

ÇELİK (TS 708:2010)

Betonda oluşan çekme kuvvetlerini beton karşılayamaz, çatlaklar. Bu kuvvetleri 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 “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-çukuntulu üretilirler. Yüzeyi çıkıntılı olana “nervürlü” girintili olana “Profilli” çelik denir. Yüzeyin girintili çıkıntılı olmasına bakılmaksızın çelik çubuk kesiti dairesel kabul edilir.

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

Düz yüzeyli çeliğin dayanımı düşüktür ve beton ile kenetlenmesi iyi değildir, kolayca sıyrılır. 2007 deprem yönetmeliği kiriş, kolon ve perdelerin uçlarında kullanımını yasaklamıştır. Uygulamada da zaten hemen hiç kullanılmamaktadır.

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

Betonarme çelik çubuklarının standardı TS 708¹ dir, Nisan 2010 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’ demektedir. Dolayısıyla TS 708:1996² da ve TS 500:2000 çizelge 3.1 de yer alan eski çelikler artık kullanılamazlar.

TS 708:2010 da tanımlı betonarme çeliklerin simgeleri:

S 220, S 420, B 420B, B 420C, B 500A, B 500B, B 500C



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/mm² olan çelik: S 220
- En küçük akma dayanımı **420** N/mm² olan çelikler: S 420, B 420B, B 420C
- En küçük akma dayanımı **500** N/mm² olan çelikler: B 500A, B 500B, B 500C

Yüzey özelliğine göre:

- Düz yüzeyli çelik: S 220
- Nervürlü çelikler: S 420, B 420B, B 500C
- Profilli çelik: B 500A

Düz yüzeyli S 220 çeliği sadece döşemelerde veya sargı olarak kullanılabilir. Kolon, kiriş ve perde uçlarında kullanımı yasaktır. Uygulamada da zaten hiç kullanılmamaktadır. 500 N/mm² dayanımlı çelikler döşemelerde ve radye temel plaklarında, istinat duvarlarında kullanılabilir. Kiriş, kolon ve perde uçlarında kullanımı yasaktır. Kolon, kiriş ve perdelerin uçlarındaki kolon kısmında sadece 420 N/mm² dayanımlı nervürlü çelik kullanılır.

Düz

Nervü

Profilli

¹ TS 708 Çelik-Betonarme için-Donatı Çeliği, Türk Standardları Enstitüsü, Nisan, 2010

² TS 708 Beton Çelik Çubukları, Türk Standardları Enstitüsü, Mart, 1996



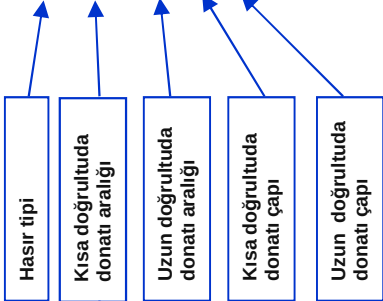
Çelik hasır

Kullanıldığı yerler:

- Döşemelerde
- Perdelerin gövdelerinde
- Tünel kaplamalarında
- İstinat duvarlarında
- Beton yol ve saha kaplama betonlarında

Projede gösterilişi:

R 150.250.8.5

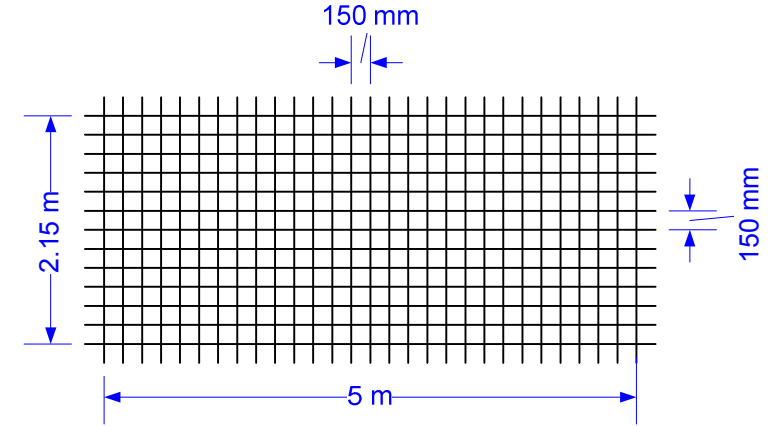


Q 150.150.8.8

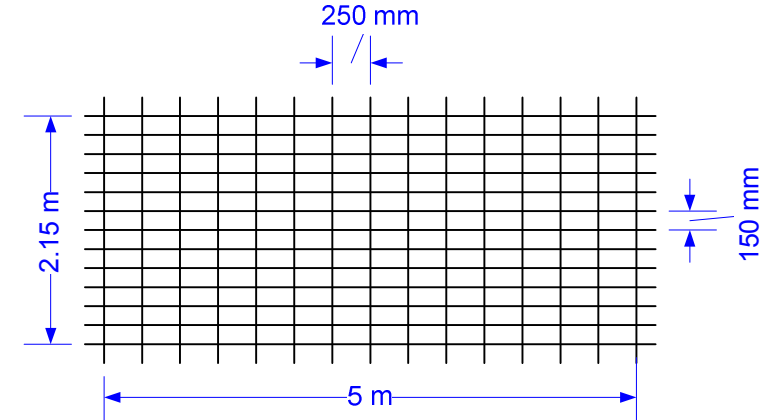
Standart Hasır Boyutları:

Kare (Q) veya dikdörtgen (R) gözenekli olarak, B 500A çelik çubukları kaynaklanarak üretilirler. Standart boyutları 5x2.15 m'dir. Sipariş ile özel boyutlarda da üretilebilir.

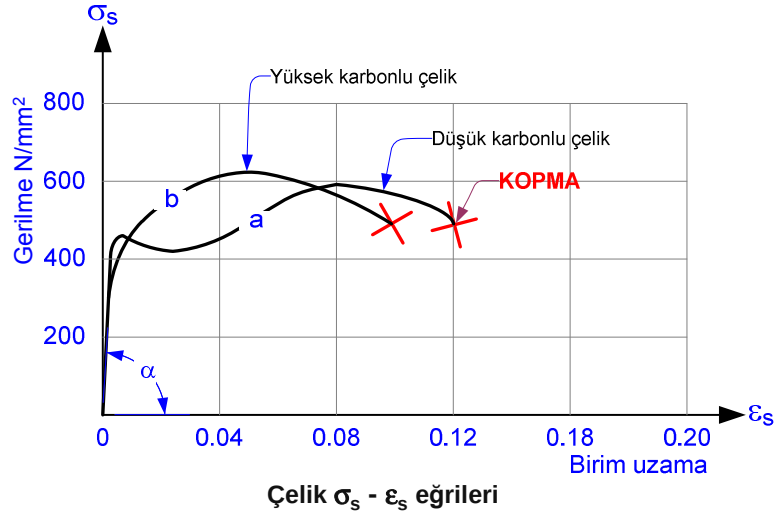
Q TİPİ HASIR (150x150 mmxmm kare gözenekli):



R TİPİ HASIR (150x250 mmxmm dikdörtgen gözenekli):



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.

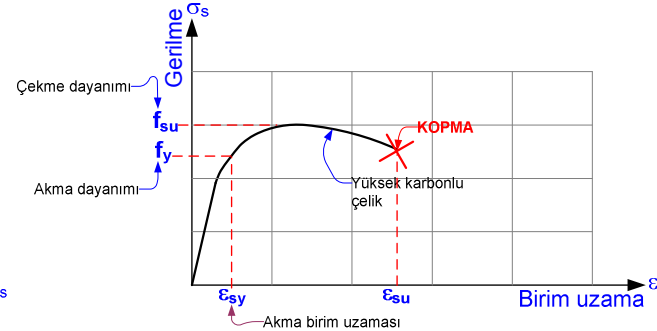
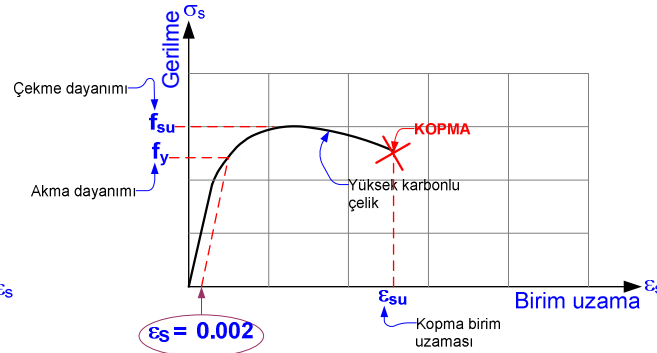
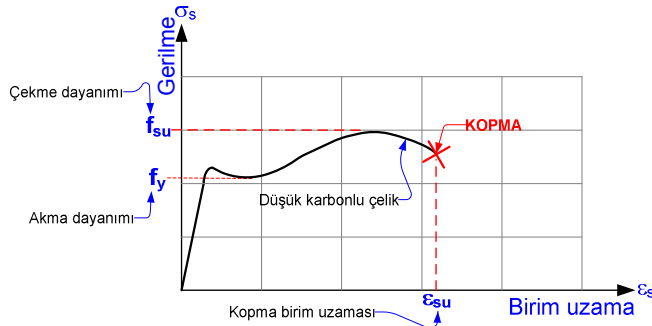
Tanımlar:

- 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 sünektir. Kopma birim uzaması ϵ_{su} büyüktür(iyi)
- Yüksek karbonlu çelik gevrektr. Kopma birim uzaması ϵ_{su} küçüktür(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.

Gevrek çelikler deprem bölgelerindeki yapıların kiriş, kolon ve perdelerinde 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 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.

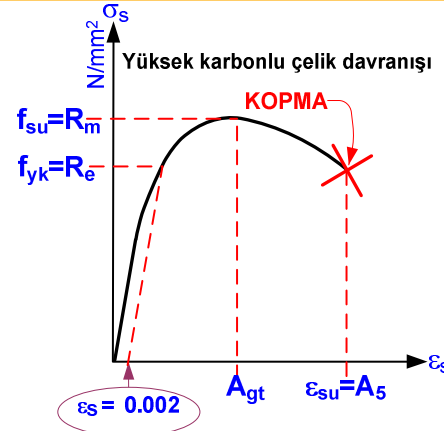
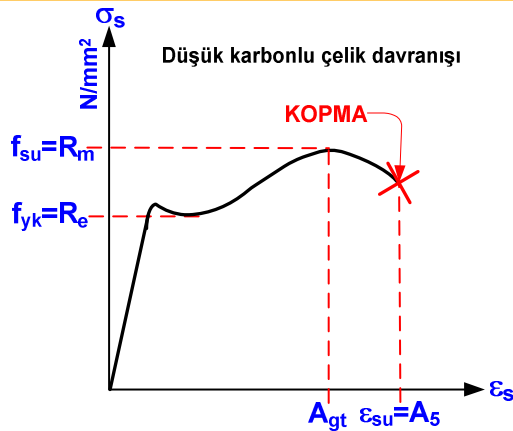
Akma birim uzaması:

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

Kopma birim uzaması:

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

TS708:2010 daki tanımlar



Yukarıda tanımları verilen f_{yk} , f_{su} , ϵ_{su} büyüklükleri TS 708:2010 da farklı adlandırılmaktadır. İlişki kurulabilmesi açısından karşılıkları soldaki grafiklerde verilmiştir:

$$f_{yk} = R_e$$

$$f_{su} = R_m$$

$$\epsilon_{su} = A_5$$

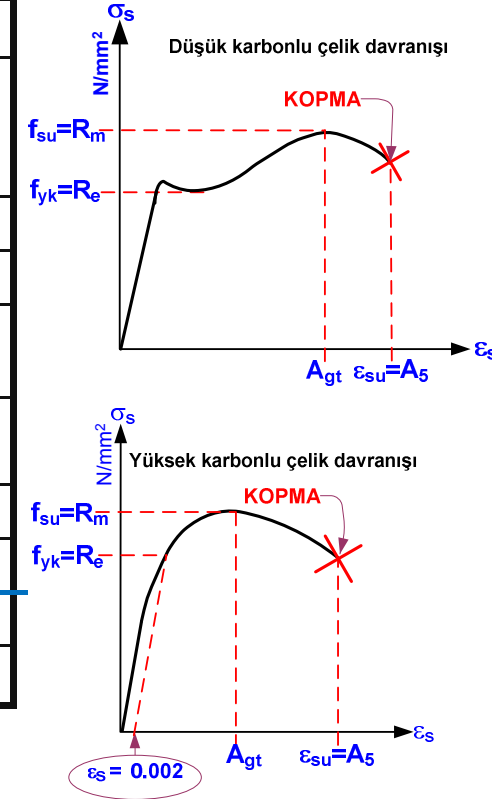
f_y , ϵ_{sy} , f_{yk} , ϵ_{su} notasyonu teoride yoğun kullanılır. R_e , R_m , A_5 değerleri deprem bölgelerinde kullanılacak çeliğin seçiminde önemlidirler (Bak: Deprem yönetmeliği-2007, Madde 3.2.5).

$f_{su}=R_m$ ye karşılık gelen A_{gt} birim uzaması teoride kullanılmaz.

