

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 kayak, 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-çıkıntılı üretilirler. Yüzeyi çıkıntılı olana "nervürlü" girintili olana "Profilli" çelik denir. Yüzeyin girintili çıkıntılı 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 708¹ dir, 2010 ve 2016 da yenilendi. Eski yönetmelik TS 708:1996² da tanımlı çelikler iptal edildi, yeni çelikler tanımlandı. TS 500:2000 Madde 3.2 "Beton donatısı olarak kullanılacak çelikler TS 708'e uygun olmalıdır" demektir. Dolayısıyla TS 708:1996² 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: Gevrekçir

En küçük akma dayanımına göre:

- En küçük akma dayanımı 220 N/mm² olan çelik: S220
- En küçük akma dayanımı 420 N/mm² olan çelikler: S420, B420B, B420C
- En küçük akma dayanımı 500 N/mm² olan çelikler: B500A, B500B, B500C

Yüzey özelliğine göre:

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



Düz



Nervürlü

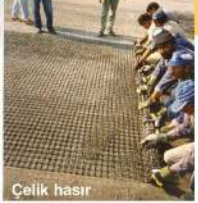


Profilli

¹ TS 708 Çelik-Betonarme için-Donatı Çeliği, Türk Standardları Enstitüsü, Mart, 2016

² 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

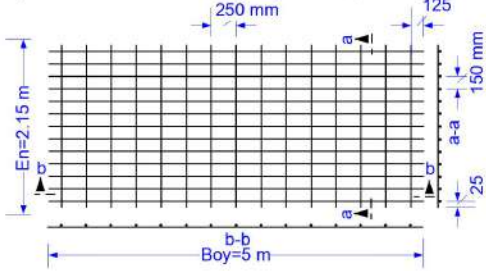
Standart çelik hasır boyutları:

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

Mesnetlerde ek donatı ve bir doğrultuda çalışan plakların açıklıklarında tercih edilir.

R TIPI standart çelik hasır

(150x250 mmxmm dikdörtgen gözenekli):

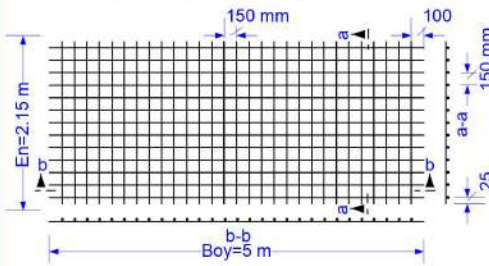


Tip	Çubuk çapı (mm)		Donatı alanı mm ² /m	
	Boyuna	Enine	Boyuna	Enine
R106	4,5	4,5	106	64
R131	5,0	5,0	131	79
R158	5,5	5,0	158	79
R188	6,0	5,0	188	79
R221	6,5	5,0	221	79
R257	7,0	5,0	257	79
R295	7,5	5,0	295	79
R317	5,5d	5,0	317	79
R335	8,0	5,0	335	79
R377	6,0d	5,0	377	79
R443	6,5d	5,5	443	95
R513	7,0d	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 TIPI standart çelik hasır (150x150 mmxmm kare gözenekli):



Tip	Çubuk çapı (mm)		Donatı alanı mm ² /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

İki doğrultuda çalışan plakların açıklıklarında tercih edilir.

•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 önler, 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**

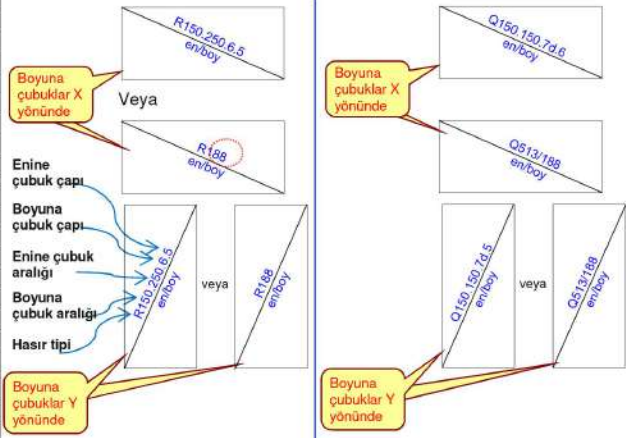
•Açıklıkta boyuna çubuklar alta ve çalışma doğrultusuna gelecek şekilde yerleştirilir.

