmez.
- Basınç dayanımı yığılma yapı elemanlarına (ahşap, tuğla, gazbeton) nazaran yüksektir.
- Çelik ve ahşaba nazaran, yangına daha dayanıklıdır.
- Çelik yapıya nazaran daha rijit olduğundan büyük yer değiştirmeler olmaz.
- Korozyon tehlikesi azdır.
- Bakımı kolay ve yok denecek kadar azdır.
- Kullanım ömrü uzundur.
- Ani göçme olmaz, göçme olacağını haber verir.

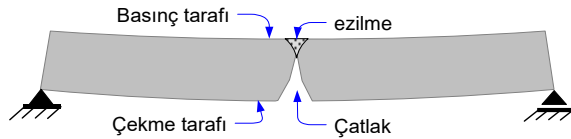
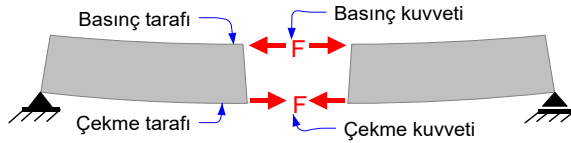
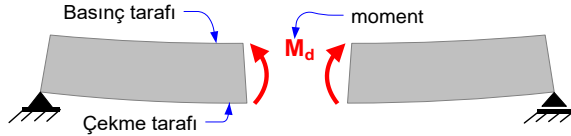
## Betonarmenin dezavantajları

- Betonun çekme dayanımı düşüktür, çelik kullanılması gerekir.
- Çeliğin zayıf tarafları (yangına, pasa dayanıksız) betonarmeye yansır.
- Kalıp ve iskele pahalıdır, kalıp yapımı özen ister.
- Ağır yapılar oluşur (depremde sakıncalı). Taşıyıcı sistem faydalı yükten çok, kendi ağırlığını taşımak zorundadır.
- Yeterli dayanım kazanıncaya kadar özenli bakım (kür) gerekir (ilk 7-14 gün).
- Gökdelen gibi çok yüksek yapılar inşa edilemez.
- Prefabrik inşa imkanları kısıtlıdır.
- Hazır beton temin edilemeyen şantiyede beton imalatı zor ve risklidir, büyük özen gerektirir.
- Her tür hava şartında beton dökülemez, inşaat mevsimi kısadır. Yapının kullanıma açılması uzun zaman gerektirir.
- Betonun çatlama riski vardır.
- Hasar onarımı zor, pahalı ve çoğu kez imkansızdır.
- Mevcut yapının projesine uygunluğu, donatı miktarı, beton dayanımı tam olarak belirlenemez.
- Ekonomik ömrünü tamamlayan yapının yıkılması tehlikeli ve pahalıdır, çıkan malzeme tekrar değerlendirilemez, çevre kirliliği yaratır.

Kesitte moment  $\equiv$  kuvvet çifti  $\rightarrow$  Çekme ve basınç kuvveti



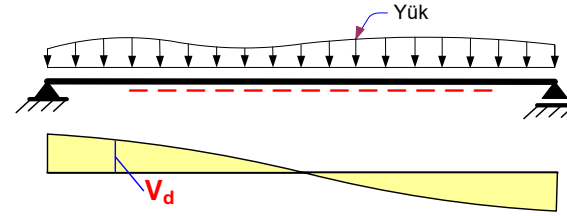
Moment diyagramı



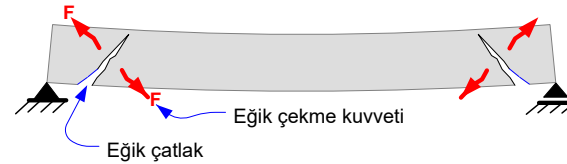
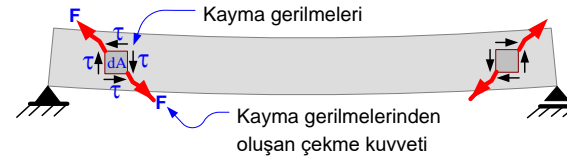
**VIDEO:**  
<http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/>