Betonarme çeliği sınıfları ve mekanik özellikleri (TS 708:2010¹)

	Çelik sınıfı						
	S 220 Düz	S 420 Nervürlü	B 420B Nervürlü	B 420C Nervürlü	B 500B Nervürlü	B 500C Nervürlü	B 500A 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 $R_{e act}/R_e$	-	≤1.3	-	≤1.3	-	≤1.3	-
Kopma birim 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
En yakın TS500:2000 eşdeğeri	S 220a	S 420b	yok	S 420a	S 500a	yok	S 500bk
Deprem yönetmeliği-2007 ye uygun mu?	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Hayır

EN UYGUN



¹Resmi gazete: 07.09.2010 gün ve 27695 sayı

Çelik seçimi:

Sünek davranışı sağlamak amacıyla; deprem yönetmeliği-2007 kiriş, kolon ve perdelerin uçlarında kullanılacak çeliğin nervürlü olmasını ve

- 1.Maks akma= 420 N/mm²,
- 2.Min deneysel çekme/ deneysel akma=1.15
- 3.Max deneysel akma/Karakteristik akma=1.3
- 4.Min kopma uzaması=%10

Bak: Deprem yönetmeliği-2007, Madde 3.2.5

koşullarını sağlamasını istemektedir. **Bu koşulları sağlayabilecek en uygun çelik B 420C dir.**

Not: Yapılan araştırmalar¹ ve denetimler² pazarlanan bazı çeliklerin (özellikle S 420 nin) deprem yönetmeliği-2007 koşullarını sağlamadığını göstermektedir. Bu tür çeliklerin kullanımından şiddetle kaçınılmalıdır.

¹[http://www.imoistanbul.or.tr/list-bulten/sayi121/\(28-32\)%20donatilar.pdf](http://www.imoistanbul.or.tr/list-bulten/sayi121/(28-32)%20donatilar.pdf)

²<http://www2.tbmm.gov.tr/d24/7/7-5631c.pdf>

Çelik - ek bilgiler

Mekanik özellikler:

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

Poisson oranı $\nu=0.30$

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

Kütle : $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$

Üretim çapı ϕ^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

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

Üretim boyu L:

Standardlarla 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 TS708:2010 da bir kayıt yoktur.

Düşük karbonlu çelikler: Çapları $\phi 12 \text{ mm}$ den küçük olanlar kangal, firkete veya çubuklar halinde, $\phi 12 \text{ mm}$ 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 !)

Diğer:

- Etriye, çiroz ve döşeme donatısı dışında, **nervürsüz donatı kullanımı yasaktır** (DY-2007 , Madde 3.2.5.3).
- S 220 dayanımı ve kenetlenmesi(aderans) en düşük olan çeliktir. Sadece döşeme donatısı veya sargı olarak kullanılabilir. Kolon, kirş ve perde uçlarında kullanımı yasaktır.
- Kolonlarda, kirişlerde ve perdelerin uçlarındaki kolon kısmında **dayanımı 420 N/mm^2 den yüksek çelik kullanılamaz** (DY-2007, Madde 3.2.5.3).
- Yüksek karbonlu çelik gevrek, deprem bölgelerinde kullanılmamalıdır.**
- Çap arttıkça kenetlenme düşer ve gevrekleşir.
- $\phi > 32 \text{ mm}$ çaplı çubukların kullanımından kaçınılmalıdır (**gevrek ve temini zor**).



Firkete



Çubuk



Kangal



Foto: Berhan ŞAHİN, 2013

12 m boyunda normal üretim çeliği

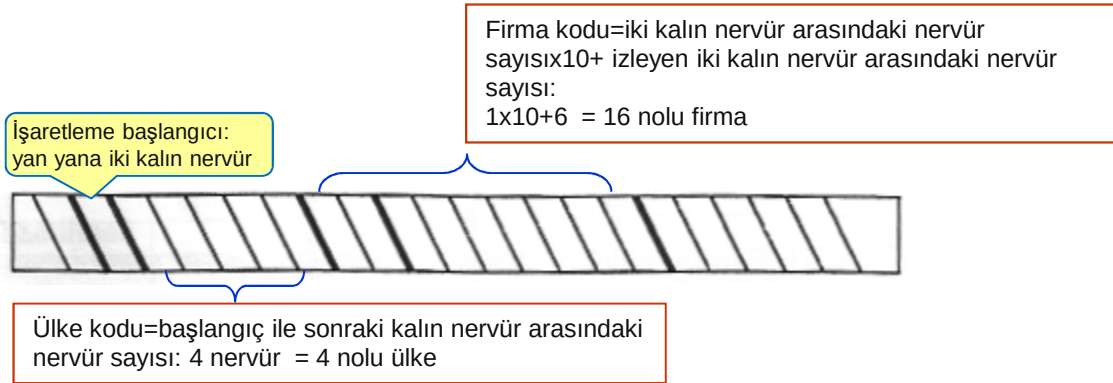


Foto: Berhan ŞAHİN, 2013

14 m boyunda özel sipariş ile üretilmiş çelik: Gebze-Yalova arası Körfez Geçiş Köprüsü viyadük ayaklarında kullanıldı

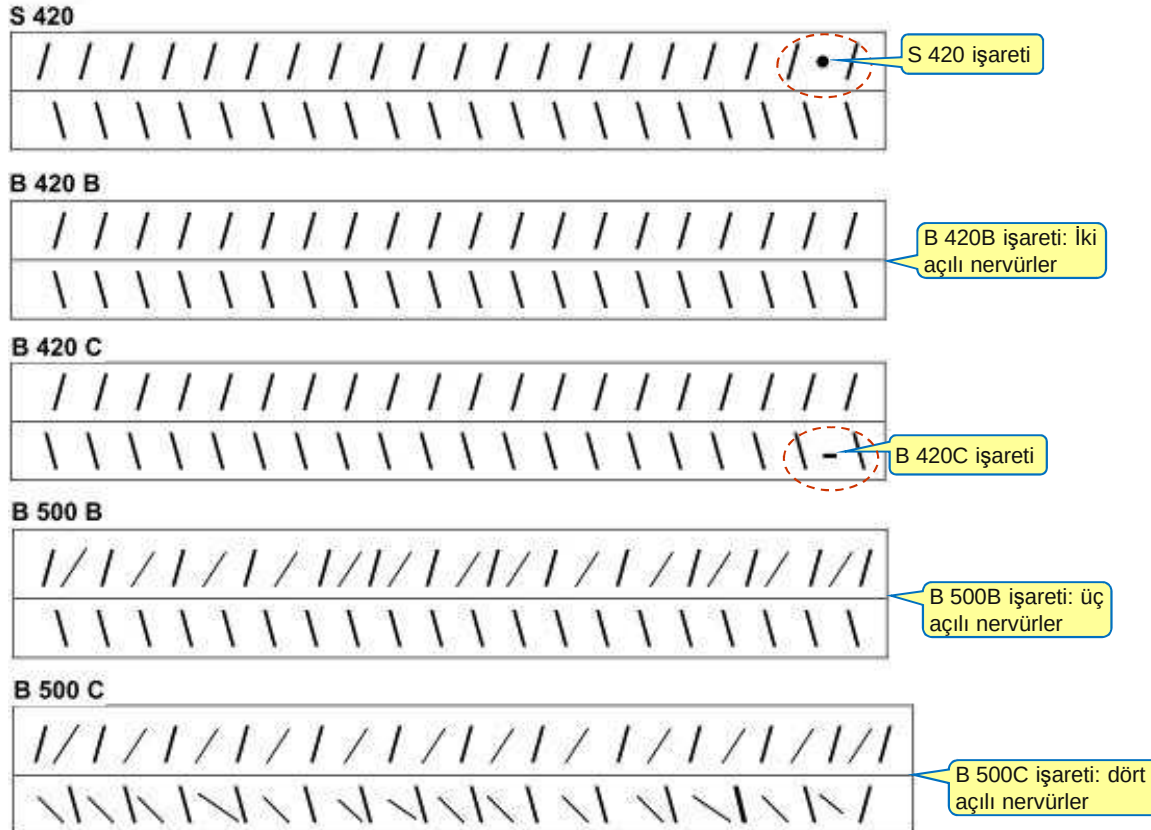
¹Projelerde çubuk çapı ϕ ile gösterilir. $\phi 18$, çapı 18 mm olan çubuk anlamındadır. $\phi 25$ ve üstü çubukların tüketimi azdır ve temini zordur.

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



Bir işaretleme: örneği:



Beton sınıfları:

B160, B225, B300

Küp (20x20x20 cm) dayanımı 160, 225, 300 kg/cm² 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 geçerlidirler. 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 geçerlidirler. 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:

StIa, STIIa, StIIb, StIVa, StIVb

Akma dayanımı sırasıyla 2200, 4200, 4200, 5000, 5000 kg/cm² olan çelikler. 1981 yılına kadar sadece bu simgeler kullanıldı, Alman yapı yönetmeliğinde tanımlı idiler. Düz yüzeyli ve düşük dayanımlı StIa yoğun kullanıldı. 1981 yılına kadarki yapıların projelerinde karşılaşılabilirsiniz.

BÇIa, BÇIIa, BÇIIb, BÇIVa, BÇIVb

Akma dayanımı sırasıyla 220, 420, 420, 500, 500 N/mm² 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.

S 220a, S 420a, S 420b, S 500a, S 500b

Akma dayanımı sırasıyla 220, 420, 420, 500, 500 N/mm² 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.

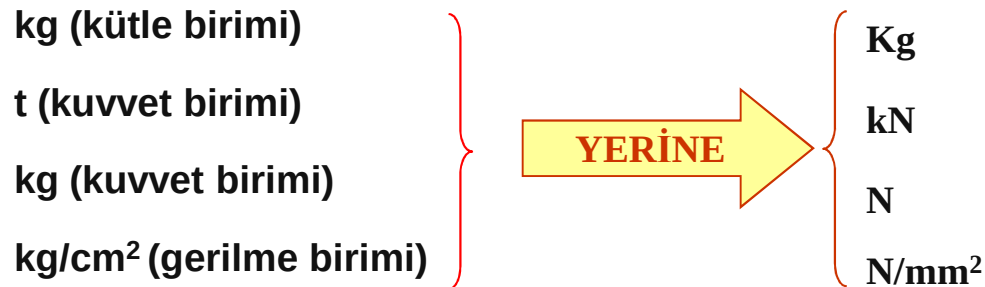
S 220, S 420, B 420B, B 420C, B 500A, B 500B, B 500C

TS 708:2010 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 C30/37 kullanınız.
- B 420C çeliğini tercih ediniz, C indisini mutlaka yazınız, çünkü B 420 çeliği yoktur.
- BÇ simgesi eskidir, ne TS 500:2000 de nede TS 708:2010 da tanımlıdır, kullanmayınız.
- SI biriminde çalışınız.

ÖRNEK:

BETONARME

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 alanı kaplaması
 - Bordür ve parke taşı
 - Dekoratif kaldırım
 - Elektrik direği
 - Kazık, keson temel
- Bacalar (fabrika, termik santral)
 - Çit
 - Travers
- Temiz ve atık su borusu (büz)
 - Su deposu
 - Aritma tesisi
 - Su kanalı
 - Bot, gemi
 - Silo
- Nükleer reaktör zırhı
- Nükleer atık depoları
- Sanat eserleri (heykel)

Betonarmenin avantajları

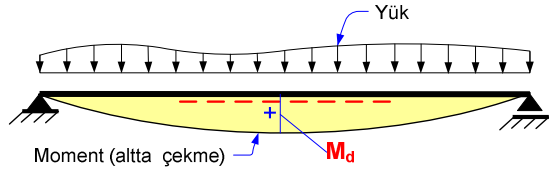
- Kolay işlenip şekillendirilebilir.
- Ekonomiktir. Ana malzemesi (agrega, su) yerel olarak bulunur. Az enerji gerektirir.
- İnşasında diğer yapılara nazaran (ahşap, çelik) büyük özen gerekmez.
- Kalifiye eleman gerektirmez.
- Basınç dayanımı yığma yapı elemanlarına (ahşap, tuğla, gazbeton) nazaran yüksektir.
- Çelik ve ahşapa 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

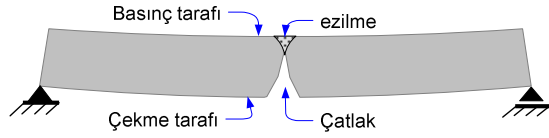
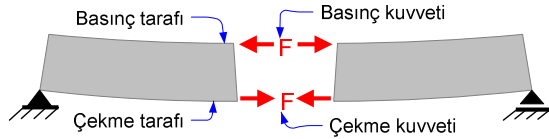
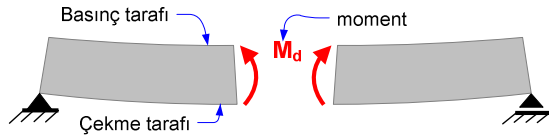
- Betonun çekme dayanımı düşüktür, çelik kullanılması gerekir.
- Çeliğin zayıf tarafları (yangına, pasa dayanıksız) betonarmeye yansır.
- Kalıp ve iskele pahalıdır, kalıp yapımı özen ister.
- Ağır yapılar oluşur (depremde sakıncalı). Taşıyıcı sistem faydalı yükten çok, kendi ağırlığını taşımak zorundadır.
- Yeterli dayanım kazanıncaya kadar özenli bakım (kür) gerekir (ilk 7-14 gün).
- Gökdelene 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.