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

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

Projede gösterilişi:

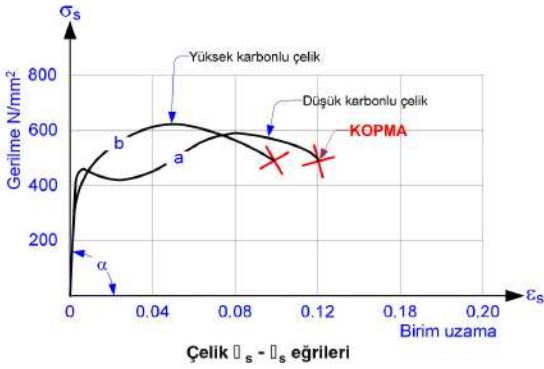
Hasırlar kalıp planı üzerinde bir diyagonal dikdörtgen çizilerek gösterilir. Çubuklar çizilmez. Diyagonal üzerine hasır tipi bilgileri yazılır. Örnek:



R188 || **R150.250.6.5** dir. Buradaki **188** değeri boyuna çubukların 1 m genişlikteki toplam alanıdır: mm²/m

Q513/188 || **Q150.150.7d.6** dir. Buradaki **513** değeri boyuna çubukların 1 m genişlikteki toplam alanıdır: mm²/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 notası 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 ϵ_{su} ile gösterilir.

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

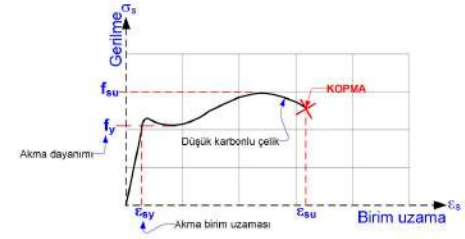
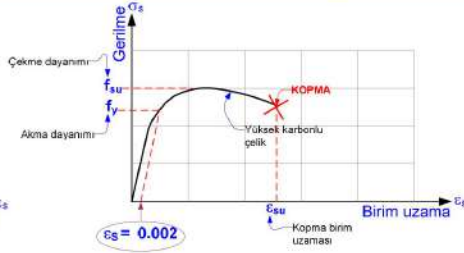
Tanımlar:

- f_y : çelik akma dayanımı
- f_{yk} : çelik karakteristik akma dayanımı (ölçülmemiş, yönetmelik veya projede öngörölmüş dayanım)
- f_{su} : çelik çekme dayanımı
- ϵ_{sy} : çelik akma birim uzama veya kısalması
- ϵ_{su} : çelik kopma birim uzaması
- σ_s : çelikteki gerilme
- ϵ_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/mm² arasındadır. Hesaplarda $E_s = 2.0 \cdot 10^5$ N/mm² alınır.

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

Tanımlar



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 öngörülmuş 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.

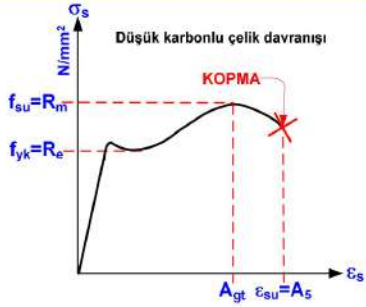
Akma birim uzaması:

f_y akma dayanımına karşılık gelen birim uzamadır, ϵ_{sy} ile gösterilir.

Kopma birim uzaması:

Çeliğin koptuğu andaki birim uzamasıdır, ϵ_{su} ile gösterilir.

TS 708:2016 daki tanımlar



Yukarıda tanımları verilen f_{yk} , f_{su} , ϵ_{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 , ϵ_{sy} , f_{yk} , ϵ_{su} simgeleri teoride yoğun kullanılır. $f_{su} = R_m$ ye karşılık gelen A_{gt} birim uzaması teoride kullanılmaz.

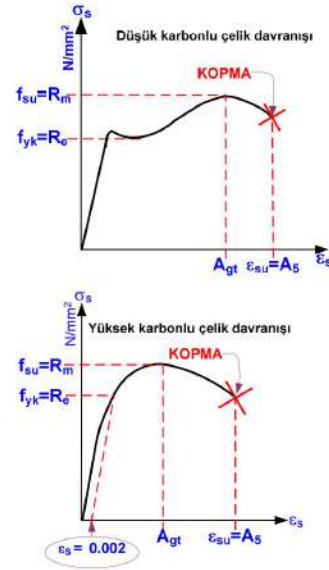
R_e , R_m , A_5 değerleri kullanılacak çeliğin seçiminde önemlidirler (Bak: TBDY-2018, Madde 7.2.5.3).

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 ²)	≥ 220	≥ 420	≥ 420	≥ 420	≥ 500	≥ 500	≥ 500
Çekme dayanımı $f_{su}=R_m$ (N/mm ²)	≥ 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
TBDY-2018 e uygun mu?	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır

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/mm² 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 denetimler¹ pazarlanan bazı çeliklerin (özellikle S 420 nin) TBDY-2018 koşullarını sağlamadığını göstermektedir. Bu tür çeliklerin kullanımından şiddetle kaçınılmalıdır.

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