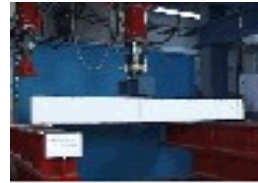
Kesitte Kesme  $\equiv$  kayma kuvvetleri  $\rightarrow$  eğik Çekme



Kesme diyagramı



**VIDEO:**  
<http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/>



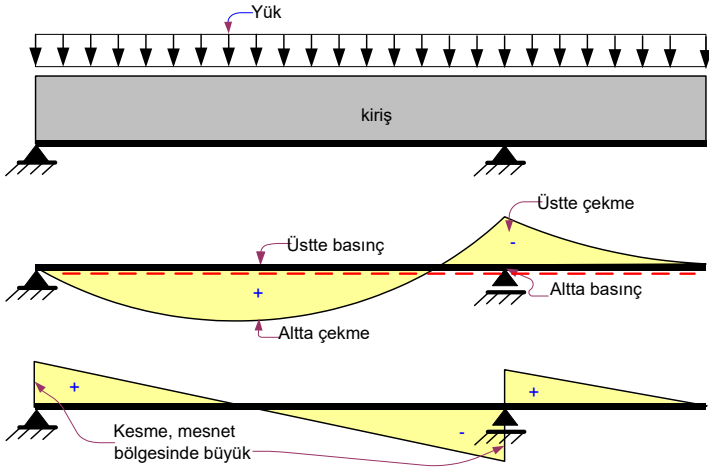
- Kirişe etkiyen  $M_d$  momenti  $F$  ile gösterilen kuvvet çiftine eşdeğerdir.
- Kirişin üst lifleri  $F$  basınç kuvvetinin, alt lifleri de  $F$  çekme kuvvetinin etkisindedir.
- Betonun basınç dayanımı yüksek olduğundan  $F$  kuvvetini taşıyabilir.
- Donatısız beton çekme kuvvetini taşıyamaz, çatlak. Çatlak çekme kuvvetine dik yönde oluşur. Giderek genişler ve kesit yüksekliğince yol alır. Bu çatlağa **eğilme çatlağı** veya **çekme çatlağı** veya **moment çatlağı** denir.
- Basınç bölgesindeki beton ezilir ve kiriş kırılır.
- Çatlağı sınırlamak ve kırılmayı önlemek için çekme tarafına ve çatlağa dik boyuna donatı çubukları konulması gerekir. Bu amaçla konulan donatıya **çekme donatısı** veya **eğilme donatısı** denir.

- Kirişe etkiyen  $V_d$  kesme kuvveti kiriş içindeki  $dA$  küçük elemanında  $\tau$  kayma gerilmeleri oluşturur.
- $\tau$  kayma gerilmelerinin oluşturduğu kuvvetler eğimi yaklaşık  $45^\circ$  olan  $F$  çekme kuvveti oluşmasına neden olur.
- Donatısız beton çekme kuvvetini taşıyamaz, çatlak. Çatlak  $F$  kuvvetine diktir, eğimi yaklaşık  $45^\circ$  dir. Bu çatlağa **eğik çekme çatlağı**, **kesme çatlağı** veya **kayma çatlağı** denir.
- Kesme çatlağı ani ortaya çıkar, kırılma gevrektir.
- Çatlağı sınırlamak ve kırılmayı önlemek için düşey etriye ve çatlağa dik pilye donatısı konulması gerekir. Bu amaçla konulan etriye ve pilyelere **kesme donatısı** veya **kayma donatısı** denir. Uygulama sorunları nedeniyle kirişlerde pilye kullanımından kaçınılır, etriye ile yetinilir.