DONATININ GEREĞİ VE YERİ: Moment ve kesme etkisi

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



Moment diyagramı

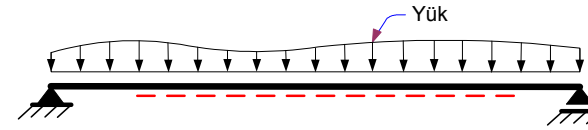


VIDEO:

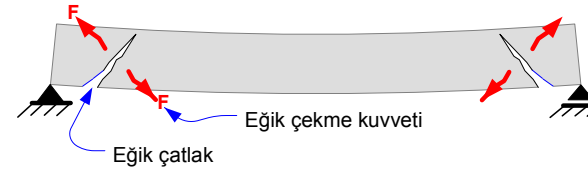
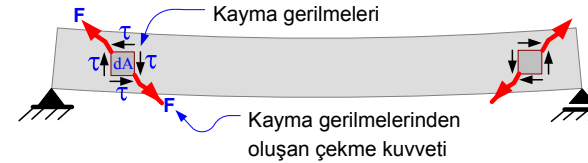
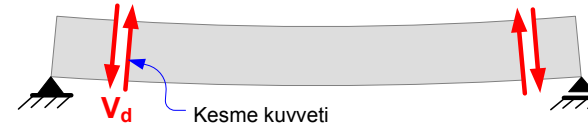
<http://mmf2.oqu.edu.tr/atopcu/>



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



Kesme diyagramı



VIDEO:

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

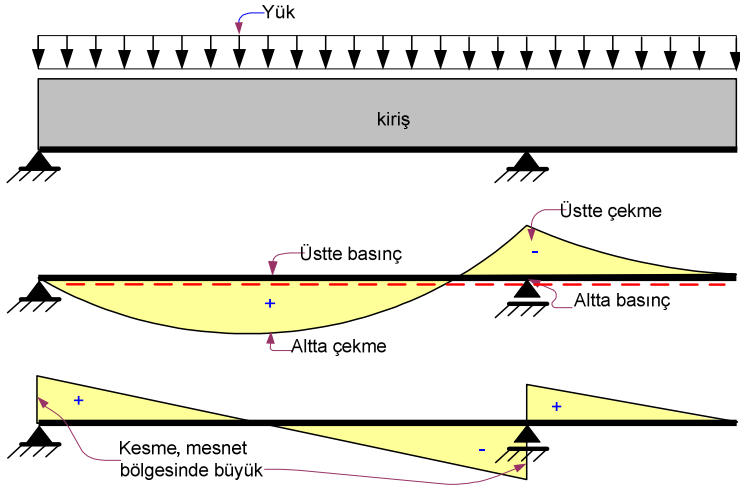


- Kirişe etkiyen M_d momenti F ile gösterilen kuvvet çiftine eşdeğerdir.
- Kirişin üst lifleri F basınç kuvvetinin, alt lifleri de F çekme kuvvetinin etkisindedir.
- Betonun basınç dayanımı yüksek olduğundan F kuvvetini taşıyabilir.
- Donatısız beton çekme kuvvetini taşıyamaz, çatlak. Çatlak çekme kuvvetine dik yönde oluşur. Giderek genişler ve kesit yüksekliğince yol alır. Bu çatlak **eğilme çatlak** veya **çekme çatlak** veya **moment çatlak** denir.
- Basınç bölgesindeki beton ezilir ve kiriş kırılır.
- Çatlak sınırlamak ve kırılmayı önlemek için çekme tarafına ve çatlak 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 τ kayma gerilmeleri oluşturur.
- τ kayma gerilmelerinin oluşturduğu kuvvetler eğimi yaklaşık 45° olan F çekme kuvveti oluşmasına neden olur.
- Donatısız beton çekme kuvvetini taşıyamaz, çatlak. Çatlak F kuvvetine diktir, eğimi yaklaşık 45° dir. Bu çatlak **eğik çekme çatlak**, **kesme çatlak** veya **kayma çatlak** denir.
- Kesme çatlak ani ortaya çıkar, kırılma gevrekliktir.
- Çatlak sınırlamak ve kırılmayı önlemek için düşey etriye ve çatlak 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:

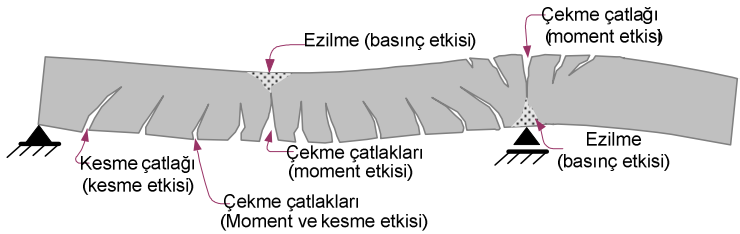
<http://mmf2.oqu.edu.tr/atopcu/>



Şekil değiştirmeden önce

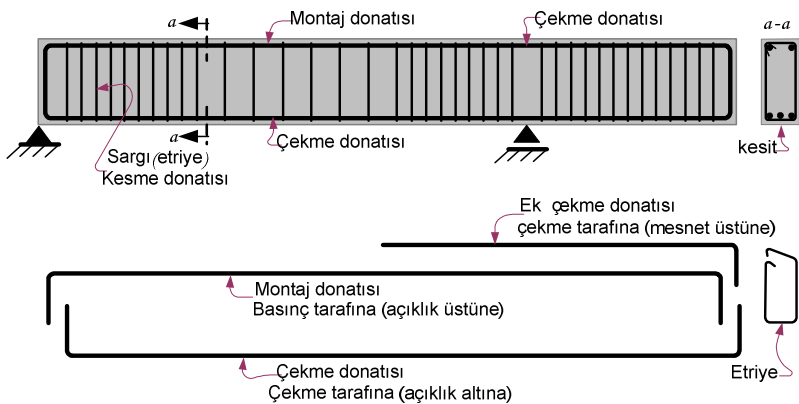
Moment

Kesme



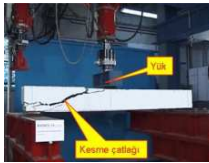
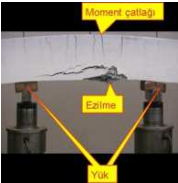
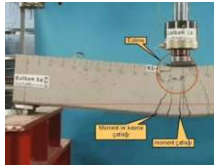
Şekil değiştirdikten sonra:

- Çekme bölgeleri çatlar
- Basınç bölgeleri ezilir
- Kiriş göçer

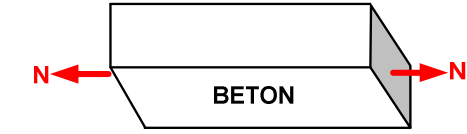


Önem:

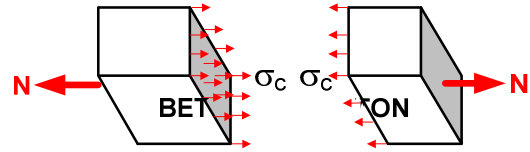
- Çekme kuvvetlerini karşılamak ve çatlakları sınırlamak için çekme bölgelerine **boyuna donatı** konur.
- Kesme çatlaklarını sınırlamak için **sargı donatısı (etriye)** konur. Etriye mesnetlere yakın bölgelerde ve konsollarda sıklaştırılır.
- Basınç bölgelerine teorik olarak donatı gerekmez. Ancak, 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 σ_c çekme gerilmesi vardır ve düzgün yayılıdır. Donatısız beton çekme gerilmesine dayanamadığından çatlar ve kopar.



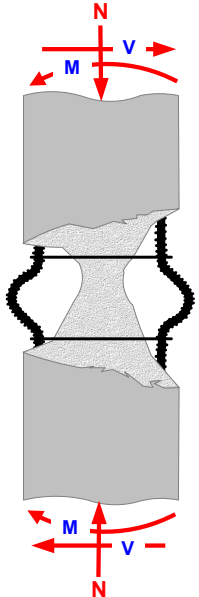
N çekme kuvvetini almak üzere eleman boyunca uzanan ve kesite düzgün dağıtılmış çubuklar konur, etriye ile sarılır. Çekme kuvvetinin tamamı çelik çubuklar tarafından karşılanır. Betonun görevi kenetlenmeyi sağlamak ve çeliği korumaktır.

VIDEO:

<http://mmf2.oqu.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.

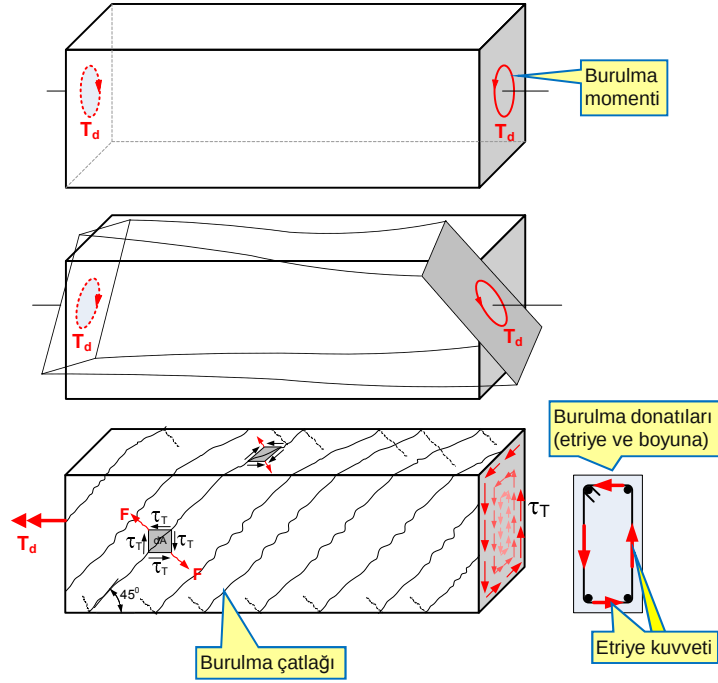
Beton basınca dayanıklıdır. Ancak, dayanamayacağı kadar çok yüksek basınç kuvveti altında Poisson etkisiyle şişer, patlar, ezilir, ufalanır, dağılır ve boyuna donatılar burkular.

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

Sığı(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



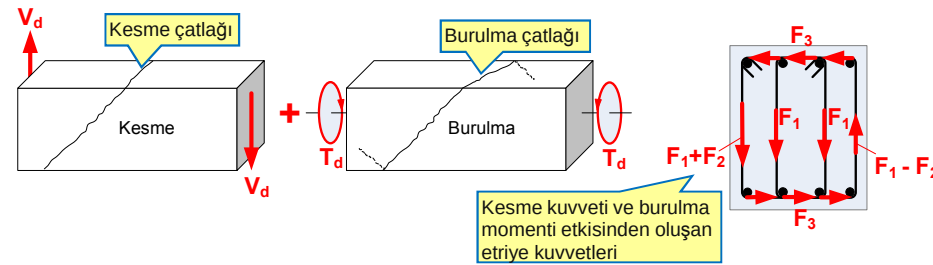
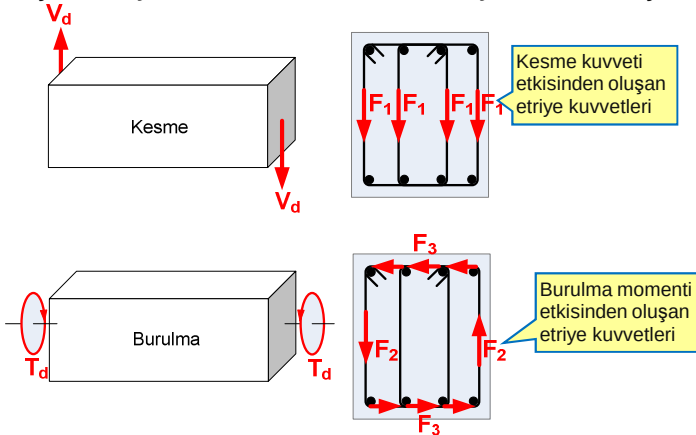
Salt burulma etkisine uygulamada rastlanmaz, eğilme momenti, kesme ve normal kuvvet ile birlikte bulunur. Salt burulma momenti, betonun davranışını kavramak için, deneysel olarak oluşturulabilir. Burulma momenti kesitin düzlemindedir ve kirişi bir ucunda saat yönünde diğer ucunda ise tersi yönde eksen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

Döndürme etkisi altında kiriş kesitleri şekilde görüldüğü gibi dönerler. Kesit düzleminde τ_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. τ_T kayma gerilmeleri, eğimi yaklaşık 45° olan F eğik çekme kuvvetinin oluşmasına neden olur. Donatısız beton çekme kuvvetini taşıyamaz, çatlar. Çatlak F kuvvetine diktir, eğimi yaklaşık 45° dir. Çatlaklar kiriş boyunca spiral bir yol izlerler. Çatlaklar genişler kirişin boyu uzar.

45° 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 açıdır. Etriye hem kesme hem de burulma çatlaklarını sınırlar. Kesme kuvveti etkisi kesitte aynı yöndedir ve etriyelerin sadece düşey kolları ile karşılanır. 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 çatlaklar. 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.



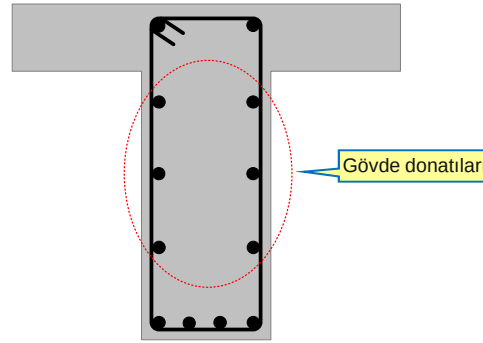
Büzülme çatlakları



Büzülme çatlakları

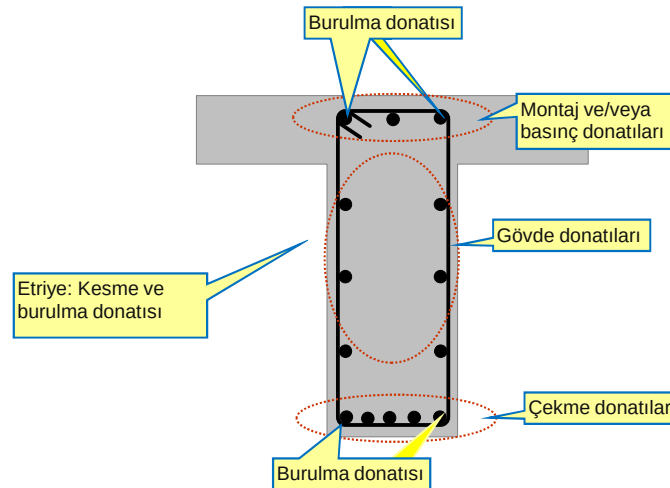


Büzülme çatlaklarını en aza indirmenin en iyi yolu betonu sulamaktır. Sulamak (kür) aynı zamanda betonun dayanımını da artırır. Fotoğrafta keçe ile kaplanmış bir betonarme döşemenin sulanması görülüyor.



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.