# DONATININ GEREĞİ VE YERİ: Moment ve kesme etkisi

VİDEO:

<http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/>



Şekil değiştirmeden önce

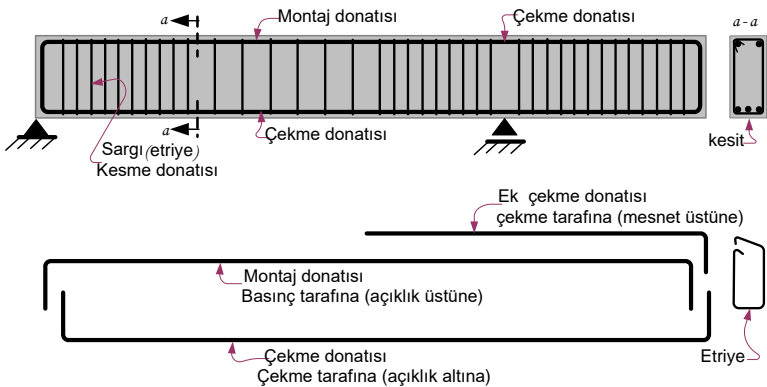
Moment

Kesme



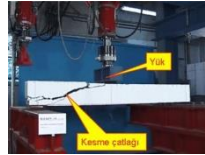
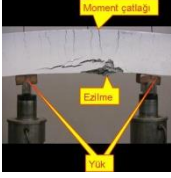
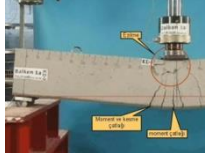
Şekil değiştirdikten sonra:

- Çekme bölgeleri çatlar
- Basınç bölgeleri ezilir
- Kiriş göçer

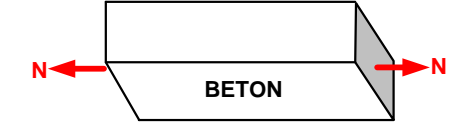


Önlem:

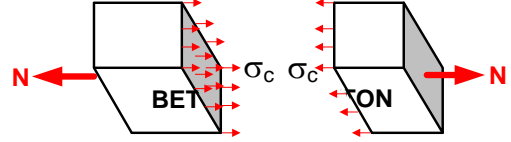
- Çekme kuvvetlerini karşılamak ve çatlakları sınırlamak için çekme bölgelerine **boyuna donatı** konur.
- Kesme çatlaklarını sınırlamak için **sargı donatısı (etriye)** konur. Etriye mesnetlere yakın bölgelerde ve konsollarda sıklaştırılır. Çünkü, mesnet bölgelerinde kesme kuvveti genellikle en büyük olur.
- Basınç bölgelerine teorik olarak donatı gerekmez. Çünkü beton basınca dayanıklıdır. Ancak, etriyeyi sarabilmek için, **montaj donatısı** konur.
- Mesnetlere, açıklıklardan gelen donatılar yeterli olmazsa, **ek donatı** konur.
- Oluşması beklenen çatlaklara donatı ile önceden "dikiş atılmaktadır" denilebilir.**



## DONATININ GEREĞİ VE YERİ: Salt çekme etkisi



Salt çekme kuvveti etkisinde olan elemanlara nadir de olsa rastlanır, örneğin: gergi çubukları, temel bağ kirişleri ve sıvı depoları.



Kesitte sadece  $\sigma_c$  çekme gerilmesi vardır ve düzgün yayılıdır. Donatısız beton çekme gerilmesine dayanamadığından çatlaklar ve kopar.



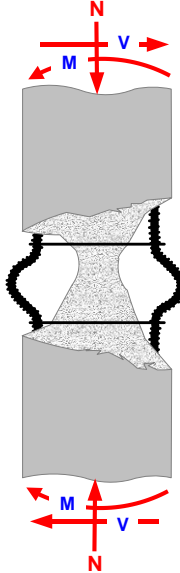
N çekme kuvvetini almak üzere eleman boyunca uzanan ve kesite düzgün dağıtılmış çubuklar konur, etriye ile sarılır. Çekme kuvvetinin tamamı çelik çubuklar tarafından karşılanır. Betonun görevi kenetlenmeyi sağlamak ve çeliği korumaktır.

**VIDEO:**

<http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/>



## DONATININ GEREĞİ VE YERİ: Salt basınç etkisi



Salt basınç etkisinde olan elemanlara hemen hiç rastlanmaz. Kolonlar basınç kuvveti etkisindedir; ancak moment ve kesme kuvveti de, az yada çok, hemen her zaman vardır.