Ortam	Normal kabul edilen en büyük çatlak genişliği ¹
Yapı içi normal çevre koşulları (Örnek: Şehirlerdeki normal yapılar)	0.4 mm
Yapı içi nemli ve yapı dışı normal çevre koşulları (Örnek: Hamamlar)	0.3 mm
Yapı dışı nemli çevre koşulları (Örnek: Temiz ve tatlı su havzası kıyısındaki yapılar)	0.2 mm
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

¹Çizelgedeki 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)
- 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 donatıdan kaçınılmalı
- Kaliteli beton kullanılmalı, özenle sıkıştırılmalı ve kür yapılmalı
- 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

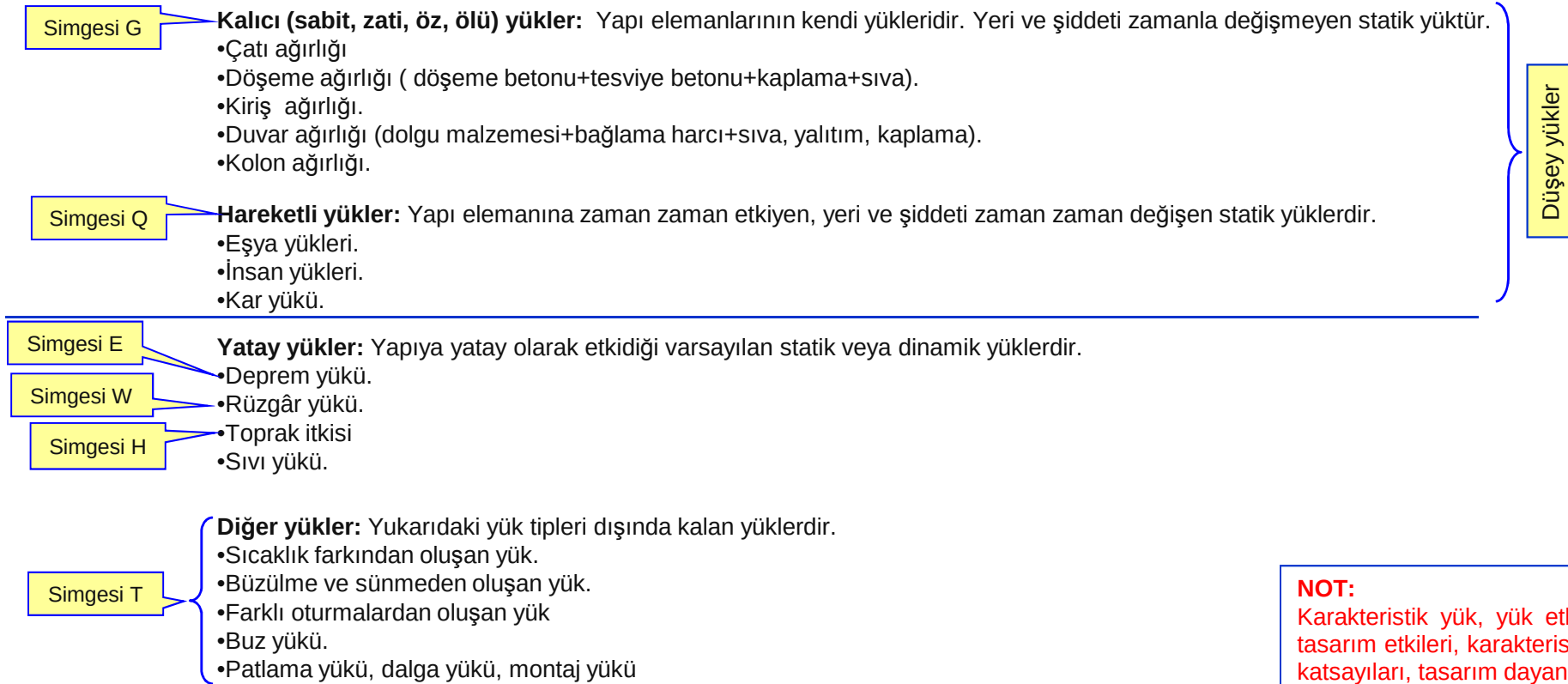


Su gereksinimi fazla olan ağaçlar(İncir, Elma, Okaliptus, Pavlonya) çatlaklara neden olabilir, atık su borularını tıkayabilir.



Yapılara etkiyen karakteristik yükler, yük simgeleri, yük ve malzeme katsayıları, tasarım yükü, tasarım dayanımı, yapı güvenliği kavramları

Yapıyı oluşturan çatı, duvar, döşeme, kiriş, kolon gibi elemanların kendi ağırlıkları; insan, eşya, kar, makine ağırlıkları; deprem, rüzgâr kuvvetleri gibi yapıyı zorlayan yüklerdir. Yükler yapı elemanlarında yer ve şekil değiştirmelere ve iç kuvvetlerin oluşmasına neden olur. Yüklerden oluşan iç kuvvetlere (moment, kesme, normal kuvvet, ...), şekil değiştirmelere (uzama-kısalma, kesit dönmesi) ve yer değiştirmelere (yatay/düşey, dönme) **yük etkileri** denir. Yapının güvenli olması için yük etkilerine dayanması gerekir. O halde yüklerin doğru belirlenmesi çok önemlidir. Ancak, yüklerin kesin değerlerini bilmek mümkün değildir. Tartıldığı anda 75 kg olan bir insan her zaman 75 kg mıdır? Muhtemelen hayır. Zamanla daha az yada daha fazla da olabilir. Ayrıca her insanın kilosu farklıdır. Üretilcek 1 m³ betonarme betonunun kütlesi agrega cinsine, donatının az-çok almasına, sıkıştırılma kalitesine bağlı olarak az yada çok değişir; kesin bir değer vermek mümkün değildir. Deprem, rüzgâr, kar gibi doğa olaylarından kaynaklanan yükler de önceden tam doğru olarak bilinemez. Geçmişte olmuş deprem bilgileri, kar ve rüzgâr meteorolojik ölçümleri istatistiksel olarak değerlendirilir doğruya en yakın ve **olası** yükler belirlenir. Bu yolla belirlenmiş yükler yönetmeliklerde verilir. Yönetmeliklerde verilmiş, doğruya en yakın fakat **olası** yüklere **karakteristik yükler** denir. Farklı tipteki her yükün G, Q, E, W, H ve T ile gösterilen simgesi vardır. Karakteristik yük tipleri ve simgeleri aşağıda verilmiştir:



NOT:

Karakteristik yük, yük etkileri, yük birleşimleri, tasarım etkileri, karakteristik dayanım, malzeme katsayıları, tasarım dayanımı, taşıma gücü

gibi tanımlar öğrenci için yenidir. Sadece betonarme derslerinde değil, meslek yaşamı boyunca kullanmak zorundadır. Bu nedenle iyi kavranması gerekir.

Karakteristik yüklerin değerleri yönetmeliklerde verilmiştir:

TS 498:1997 , TS ISO 9194:1997 : Kalıcı yükler, hareketli yükler, kar, buz ve rüzgâr yükleri, toprak itkisi.

Deprem Yönetmeliği-2007: Deprem yükleri.

TS 500:2000: Büzülme, sünme, sıcaklık farkı etkileri.

Yönetmeliklerde verilmiş yükler karakteristik olduğundan etkileri de karakteristiktir. Yükler, dolayısıyla **yük etkileri** olabildiğince en doğru değerdir, fakat doğruluğu şüphelidir. Yük etkilerinin karakteristik değerleri yerine; hesaplarda **Tasarım etkileri ve yük birleşimleri** kullanılır. Tasarım etkileri; karakteristik etkilerin genelde 1 (bir) den büyük olan **yük katsayıları** ile çarpılması ve birleştirilmesi ile belirlenirler ve elemanların tasarımında(boyutlandırılmasında) kullanılırlar. Birden çok tasarım etkisi vardır. Çünkü yüklerin tümü yapıya aynı anda etmez, farklı zamanlarda farklı yükler etkir. Bu yolla çok sayıda yük senaryosu oluşturulur, ne zaman hangi yük etkirse etkisin yapının **güvenliği** sağlanmaya çalışılır. TS 500/2000 de tanımlı yük katsayıları ve **yük birleşimleri** (yük senaryoları) aşağıda verilmiştir.

**Yalnız düşey yükler için
(deprem ve rüzgârın etkin
olmadığı durumlarda):**

$$F_d = 1.4G + 1.6Q$$

$$F_d = 1.0G + 1.2Q + 1.2T$$

Deprem etkin ise:

$$F_d = 1.4G + 1.6Q$$

$$F_d = 1.0G + 1.2Q + 1.2T$$

$$F_d = 1.0G + 1.0Q + 1.0E$$

$$F_d = 1.0G + 1.0Q - 1.0E$$

$$F_d = 0.9G + 1.0E$$

$$F_d = 0.9G - 1.0E$$

Rüzgâr etkin ise:

$$F_d = 1.4G + 1.6Q$$

$$F_d = 1.0G + 1.2Q + 1.2T$$

$$F_d = 1.0G + 1.3Q + 1.3W$$

$$F_d = 1.0G + 1.3Q - 1.3W$$

$$F_d = 0.9G + 1.3W$$

$$F_d = 0.9G - 1.3W$$

NOT: Sıvı basıncı etkisinin bulunması durumunda , bu etki 1.4 ile çarpılır ve içinde Q etkisi görülen tüm birleşimlere eklenir.

Deprem anında kuvvetli bir rüzgârın da esmesi çok düşük bir olasılıktır. Ekonomik nedenle; bir yapıya aynı anda hem depremin hem de rüzgârın etkimeyeceği varsayılır (Deprem Yönetmeliği-2007, Madde 2.2.2.4). Deprem ve rüzgâr yüklerinden hangisi daha elverişsiz ise o dikkate alınır. Türkiye’de normal yapılarda genelde deprem etkin olur. Gökdelen türü yapılarda ve hafif çatılı çelik yapılarda rüzgâr etkileri de önemlidir.

G, Q, E, W, H, T harfleri yük tipinin simgesidir, yükün değeri değildir. Büyük harf yerine küçük harfler de kullanılabilir. **F_d ye tasarım etkisi** denir, karakteristik yük etkilerinin yük katsayıları ile çarpılıp birleştirilmesi ile hesaplanır.

Örnek: Deprem ve rüzgâr etkisinde olmayan bir yapının bir kolonunun bir kesitinde karakteristik sabit yükten 700 kN eksenel, 170 kNm moment, 60 kN kesme kuvveti oluştuğunu; karakteristik hareketli yükten de 300 kN eksenel, 80 kNm moment ve 25 kN kesme kuvveti oluştuğunu varsayalım. Bu durumda:

$$N_g = 700 \text{ kN}, M_g = 170 \text{ kNm}, V_g = 60 \text{ kN} \quad (\text{karakteristik sabit yük etkileri})$$

$$N_q = 300 \text{ kN}, M_q = 80 \text{ kNm}, V_q = 25 \text{ kN} \quad (\text{karakteristik hareketli yük etkileri})$$

Dış yükler ile dengede olan ve hesaplanmış iç kuvvetler

ile gösterilir. Kolonun bu kesitinde tasarım etkileri $F_d = 1.4G + 1.6Q$ birleşiminden hesaplanmalıdır. Çünkü , sadece sabit(G) ve hareketli(Q) yük etkisi vardır, deprem(E), rüzgâr (W) veya diğer yükler(T) etkisi yoktur. Bu nedenle kolonun aynı kesitindeki tasarım etkileri:

$$N_d = 1.4 \cdot 700 + 1.6 \cdot 300 = 1460 \text{ kN}$$

$$M_d = 1.4 \cdot 170 + 1.6 \cdot 80 = 366 \text{ kNm}$$

$$V_d = 1.4 \cdot 60 + 1.6 \cdot 25 = 124 \text{ kN}$$

Dış yükler ile dengede olmayan, günün birinde olabileceği varsayılan ve tasarımda kullanılacak kuvvetler

olarak hesaplanır. Kolonun boyutlandırılmasında bu tasarım değerleri kullanılır, karakteristik yük etkileri kullanılmaz.

TS EN 206-1:2002 ve TS 708:2010 da verilen ve projede öngörülen malzeme (beton, çelik) karakteristik dayanımlarının üretimde tutmama, düşük kalma riski vardır. Bu nedenle hesaplar öngörülen karakteristik dayanımlar ile değil, **tasarım dayanımları** ile yapılır. Tasarım dayanımları karakteristik dayanımların **malzeme katsayısına** bölünmesi ile bulunur. TS500/2000 de tanımlı olan **malzeme katsayıları** 1 (bir) den büyük değerler olduğundan daha küçük dayanımlar ile hesap yapılarak tutmama riski azaltılır, **güvenlik** sağlanmaya çalışılır.

Beton tasarım dayanımı:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{mc}}$$

f_{ck} : betonun karakteristik basınç dayanımı
 f_{cd} : betonun basınç tasarım dayanımı
 f_{ctk} : betonun karakteristik çekme dayanımı
 f_{ctd} : betonun çekme tasarım dayanımı
 γ_{mc} : betonun malzeme katsayısı

$\gamma_{mc}=1.5$ yerinde dökülen ve iyi denetlenen betonlar için
 $\gamma_{mc}=1.4$ öndöküm (prefabrik) betonlar için
 $\gamma_{mc}=1.7$ denetimi iyi yapılamayan betonlar için

Çelik tasarım dayanımı:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{ms}}$$

f_{yk} : çelik karakteristik dayanımı
 f_{yd} : çelik tasarım dayanımı
 γ_{ms} : çelik malzeme katsayısı
 $\gamma_{ms}=1.15$ (her tür çelik için)

Fabrikada üretilen ve prefabrik denilen öndöküm betonlar yerinde(şantiyede) dökülen betonlara nazaran daha iyi denetimlidir. Öndöküm beton için öngörülen karakteristik basınç dayanımının tutma olasılığı daha yüksektir, risk daha düşüktür, malzeme katsayısı **$\gamma_{mc}=1.4$** tür. Benzer şekilde; inşaat çeliği betona nazaran daha homojen bir malzeme olduğundan ve fabrikada üretildiğinden dayanımının karakteristik dayanımdan farklı olma olasılığı (riski) betona nazaran çok daha düşüktür. Bu nedenle, çeliğin malzeme katsayısı γ_{ms} betonun malzeme katsayısı γ_{mc} den daha küçük tutulmuştur ve tek bir değeri vardır: **$\gamma_{ms}=1.15$** . Hesaplarda f_{ck} , f_{ctk} , f_{yk} karakteristik dayanımları kullanılmaz, daha düşük olan f_{cd} , f_{ctd} , f_{yd} tasarım dayanımları kullanılır.