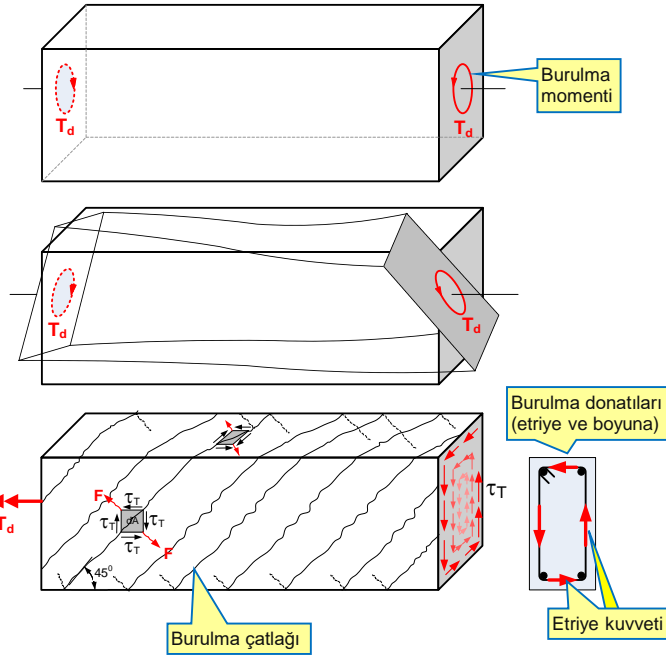
Beton basınca dayanıklıdır. Ancak, dayanamayacağı kadar çok yüksek basınç kuvveti altında Poisson etkisiyle şişer, patlar, ezilir, ufalanır, dağılır ve boyuna donatılar burkular.

Daha önceki konulardan da hatırlanacağı gibi, şişmeyi önlemenin tek yolu, boyuna donatıları etriye, çiroz veya fret ile yeterince sarmaktır.

Sargı(etriye veya fret) kesme kuvvetini karşılar betonun şişmesini önler. Boyuna donatılar hem momenti hem de aksenal kuvveti karşılar. Ancak asli görevi basınç kuvveti almaktan ziyade moment kuvvetini karşılamaktır.



# DONATININ GEREĞİ VE YERİ: Salt burulma momenti etkisi



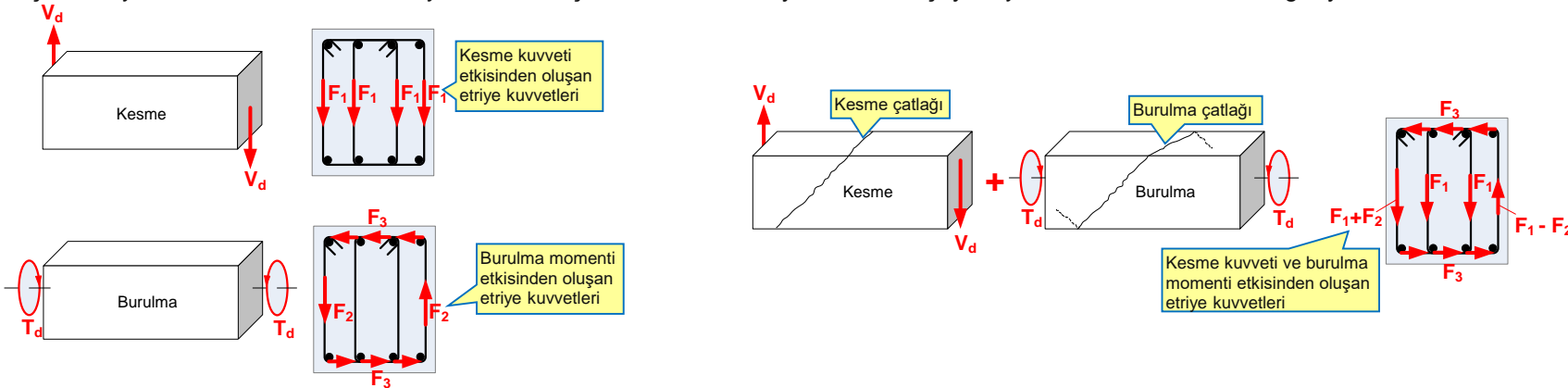
Salt burulma etkisine uygulamada rastlanmaz, eğilme momenti, kesme ve normal kuvvet ile birlikte bulunur. Salt burulma momenti, betonun davranışını kavramak için, deneysel olarak oluşturulabilir. Burulma momenti kesitin düzleminde ve kirişi bir ucunda saat yönünde diğer ucunda ise tersi yönde eksen etrafında döndürür.

Döndürme etkisi altında kiriş kesitleri şekilde görüldüğü gibi dönerler. Kesit düzleminde  $\tau_T$  kayma gerilmeleri oluşur. Bu gerilme kesit kenarlarında, dolayısıyla kiriş yüzeylerinde maksimum değerdedir, kesitin eksenine doğru gidildikçe değeri azalır, eksen üzerinde sıfır olur.

Kiriş yüzündeki bir  $dA$  elemanındaki kayma gerilmeleri şekilde görüldüğü gibidir.  $\tau_T$  kayma gerilmeleri, eğimi yaklaşık  $45^\circ$  olan  $F$  eğik çekme kuvvetinin oluşmasına neden olur. Donatısız beton çekme kuvvetini taşıyamaz, çatlaklar. Çatlak  $F$  kuvvetine diktir, eğimi yaklaşık  $45^\circ$  dir. Çatlaklar kiriş boyunca spiral bir yol izlerler. Çatlaklar genişler kirişin boyu uzar.

$45^\circ$  eğimli çatlakları sınırlamak için düşey etriye kullanılması gerekir. Ancak, sadece etriye kullanmak yetmez. Çünkü kiriş dönerken etriyeler de birbirinden bağımsız dönerler, kiriş boyu uzarken etriyeler de birbirinden uzaklaşırlar. Kirişin uzamasını sınırlamak ve etriyelerin birbirinden bağımsız davranmasını önlemek için etriye köşelerine boyuna donatı koymak gerekir. Netice olarak burulma çatlaklarını sınırlamak için hem etriye hem de boyuna donatı gerekir, bu donatılara **burulma donatısı** denir. Etriyenin yatay ve düşey kolları burulmadan oluşan kesme kuvvetini alır. Birbirine paralel etriye kollarındaki kesme kuvvetleri ters yöndedir.

Genel olarak normal kuvvet, kesme kuvveti eğilme ve burulma momentleri beraber bulunurlar. Burulma momenti de kesme kuvveti üretir. Bu nedenle kesme ve burulma çatlakları aynı açılıdır. Etriye hem kesme hem de burulma çatlaklarını sınırlar. Kesme kuvveti etkisi kesitte aynı yöndedir ve etriyelerin sadece düşey kolları ile karşılaşılır. Burulmadan oluşan kesme gerilmeleri kesitin çevresinde yoğunlaşır ve aynı yönde akarlar. Bu nedenle burulma etkisini sadece kesitin dış çevresindeki etriye kolları karşılar, içteki etriye kollarında burulma etkisi yoktur. Sonuç olarak, kesitin bir yüzündeki düşey etriye kolunda kuvvet artar diğer yüzündeki kolda ise azalır.



Kolonda burulma çatlakları

## DONATININ GEREĞİ VE YERİ: : Büzülme etkisi

Yüksek kiriş, döşeme ve perde gibi büyük yüzeyli elemanların yüzeylerinde iç kısımlara nazaran daha hızlı su kaybı olur, taze beton büzülür ve çatlar. Çatlaklar betonun yapıda bulunduğu yere, hava koşullarına ve kür yapılıp yapılmadığına bağlı olarak, az ya da çok ve yüzeyde, genelde gelişigüzel yol alırlar. Beton döküldükten birkaç saat sonra ortaya çıkmaya başlarlar, 2-3 ay içinde sona ererler. Bu tür çatlakları önlemenin en iyi yolu betonu yeterince sertleşinceye kadar, en az 7 gün süreyle sürekli sulamaktır. Çatlakları sınırlamak için bir ek tedbir de donatı yerleştirmektir.