Malzeme katsayılarının seçimi:

γ_{mc} ve γ_{ms} malzeme katsayıları yönetmeliğin mühendise verdiği bir yetkidir, güvenli yapı üretmesine olanak sağlayan önemli bir anahtardır. Peki; bir yapının statik-betonarme projelerini hazırlayacak olan mühendis betonun malzeme katsayısını nasıl seçecektir?

Her tür yapıda ve her çelik sınıfı için: $\gamma_{ms}=1.15$ seçilir.

Yapı prefabrik olarak inşa edilecekse: $\gamma_{mc}=1.4$ seçilir.

Yapı yerinde dökme beton ile inşa edilecekse: Hazır beton kullanılacak ve iyi denetlenebilecek ise **$\gamma_{mc}=1.5$** , iyi denetlenemeyeceği düşünülen beton için, hazır beton olsa dahi, **$\gamma_{mc}=1.7$** seçilir.

Yapı elle veya betonyerle karılan beton ile inşa edilecekse: Beton iyi denetlense dahi, hemen hiçbir zaman, öngörülen kalitede üretilemez, **$\gamma_{mc}=1.7$** seçilir. Hatta daha büyük, **$\gamma_{mc}=2$** seçilmesi önerilir.

Betonun iyi denetlenip denetlenmeyeceği nasıl belirlenir? Cevabı biraz zorca bir sorudur bu. İnşaat belki bir yıl yada birkaç yıl sonra başlayacaktır, fakat Statik - betonarme projeyi hazırlamak için malzemeye ve katsayılarına karar verilmek zorundadır. Mühendisin elinde sadece mimari vardır. Mimari projeden hareketle, inşaatın nerede yapılacağı(büyük kentte, kasabada, dağ başında), hazır beton temin edilip edilemeyeceği, denetim firması olup olmadığı, yapı sahibi ve muhtemel yapımcı(müteahhit) gibi veriler irdelenerek γ_{mc} nin değeri kararlaştırılabilir. Hazır beton santrali ve denetim firmaları olan büyük kentlerde çoğunlukla **$\gamma_{mc}=1.5$** seçilmektedir. **Örnek:** C30/37 ve B 420C ile Eskişehir merkezde inşa edilecek yapıda **$\gamma_{mc}=1.5$** seçilirken; aynı yapı bir kasabada(denetim yetersiz) inşa edilecekse **$\gamma_{mc}=1.7$** seçilmelidir. Aynı yapı dağ başında şantiye betonu ile üretilcekse öncelikle C30/37 yerine beton sınıfını C16/20 ye düşürmek ve **$\gamma_{mc}=1.7$** almak uygun olacaktır. Hatta **$\gamma_{mc}=2$** belki daha da uygun olur.

Yapı güvenliği kavramı

Yapılar kullanım ömrü boyunca farklı yüklerin etkisindedir. Mühendisin görevi bu yük etkilerine karşı yapıyı **olabildiğince** güvenli kılmaktır. Neden “**tam**” değil de “**olabildiğince**”? Çünkü bir takım belirsizlikler ve maliyet yapının “**tam**” güvenli kılınmasını önler. Az da olsa belli bir risk üstlenilerek güvenlik sağlanmaya çalışılır. Kullanım ömrü boyunca kullanım amacını yerine getirebilen, az yada çok hasar alabilme olasılığı olan fakat toptan göçmeyen yapı güvenli kabul edilir.

Güvenli yapı oluşturmak için:

- Taşıyıcı sistem özenle seçilir.
- Uygun malzeme(beton/çelik) ve malzeme katsayısı seçilir.
- Yapıya etkiyecek yükler özenle belirlenir.
- Karakteristik yük etkileri yerine yük katsayıları ile artırılmış ve yük senaryolarına göre birleştirilmiş tasarım etkileri kullanılır.
- Karakteristik malzeme dayanımları yerine malzeme katsayıları ile azaltılmış tasarım dayanımları kullanılır.
- Yönetmeliklere uyulur. Neticede yönetmelikler yapının güvenli olması için hazırlanmışlardır.
- Hesaplar (statik-dinamik-betonarme) yazılımlar ile bilgisayarda yapılır. Yazılım sonuçları irdelenir, gerekli düzeltmeler yapılır, hesap tekrarlanır.
- Her bir taşıyıcı elemandaki tasarım etkilerinin(moment, kesme, normal kuvvet) elemanın **taşıma gücünü** aşmaması sağlanır.
- Çizim detayları özenle hazırlanır.
- İnşaatin çizimlere uygun yapılmasına özen gösterilir.
- İnşaatin her aşaması sıkı denetime tabi tutulur.



Bu kuş(!) neden birden çok dalı
özenle bir araya getirmiş acaba?

Taşıma gücü kavramı ve taşıma gücü açısından yapı güvenliği

Betonarme bir elemanın güvenli olması için onun tasarım dayanımı (**taşıma gücü**) en az o elemandaki tasarım yük etkisi kadar olmalıdır: $R_d \geq F_d$

R_d : Tasarım dayanımı. Moment, kesme kuvveti, eksenel kuvvet v.b. etkilere karşı elemanın gösterebildiği taşıma gücüdür. Nasıl hesaplanacağı ilerideki konularda anlatılacaktır.

F_d : Tasarım yükü etkisi. Karakteristik yüklerden oluşan moment, kesme kuvveti, eksenel kuvvet gibi zorlamaların yük katsayıları ile artırılmış ve birleştirilmiş değeridir.

Bir kirişin tüm yüklerinden oluşan tasarım momenti M_d , kesme tasarım kuvveti V_d , kirişin moment taşıma gücü M_r , kesme taşıma gücü de V_r olsun.

$M_r \geq M_d$ olması durumunda kiriş momente karşı güvenli, aksi halde güvensizdir deriz.

$V_r \geq V_d$ olması durumunda kiriş kesmeye karşı güvenli, aksi halde güvensizdir deriz.

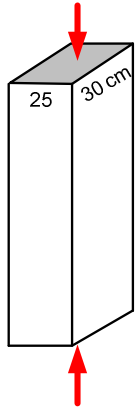
Kirişin güvenli olması için her iki kuvvete karşı da güvenli olması gerekir. Birine karşı güvenli, diğerine karşı güvensiz olması halinde kiriş güvensizdir. Çünkü o kuvvet kirişi kırıyor anlamındadır. Yapının bütünü güvenli olması için her taşıyıcı elemanın güvenli olması gereği açıktır.

Taşıma gücüne **kapasite** de denir. Taşıma gücü kavramı için basit bir örnek verelim: 10 tonluk kamyon, kapasitesi 10 ton olan, yani 10 tona kadar yükü kullanım ömrü boyunca güvenle taşıyabilecek şekilde üretilmiş anlamındadır. Kamyon 10 tondan daha az veya daha fazla yüklenebilir. Taşıma gücü olan 10 ton sınırı ne kadar aşılsa güvenlik o denli azalır. Örneğin, 20 ton yükü belki kısa bir süre taşıyabilecek ve hasar alacaktır. 100 tonluk bir yük anında göçmesine neden olacaktır.

Yapıda da durum tamamen benzerdir. Yapı belli bir taşıma gücü için tasarlanmıştır. Taşıma gücü kısa süre aşılabılır, küçük hasarlar olur-olmaz. Taşıma gücü aşırı aşılsa, diyelim öngörülemediği büyüklükte bir deprem etkisi, ağır hasar alacak belki de göçecektir.

ÖRNEKLER: Karakteristik kuvvet, tasarım kuvveti, karakteristik dayanım, malzeme katsayıları ve tasarım dayanımı

Solda görülen donatısız elemandan C20/25 betonu ile üç adet üretilecektir. Biri öndöküm(prefabrik), diğeri iyi denetimli, bir diğeri de kötü denetimlidir. a) Elemanların beklenen karakteristik kırılma basınç kuvveti nedir? b) 37. sayfadaki sünme deney sonucunu da dikkate alarak, elemanların **güvenle** taşıyabileceği tasarım basınç kuvvetini belirleyiniz.



a) Beklenen karakteristik kırılma basınç kuvveti N:
C20/25 için $f_{ck}=20 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_c = \frac{N_k}{A_c} = f_{ck} \rightarrow N_k = f_{ck} A_c$$

$$N_k = 20 \cdot 250 \cdot 300$$

$$N_k = 1500 \cdot 10^3 \text{ N} = 1500 \text{ kN}$$

b) Öndökümlü elemanın tasarım kuvveti:
 $f_{ck}=20 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{mc}=1.4$, $f_{cd}=20/1.4=14.29 \text{ N/mm}^2$

Deney sonucuna göre, yükten oluşan beton gerilmesi tasarım dayanımının 0.75 ini aşmamalı (37.sayfadaki deney sonucuna bakınız):

$$\frac{\sigma_c}{f_{cd}} = 0.75 \rightarrow \sigma_c = 0.75 f_{cd}$$

$$\sigma_c = \frac{N_d}{A_c} \leq 0.75 f_{cd} \rightarrow N_d \leq 0.75 f_{cd} A_c$$

$$N_d \leq 0.75 \cdot 14.29 \cdot 250 \cdot 300$$

$$N_d \leq 803812.5 \text{ N} \approx 803.8 \text{ kN}$$

b) İyi denetimli elemanın tasarım kuvveti:
 $f_{ck}=20 \text{ N/mm}^2$

$$\gamma_{mc}=1.5, f_{cd}=20/1.5=13.33 \text{ N/mm}^2$$

$$N_d \leq 0.75 f_{cd} A_c$$

$$N_d \leq 0.75 \cdot 13.33 \cdot 250 \cdot 300$$

$$N_d \leq 749.8 \text{ kN}$$

b) Kötü denetimli elemanın tasarım kuvveti:
 $f_{ck}=20 \text{ N/mm}^2$

$$\gamma_{mc}=1.7, f_{cd}=20/1.7=11.76 \text{ N/mm}^2$$

$$N_d \leq 0.75 f_{cd} A_c$$

$$N_d \leq 0.75 \cdot 11.76 \cdot 250 \cdot 300$$

$$N_d \leq 661.5 \text{ kN}$$



Solda görülen donatısız elemandan C20/25 betonu ile üç adet üretilecektir. Biri öndöküm(prefabrik), diğeri iyi denetimli, bir diğeri de kötü denetimlidir. a) Elemanların beklenen karakteristik kırılma çekme kuvveti nedir? b) Elemanların **güvenle** taşıyabileceği tasarım çekme kuvvetini belirleyiniz.

Beklenen karakteristik kırılma çekme kuvveti N:
C20/25 için $f_{ctk}=1.6 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{ct} = \frac{N_k}{A_c} = f_{ctk} \rightarrow N_k = f_{ctk} A_c$$

$$N_k = 1.6 \cdot 250 \cdot 300$$

$$N_k = 120.0 \text{ kN}$$

b) Öndökümlü elemanın tasarım kuvveti:

$$f_{ctk}=1.6 \text{ N/mm}^2, \gamma_{mc}=1.4$$

$$f_{ctd}=1.6/1.4=1.14 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ct} \leq \frac{N_d}{A_c} = f_{ctd} \rightarrow N_d \leq f_{ctd} A_c$$

$$N_d \leq 1.14 \cdot 250 \cdot 300$$

$$N_d \leq 85.5 \text{ kN}$$

b) İyi denetimli elemanın tasarım kuvveti:

$$f_{ctk}=1.6 \text{ N/mm}^2, \gamma_{mc}=1.5$$

$$f_{ctd}=1.6/1.5=1.07 \text{ N/mm}^2$$

$$N_d \leq f_{ctd} A_c$$

$$N_d \leq 1.07 \cdot 250 \cdot 300$$

$$N_d \leq 80.3 \text{ kN}$$

b) Kötü denetimli elemanın tasarım kuvveti:

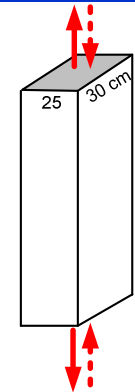
$$f_{ctk}=1.6 \text{ N/mm}^2, \gamma_{mc}=1.7$$

$$f_{ctd}=1.6/1.7=0.94 \text{ N/mm}^2$$

$$N_d \leq f_{ctd} A_c$$

$$N_d \leq 0.94 \cdot 250 \cdot 300$$

$$N_d = 70.5 \text{ kN}$$



Solda görülen donatısız elemandan C20/25 betonu ile üç adet üretilmiştir. Biri öndöküm(prefabrik), diğeri iyi denetimli, bir diğeri de kötü denetimlidir. Elemanlar bazen basınç bazen de çekme kuvveti etkisinde kalacaktır. Elemanların **güvenle** taşıyabileceği eksenel tasarım kuvvetini belirleyiniz.