TS 500:2000 yüksek kirişlerin yan yüzlerine gövde donatısı denilen çubuklar yerleştirilmesini ister(Madde 3.4.2.5). Asıl amaç büzülme çatlaklarını önlemek olmakla birlikte bu donatılar aynı zamanda moment ve burulma çatlaklarını da sınırlar.



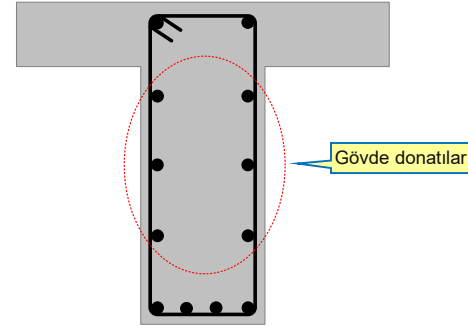
Büzülme çatlakları



Büzülme çatlakları

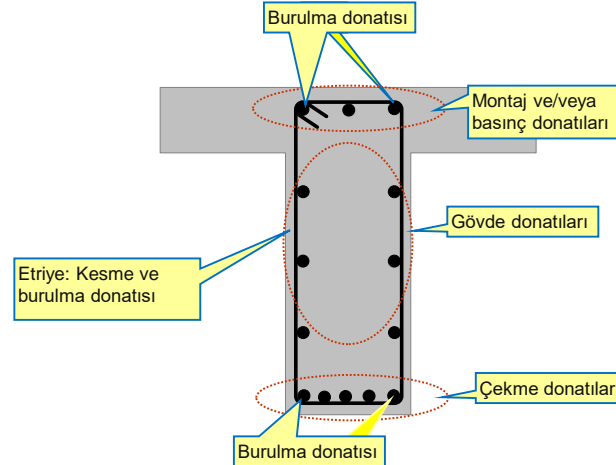


Büzülme çatlaklarını en aza indirmenin en iyi yolu betonu sulayarak sürekli ıslak tutmaktır. Sulamak (kür) aynı zamanda betonun dayanımını da artırır. Fotoğrafta keçe ile kaplanmış bir betonarme döşemenin fiske ile sulanması görülüyor.



## DONATININ GEREĞİ VE YERİ: Özet

Çekme tarafının altta, basınç tarafının üstte olduğu varsayılan bir kirişin olası donatıları sağda özetlenmiştir.





## Çatlak genişliği sınırları (TS 500:2000, Madde 13.3)

Beton, donatılı da olsa, çatlayacaktır. Çatlamayı tümüyle önlemek imkânsızdır, çatlaksız betonarme bina yoktur. Önemli olan çatlak sayısı ve genişliğinin sınırlı kalmasıdır. Aşağıdaki çizelge normal kabul edilebilen en büyük çatlak genişliğini özetlemektedir.

TS500 çizelge 13.4 çatlak genişliği sınırları	
Ortam	Normal kabul edilen en büyük çatlak genişliği $w_{max}$
Yapı içi normal çevre koşulları (Örnek: Şehirlerdeki normal yapılar)	0.4 mm <i>Çıplak gözle rahatça görülür</i>
Yapı içi nemli ve yapı dışı normal çevre koşulları (Örnek: Hamamlar)	0.3 mm <i>Çıplak gözle rahatça görülür</i>
Yapı dışı nemli çevre koşulları (Örnek: Temiz ve tatlı su havzası kıyısındaki yapılar)	0.2 mm <i>Çıplak gözle zor görülür</i>
Yapı içi ve dışı agresif çevre koşulları (Örnek: Asit üreten fabrika, yoğun trafiği olan cadde üstündeki yapılar, deniz kıyısındaki yapılar, kirli akarsu çevresindeki yapılar)	0.1 mm <i>Çıplak gözle hemen hiç görülmez</i>

Çizelgedeki değerler normal yapılar içindir. Yapının kullanım amacına yönelik olarak daha küçük değerler gerekebilir. Örneğin bir su deposunda, sızdırmazlık ön plana çıktığından, en büyük çatlak genişliği 0.1 mm nin altında tutulmalıdır.

### Çatlak nedenleri:

Betonun çatlamasının çok sayıda nedeni vardır. En önemli nedenler aşağıda sıralanmıştır.