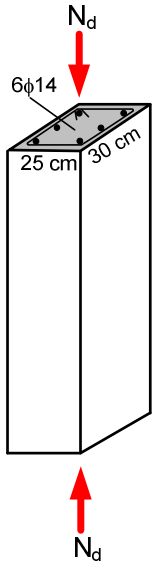
Betonun basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşüktür. Elemanlar basınç kuvvetinden değil, çekme kuvvetinden kırılacaktır. Yukarıdaki hesaplanmış değerler dikkate alınarak elemanların güvenle taşıyabileceği eksenel kuvvet:

Öndökümlü eleman için $N_d=85.5 \text{ kN}$

İyi denetimli eleman için $N_d=80.3 \text{ kN}$

Kötü denetimli eleman için $N_d=70.5 \text{ kN}$

ÖRNEKLER: Karakteristik yük, tasarım yükü, karakteristik dayanım, malzeme katsayıları ve tasarım dayanımı



Solda görülen eleman donatılı olarak C20/25 betonu ve B 420C çeliği ile iyi denetimli bir şantiyede üretilmiştir. Kesitte 6φ14 boyuna donatı vardır 37. sayfadaki sünme deney sonucunu da dikkate alarak elemanın **güvenle** taşıyabileceği eksenel tasarım basınç kuvvetini belirleyiniz.

$$N_d \leq \underbrace{0.75}_{\text{Deney katsayısı}} \cdot \underbrace{(A_c - A_s)}_{\text{Betonun karşıladığı kuvvet}} f_{cd} + \underbrace{A_s f_{yd}}_{\text{Çeliğin karşıladığı kuvvet}}$$

olmalıdır.

$$A_c = 250 \cdot 300 = 75 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

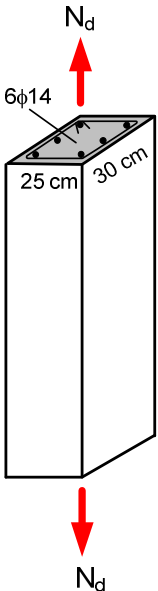
$$A_s = 924 \text{ mm}^2 \text{ (6φ14 çubuğun toplam kesit alanı)}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{mc}} = \frac{20}{1.5} = 13.33 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{ms}} = \frac{420}{1.15} = 365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$N_d \leq 0.75 \cdot (75 \cdot 10^3 - 924) \cdot 13.33 + 924 \cdot 365.22$$

$$N_d \leq 1078.0 \text{ kN}$$



Solda görülen eleman donatılı olarak C20/25 betonu ve B 420C çeliği ile iyi denetimli bir şantiyede üretilmiştir. Kesitte 6φ14 boyuna donatı vardır. Elemanın **güvenle** taşıyabileceği eksenel tasarım çekme kuvvetini belirleyiniz.

Beton çekme kuvveti alamayacak, çatlayacaktır. Çekme kuvvetini sadece çelik çubuklar karşılamak zorundadır:

$$N_d \leq A_s f_{yd}$$

$$A_s = 924 \text{ mm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{420}{1.15} = 365.22 \text{ N/mm}^2$$

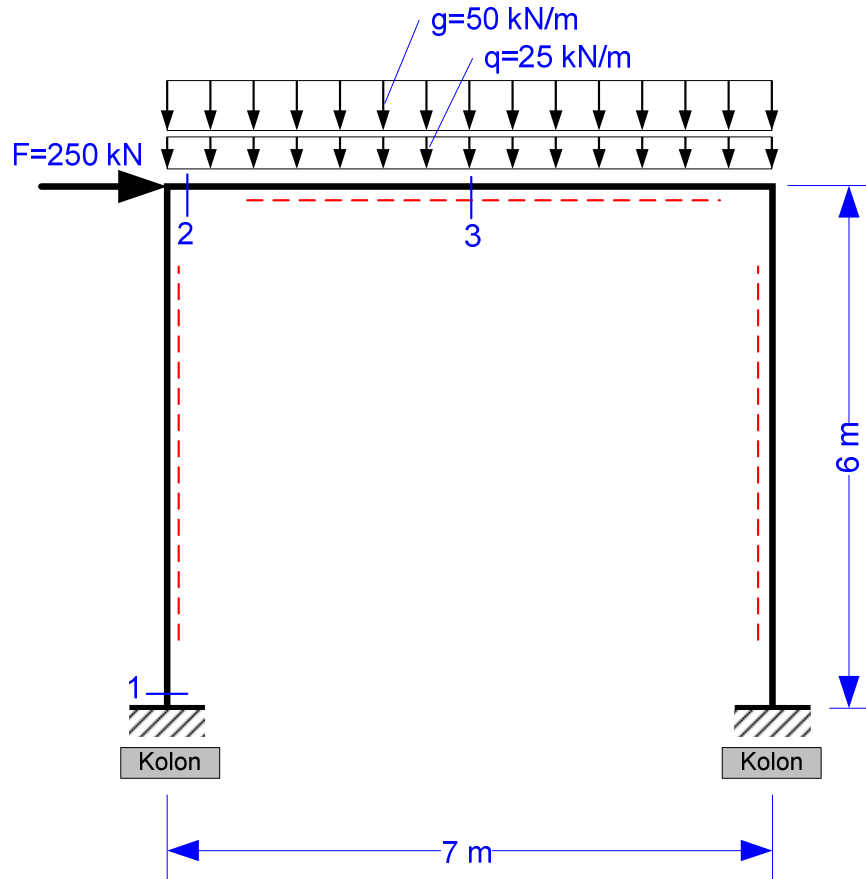
$$N_d \leq 924 \cdot 365.22$$

$$N_d \leq 337.5 \text{ kN}$$

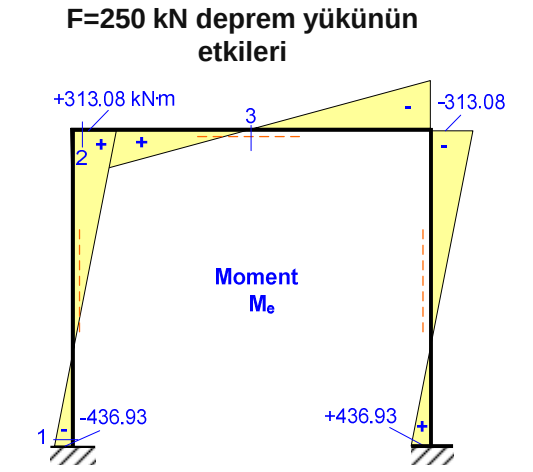
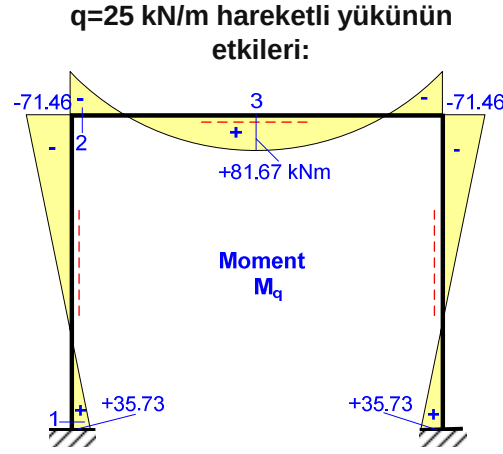
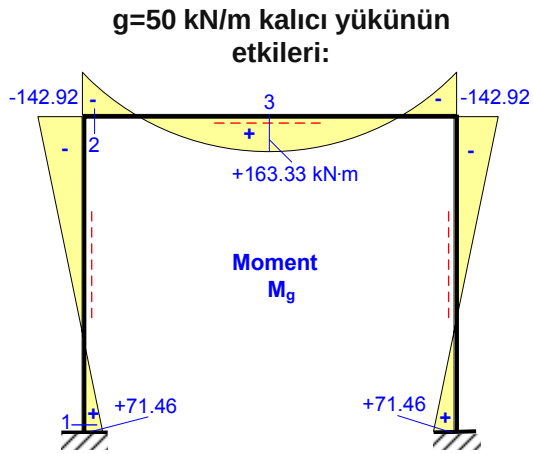
ÖRNEK: Yük etkileri, yük katsayıları, yük birleşimleri, tasarım etkileri

Aşağıda verilen çerçeve C30/37 betonu ile inşa edilecektir. Kolon ve kirişler 30/70 cm boyutundadır. Yükler karakteristiktir. g kalıcı, q hareketli ve F deprem yüküdür. Her yüke ait moment, kesme ve normal kuvvet diyagramı verilmiştir. Statik hesaplarda kiriş ve kolonların çekme olduğu varsayılan tarafları kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

- Çerçevenin 1, 2 ve 3 noktalarındaki tasarım momentlerini bulunuz.
- 1 ve 2 noktalarındaki tasarım kesme kuvvetlerini bulunuz.
- 1 noktasındaki tasarım normal kuvvetlerini bulunuz.
- 2 ve 3 noktalarında hesaplanan tasarım momentlerinden hangileri betonarme hesaba (boyuna donatı hesabına) esas alınmalı ve bunlar için hesaplanan donatı kirişin hangi tarafına konmalıdır ?
- 2 noktasında hesaplanan tasarım kesme kuvvetlerinden hangisi betonarme hesaba (sargı donatısı hesabına) esas alınmalıdır ?



Karakteristik yüklerden oluşan karakteristik iç kuvvetler $\equiv$ yük etkileri:



Sistemde sadece G (kalıcı), Q (hareketli) ve E (deprem) etkileri vardır. T (diğer) ve W (rüzgar) etkiler yoktur. Bu nedenle; depremin etkin olması durumuna ait

$$\begin{aligned}F_d &= 1.4G + 1.6Q \\F_d &= 1.0G + 1.0Q + 1.0E \\F_d &= 1.0G + 1.0Q - 1.0E \\F_d &= 0.9G + 1.0E \\F_d &= 0.9G - 1.0E\end{aligned}$$

yük birleşimleri kullanılarak tasarım kuvvetleri bulunacaktır.

a) Tasarım momentleri:

1 noktasında tasarım momentleri:

$$\begin{aligned}M_d &= 1.4 \cdot 71.46 + 1.6 \cdot 35.73 = +157.21 \text{ kN}\cdot\text{m} \\M_d &= 71.46 + 35.73 + (-436.93) = -329.74 \text{ " } \\M_d &= 71.46 + 35.73 - (-436.93) = +544.12 \text{ " } \\M_d &= 0.9 \cdot 71.46 + (-436.93) = -372.62 \text{ " } \\M_d &= 0.9 \cdot 71.46 - (-436.93) = + 501.24 \text{ " }\end{aligned}$$

2 noktasında tasarım momentleri:

$$\begin{aligned}M_d &= 1.4 \cdot (-142.92) + 1.6 \cdot (-71.46) = -314.42 \text{ kN}\cdot\text{m} \\M_d &= -142.92 - 71.46 + 313.08 = + 98.70 \text{ " } \\M_d &= -142.92 - 71.46 - 313.08 = -527.46 \text{ " } \\M_d &= 0.9 \cdot (-142.92) + 313.08 = +184.45 \text{ " } \\M_d &= 0.9 \cdot (-142.92) - 313.08 = -441.71 \text{ " }\end{aligned}$$

3 noktasında tasarım momentleri:

$$\begin{aligned}M_d &= 1.4 \cdot 163.33 + 1.6 \cdot 81.67 = +359.33 \text{ kN}\cdot\text{m} \\M_d &= 163.33 + 81.67 + 0 = +245.00 \text{ " } \\M_d &= 163.33 + 81.67 - 0 = +245.00 \text{ " } \\M_d &= 0.9 \cdot 163.33 + 0 = +147.00 \text{ " } \\M_d &= 0.9 \cdot 163.33 - 0 = +147.00 \text{ " }\end{aligned}$$

b) Tasarım kesme kuvvetleri:

1 noktasında tasarım kesme kuvvetleri:

$$\begin{aligned}V_d &= 1.4 \cdot (-35.73) + 1.6 \cdot (-17.86) = - 78.60 \text{ kN} \\V_d &= -35.73 - 17.86 + 125.00 = + 71.41 \text{ " } \\V_d &= -35.73 - 17.86 - 125.00 = -178.59 \text{ " } \\V_d &= 0.9 \cdot (-35.73) + 125.00 = + 92.84 \text{ " } \\V_d &= 0.9 \cdot (-35.73) - 125.00 = -157.16 \text{ " }\end{aligned}$$

2 noktasında tasarım kesme kuvvetleri:

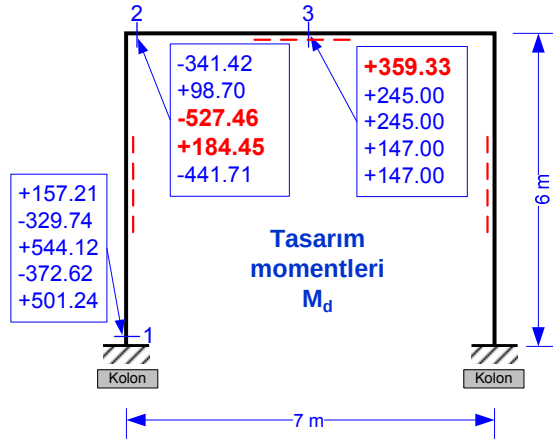
$$\begin{aligned}V_d &= 1.4 \cdot 175.00 + 1.6 \cdot 87.50 = +385.00 \text{ kN} \\V_d &= 175.00 + 87.50 + (-89.45) = +173.05 \text{ " } \\V_d &= 175.00 + 87.50 - (-89.45) = +351.95 \text{ " } \\V_d &= 0.9 \cdot 175.00 + (-89.45) = +68.05 \text{ " } \\V_d &= 0.9 \cdot 175.00 - (-89.45) = +246.95 \text{ " }\end{aligned}$$

c) Tasarım normal kuvvetleri:

1 noktasında tasarım normal kuvvetleri:

$$\begin{aligned}N_d &= 1.4 \cdot (-175.00) + 1.6 \cdot (-87.50) = -385.00 \text{ kN} \\N_d &= -175.00 - 87.50 + 89.45 = -173.05 \text{ " } \\N_d &= -175.00 - 87.50 - 89.45 = -351.95 \text{ " } \\N_d &= 0.9 \cdot (-175) + 89.45 = - 68.05 \text{ " } \\N_d &= 0.9 \cdot (-175) - 89.45 = -247.00 \text{ " }\end{aligned}$$

d) 2 ve 3 noktasında betonarme (boyuna donatı) hesabına esas alınacak tasarım momentleri:



Her noktada, örneğin 2 noktasında, 5 farklı tasarım momenti hesaplanmıştır. Bunlar bu noktada yüklerden oluşan gerçek moment değildi! Ancak, her birinin olma **olasılığı** vardır!. Gün olur biri, gün olur bir diğeri **oluşabilir**. Hiçbiri oluşmayabilir de! Oluşursa, kiriş bu momente dayanabilmelidir.

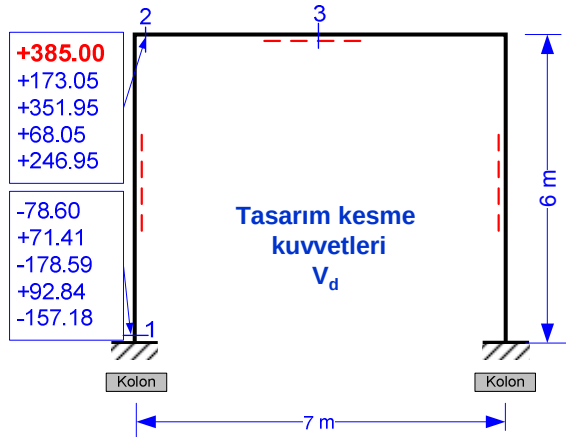
Pozitif momentler, etkidiği noktada, kirişin kesik çizgili tarafına, negatif momentler de diğer tarafına çekme uygulamaktadır.

Kirişin **pozitif** momentlerinden mutlak değerce en büyük olanı kirişin **alt tarafına** konulacak boyuna donatının hesabına; **negatif** momentlerden mutlak değerce en büyüğü de kirişin **üst tarafına** konulacak boyuna donatının hesabına esas alınmalıdır.

2 noktasında: Bu noktada $M_d = +184.45$ kN·m momenti için hesaplanan boyuna donatı kirişin **alt tarafına**; $M_d = -527.46$ kN·m için hesaplanan donatı da kirişin **üst tarafına** konmalıdır.

3 noktasında: Bu noktada $M_d = +359.33$ kN·m momenti için hesaplanan donatı kirişin **alt tarafına** konmalıdır. Bu noktada negatif moment olmadığından **üst tarafa donatı gerekmez**, momentin oluşturacağı basınç kuvvetini beton alır. Ancak, yönetmeliklerin ön gördüğü kadar **minimum montaj donatısı konulmalıdır**.

e) 2 noktasında kesme (sargı donatısı) hesabına esas alınacak tasarım kesme kuvveti



Kesme kuvvetinin işareti betonarme hesabın sonucunu değiştirmez. Mutlak değerce en büyük kesme kuvveti betonarme hesaba esas alınır.

2 noktasında: $V_d = +385.00$ kN kesme kuvveti betonarme hesaba (sargı donatısı hesabına) esas alınmalıdır.

NOT: 1 noktasında hesaplanan tasarım kuvvetleri burada yorumlanmamıştır. Bunun nedeni kolonların davranışının henüz incelenmemiş olmasıdır. Kolonlarda durum daha da karmaşıktır. Kolonların davranışı ele alındıktan sonra konuya dönecektir.

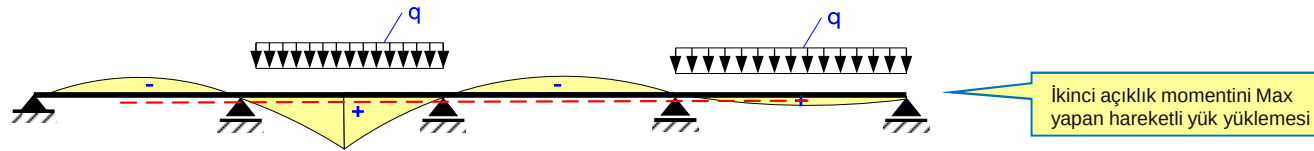
Hareketli yük düzenlemesi

... Hareketli yük elemanda en elverişsiz kesit zorlamalarını yaratacak biçimde düzenlenecektir (TS 500:2000, madde 6.3.3).

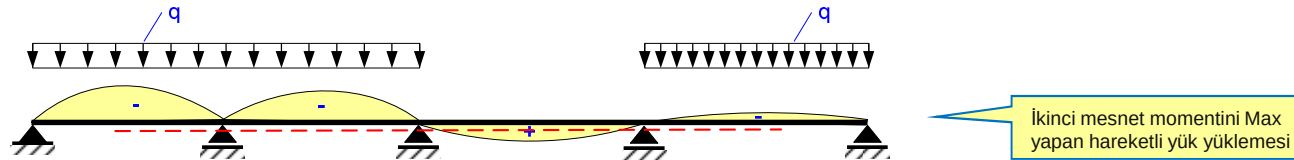
SÜREKLİ KİRİŞLERDE:

Hareketli yük; tasarım etkileri araştırılan kesitte en büyük zorlamayı oluşturacak şekilde kirişe yüklenir. Sürekli kiriş tesir çizgileri görünümüne bakılarak; hareketli yük hangi açıklıklara yüklendiğinde en büyük etkinin oluşacağı belirlenebilir (dama yüklemesi).

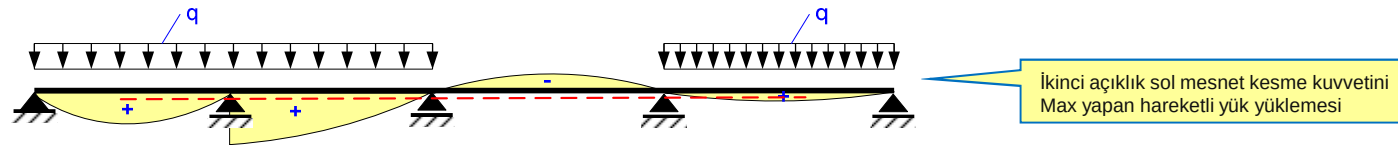
Açıklık momentini en büyük yapan yükleme: En büyük momenti aranan açıklık q ile yüklenir. Komşu açıklıklar bir boş bir dolu (q ile) olarak düzenlenir.



Mesnet momentini en büyük yapan yükleme: En büyük momenti aranan mesneden sağ ve sol açıklığı q ile yüklenir. Diğer açıklıklar bir boş bir dolu (q ile) olarak düzenlenir.



Mesnet kesme kuvvetini en büyük yapan yükleme: En büyük kesme kuvveti aranan mesneden sağ ve sol açıklığı q ile yüklenir. Diğer açıklıklar bir boş bir dolu (q ile) olarak düzenlenir.



ÇOK KATLI ÇOK AÇIKLIKLI ÇERÇEVELERDE:

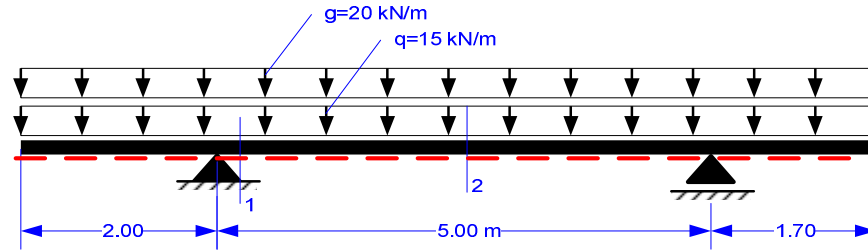
Gerçekte el hesabı yapılamayacak kadar farklı yükleme durumu vardır. Ancak, yeter doğrulukta sonuç veren beş farklı yükleme ile yetinilebilir (ERSOY/ÖZCEBE, Sayfa 176).

ÖRNEK: Hareketli yük düzenlemesi

Aşağıdaki sürekli kirişte g sabit, q hareketli karakteristik yüklerdir.

- a) 1 ve 2 noktalarındaki tasarım momentini,
- b) 1 noktasındaki tasarım kesme kuvvetini

belirleyiniz.



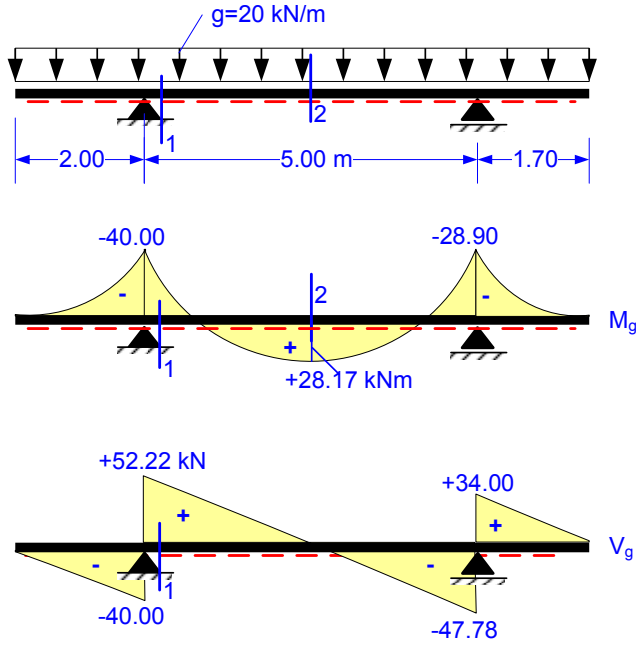
ÇÖZÜM:

Çözüm için aşağıdaki yüklemeler ayrı ayrı yapılmalıdır:

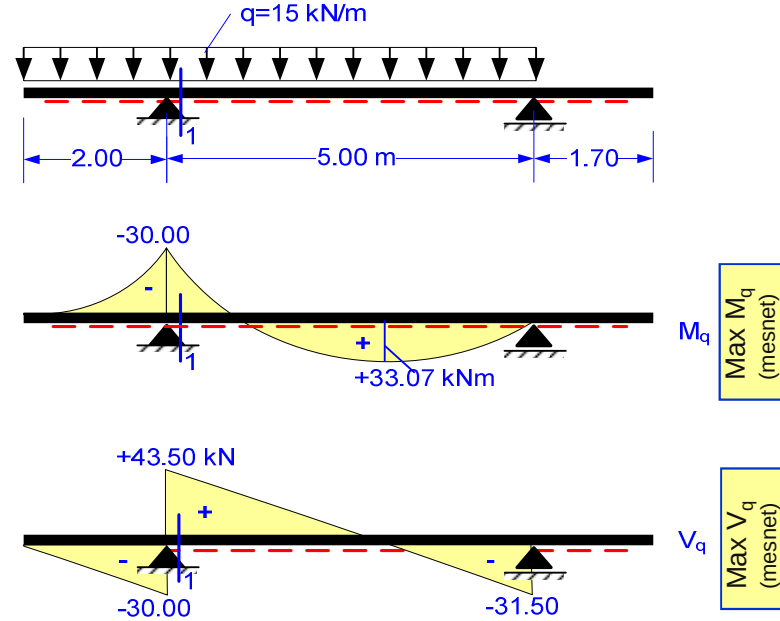
- a) Sistemin tüm açıklıkları g ile yüklenir. Moment ve kesme diyagramları çizilir.
- b) 2 noktasındaki açıklık momentini en büyük yapan q yüklemesi yapılır: Orta açıklık q ile yüklü, konsollar boş. Bu yüklemeden hareketli yükün 2 noktasında oluşturduğu en büyük moment belirlenir.
- c) 1 noktasındaki mesnet momentini en büyük yapan q yüklemesi yapılır: Orta açıklık q ile yüklü, sol konsol q ile yüklü, sağ konsol boş. Bu yüklemeden hareketli yükün 1 noktasında oluşturduğu en büyük moment belirlenir.
- d) 1 noktasındaki kesme kuvvetini en büyük yapan q yüklemesi yapılır: Orta açıklık q ile yüklü, sol konsol q ile yüklü, sağ konsol boş. Bu yüklemeden hareketli yükün 1 noktasında oluşturduğu en büyük kesme kuvveti belirlenir.

Sağ konsol, sol konsoldan daha kısadır. Sağ mesnet moment ve kesme kuvvetleri 1 noktasında hesaplanacak olanlardan daha küçük olacaktır. Bu nedenle sağ mesnet etkileri için q yüklemesine gerek yoktur.

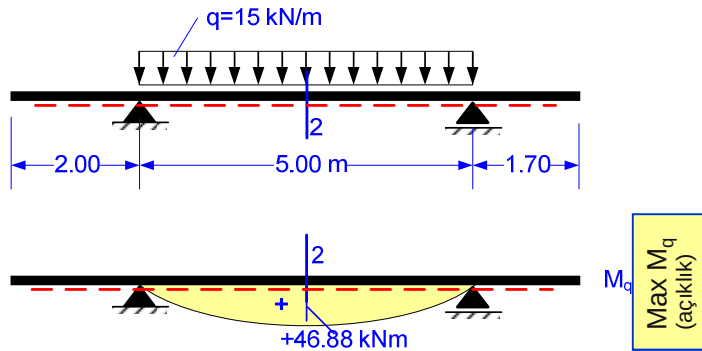
Sabit yük g yüklemesi:



1 noktasında max M ve Max V oluşturan q yüklemesi:



2 noktasında max M oluşturan q yüklemesi:



1 noktasında tasarım momenti:

$$M_d = 1.4 \cdot (-40.00) + 1.6 \cdot (-30.00) = -104.00 \text{ kNm}$$

1 noktasında tasarım kesme kuvveti:

$$V_d = 1.4 \cdot 52.22 + 1.6 \cdot 43.50 = +142.71 \text{ kN}$$

2 noktasında tasarım momenti:

$$M_d = 1.4 \cdot 28.17 + 1.6 \cdot 46.88 = +114.45 \text{ kNm}$$

1. Deprem etkin olması durumunda tasarım etkileri sağdaki birleşimlerden belirlenir. İlk üç birleşimde yük etkilerinin katsayıları en az 1(bir) dir ve Q etkisi vardır. Son bağıntıda Q etkisi yoktur, neden? Ayrıca G etkisinin katsayısı 1(bir) den küçüktür, neden?

$$\begin{aligned} F_d &= 1.4G + 1.6Q \\ F_d &= G + 1.2Q + 1.2T \\ F_d &= G + Q \mp E \\ F_d &= 0.9G \mp E \end{aligned}$$

2. TS500:2000 yönetmeliğinde tanımlı betonların gerilme-birim kısalma eğrilerini aynı $\sigma_c - \epsilon_c$ koordinat eksen takımında karşılaştırmalı olarak çiziniz.