- Yapı yüklerinden oluşan öngörülmemiş aşırı iç kuvvetler (moment, kesme, burulma)
- Plastik çökme (iyi sıkıştırılmayan taze betonun kendi ağırlığı ile çökmesi sonucu boyuna ve enine donatı boyunca uzanan çatlaklar)
- Büzülme, sünme etkileri
- Sıcaklık (uzama-kısalma) etkisi
- Erken kalıp sökülmesi, kalıp veya donatının sarsılması
- İş derzlerinde eski beton-yeni beton ek yeri çatlakları
- Temelde farklı oturmalar
- Donma-çözülme etkisi
- Ağaçlar (zemin seviyesinde kökleri yapı duvarlarına basınç uygular, bodrum tabanını yukarı kaldırır)
- Uzun zaman içinde paslanan donatının işlevini yitirmesi ve şişerek betonu patlatması

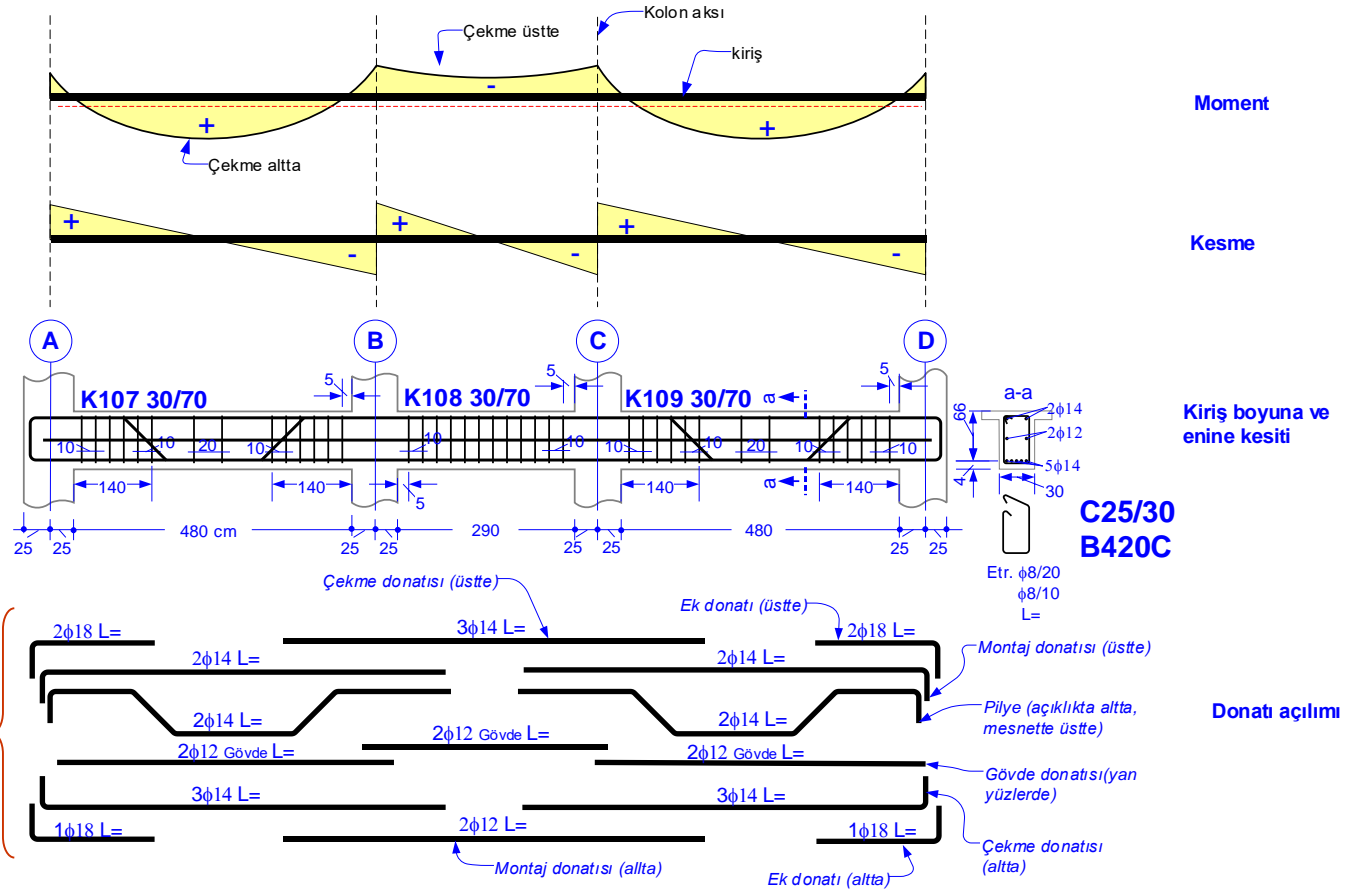
Betonun çatlamasının gerçekte tek bir nedeni vardır: Çekme kuvveti. Yukarıda sayılanlar neticede çekme kuvveti oluşturmaktadır

### Çatlak genişliğini elden geldiğince sınırlı tutmak için:

- Kenetlenme (aderans) sağlanmalı
- Nervürlü donatı kullanılmalı
- Yeterli donatı doğru yerleştirilmeli
- Kalın az sayıda donatı yerine ince çok sayıda çubuk tercih edilmeli
- Kaliteli beton kullanılmalı, özenle sıkıştırılmalı ve kür yapılmalı
- Döşeme ve perdelerde donatı aralıkları 15-20 cm yi geçmemeli
- Yönetmeliklerin öngördüğü minimum donatı kurallarına uyulmalı.
- Sargı donatısı özenli ve yönetmeliklere uygun düzenlenmeli
- Zararlı çevre koşullarından betonarme elemanlar korunmalı



Su gereksinimi fazla olan ağaçlar(İncir, Elma, Okaliptus, Pavlonya, Demir ağacı) çatlaklara neden olabilir, atık su borularını tıkayabilir. Temel ilke: Ağaç yapıdan en az 3 m uzağa dikilmelidir.



## Kiriş donatılarının açılım sırası:

- En üstte, üst mesnet donatıları
- Altına, üstteki boyuna donatılar (genelde montaj)
- Altına, varsa, pilye ve gövde donatıları
- Altına, alttaki boyuna donatılar (genelde çekme)
- En alta, alt mesnet donatıları

çizilir.

Çizimdeki eğik yazılar açıklama için verilmiştir.

Gerçek projede bu açıklamalar bulunmaz

- Betonun çekme dayanımı çok düşüktür, çekme bölgelerinde çatlaklar oluşur.
- Basınç bölgelerinde ezilme olur (taşınma gücüne erişildiğinde=kırılma anı).
- Çekme kuvvetlerini karşılamak ve çatlakları sınırlamak için, çekme bölgelerine **boyuna donatı** konur.
- **Pilye** hem çekme hem de kesme donatısıdır. Orta kısmı açıklıkta (altta), kolları da mesnetlerde (üstte) çekme kuvveti alır. Eğik kolları ise kesme çatlaklarını sınırlar. İşçiliğinin zor olması ve güvenli olmaması nedeniyle kat kirişlerinde pilye kullanılmasından kaçınılır. Gelişmiş ülkeler kat kirişlerinde pilye kullanımından vazgeçmiştir.
- Açıklıklarda, basınç tarafına **montaj donatısı** konur.
- Açıklıktan gelen donatılar mesnetteki momenti karşılamazsa, mesnetlere **ek donatı** konur.
- Kesme kuvvetlerini karşılamak ve oluşturacağı çatlakları sınırlamak için **enine donatı (sargı: etriye)** kullanılır.
- Kenetlenmeyi (aderans) sağlamak için boyuna çubuklar komşu açıklığın en az  $\frac{1}{4}$  üne kadar uzatılır, kenar mesnetlerde uçlar aşağı/yukarı kıvrılır.
- Yüksek kirişlerin yan yüzlerine, büzülme çatlaklarını sınırlamak için, **gövde donatısı** konur.
- Betonarme eleman (kiriş, kolon, döşeme) iyi donatılsa dahi çatlaklar. Ancak bunlar beklenen kılcal (**zararsız**) çatlaklardır.