3. TS708:2010 yönetmeliğinde tanımlı betonarme çeliklerinin(hasır donatı çelikleri hariç) gerilme-birim uzama eğrilerini aynı $\sigma_s - \epsilon_s$ koordinat eksen takımında karşılaştırmalı olarak çiziniz.

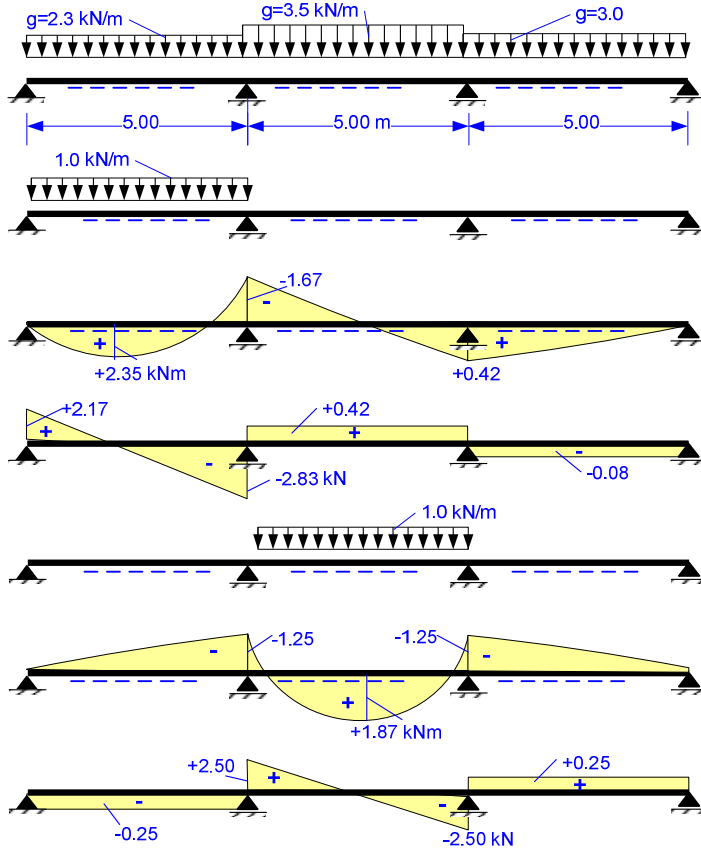
4. Kesit boyutları, malzemesi(beton, çelik), boyuna donatı düzeni ve miktarı aynı olan K1, K2 ve K3 adlı kolonlar aynı koşullarda imal edilmişlerdir. Farklı olan etriye çap ve adımları aşağıda verilen bu kolonların gerilme-kısalma eğrilerini aynı $\sigma_c - \epsilon_c$ koordinat eksen takımında karşılaştırmalı olarak çiziniz.

Kolon	Etriye çapı (mm)	Etriye adımı (mm)
K1	10	200
K2	8	200
K3	10	150

5. C25/30 betonundan hazırlanan standart silindir bir numune 28. gün sonunda 320 kN luk sabit bir kuvvet ile yüklenmiştir. Numunenin kırılıp kırılmayacağını, kırılırsa tahminen ne kadar zaman sonra kırılacağını belirtiniz.

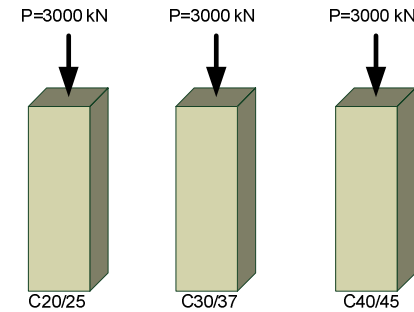
6. Üç açıklıklı simetrik bir kirişin 1.0 kN/m lik açıklık yüklerine ait moment ve kesme diyagramları sağda bilgi olarak verilmiştir. Kiriş şeklide gösterilen g sabit (karakteristik) ve q=2.8 kN/m hareketli (karakteristik) yüklerini taşıyacaktır. Sabit yükün açıklıklarda olması veya olmaması durumlarını dikkate alarak aşağıdaki şıkları cevaplayınız.

a) Hangi açıklıkta en büyük tasarım momenti oluşur, değeri nedir?
b) Hangi mesnette en büyük tasarım momenti oluşur, değeri nedir?
c) Hangi açıklıkta en büyük tasarım kesme kuvveti oluşur, değeri nedir?



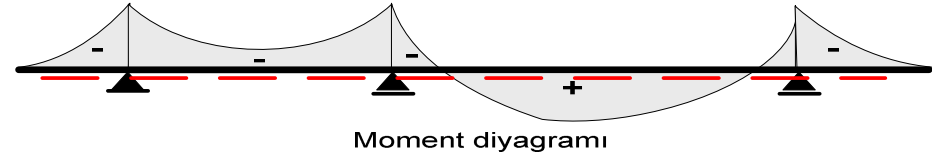
7. 400x400 mmxmm kesitli ve C25/30 betonundan üretilmiş bir kolonun sünme etkisiyle kırılmaması için eksenel yükü en fazla ne kadar olmalıdır?

8. Aşağıda görülen beton kolonların kesitleri 400x400 mmxmm dir ve C20/25, C30/37 ve C40/45 betonları ile üretilmişlerdir. Sabit eksenel P kuvveti ile yüklenen bu kolonların kırılma riski var mıdır, kırılırsa hangileri ve yaklaşık ne kadar zaman sonra kırılır?

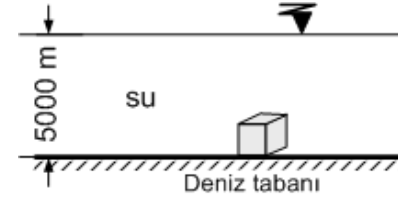


9. Bir beton numune üretildikten sonra 1 ay suda, 3 ay kuru havada, 3 ay suda ve sonra sürekli kuru havada tutuluyor. Ayrıca 7. ay sabit bir yük ile yükleniyor. Bu numunenin kısalma-zaman diyagramını tahmini olarak çiziniz.

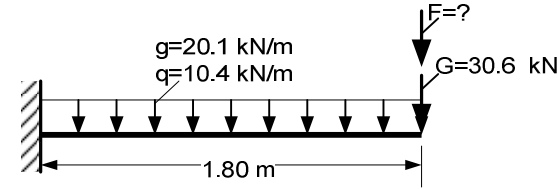
10. Sürekli bir kirişin moment diyagramının görünümü verilmiştir. Kirişte oluşabilecek çatlakları çiziniz. Betonun ezilebileceği noktaları gösteriniz. Kiriş için donatı öneriniz.



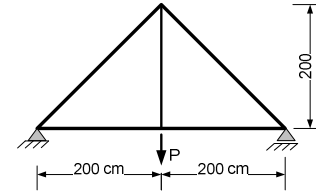
11. Kenarları 1 metre olan ve C25/30 betonundan imal edilmiş beton küp blok 5000 metre derinliğinde olan deniz tabanına yerleştirilmiştir. Bu betonun dayanımı ne kadar olur? $\gamma_{su} = 10$ kN/m³. Numune basınç nedeniyle kırılır mı?



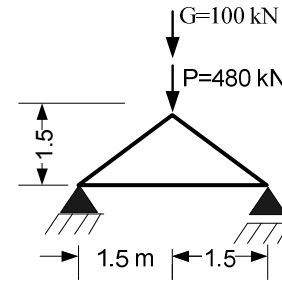
12. Sağdaki konsol kirişte yükler karakteristiktir. G ve g sabit, q hareketli ve F deprem kuvvetidir. Deprem kuvveti düşey yüklerin toplamının %40 dır. Mesnetteki a) Tasarım momentlerini hesaplayınız. b) Tasarım kesme kuvvetlerini hesaplayınız. c) Tasarım momentlerinden hangisine göre hesaplanan boyuna donatı kirişin hangi tarafına konmalıdır? d) Hangi tasarım kesme kuvveti etriye hesabında kullanılmalıdır.



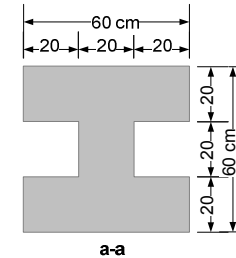
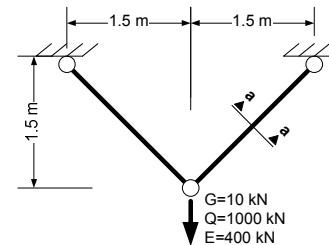
13. Sağda görülen kafes-kiriş sistem C30/37 betonundan donatısız imal edilmiştir. Elemanların kesitleri 300x300 mmxmm dir. P sabit yüküdür. Sistemin güvenli taşıyabileceği en büyük P yükünü belirleyiniz.



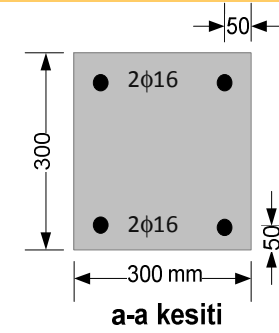
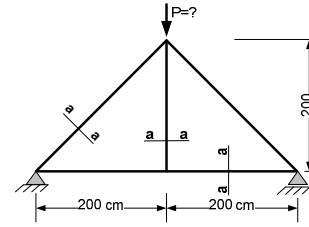
14. Sağda görülen kafes sistemde elemanlar 400 mmx400 mm boyutundadır. G sabit, P hareketli karakteristik yüküdür. Yatay elemana konulması gereken donatıyı hesaplayınız ve bu elemanın kesitini çiziniz. Malzeme C30/37-B 420C, şantiye denetimi iyidir.



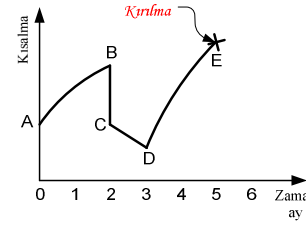
15. İyi denetimli bir şantiyede üretilecek betonarme kafes sistem ve eleman kesiti sağda verilmiştir. G sabit, Q hareketli E deprem yüküdür. Sistemin bu yükleri güvenli taşıabilmesi için gerekli donatıyı hesaplayınız ve kesiti çiziniz. $\phi 10$ konstrüktif etriye kullanınız. Malzeme: C35/45 ve S 420, beton örtüsü: 5 cm



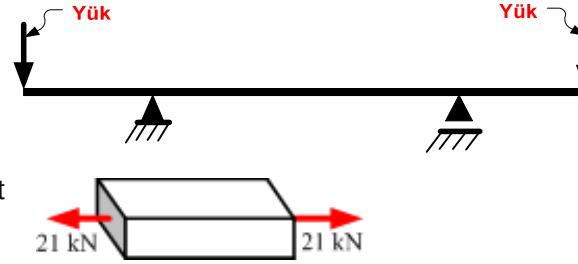
16. Sağda görülen kafes-kiriş sistem C30/37-B 420C malzemesi ile iyi denetimli bir şantiyede imal edilmiştir. Tüm elemanların kesit ve donatıları aynıdır. Elemanların kendi ağırlığı ihmal edildiği varsayılarak sistemin güvenli taşıyabileceği en büyük P yükünü belirleyiniz.



17. Bir beton numuneye ait kısalma-zaman diyagramı verilmiştir. A, B, C ve D noktalarında kısalmanın artması veya azalmasının nedeni ne olabilir? Numune neden kırılmıştır? Kısaca açıklayınız.



18. Dikdörtgen kesitli kirişin şekilde görülen yük etkisindedir. Nerelere donatı konulmalıdır? Kiriş açılımını çizerek donatı öneriniz.



19. 10x10 cm² kesitli donatısız bir beton numune çekme deneyinde 21 kN eksenel kuvvet altında kopmuştur. Bu bilgiyi kullanarak betonun çekme dayanımını, basınç dayanımını, elastisite ve kayma modülünü belirleyiniz, TS 500:2000 de verilen değerler ile karşılaştırınız. Bu yolla bulunan değerlere güvenilir mi?

20. Bir inşaatta CEM I 32.5 N çimentosu ile beton dökülmüş, ertesi gün yağmur yağmaya başlayarak 30 gün süreyle devam etmiş, bu sürede hava sıcaklığı da 20⁰ C civarında seyretmiştir.

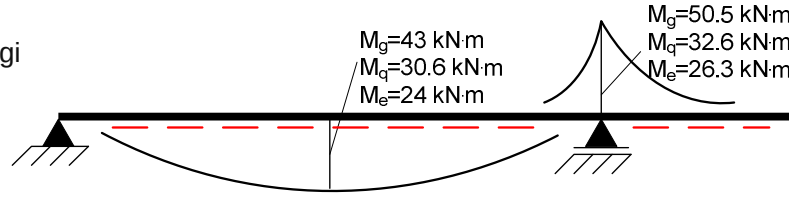
- Betona kür yapılması gerekir mi?
- Büzülme olur mu?
- Sünme olur mu?
20. gün sonunda, yedek dikmeler dahil, tüm iskele-kalıp sökülebilir mi?

21. Bir inşaat için S3 kıvamlı C25/30 betonu sipariş edilmiştir. Gelen betonların çökmesi 140 mm olarak belirlenmiş, alınan ilk 6 numunenin 28. gün dayanımları aşağıdaki tablodaki gibi olmuştur. TS EN 206-1:2002 ye göre betonun kabul edilip edilmeyeceği belirlenecektir.

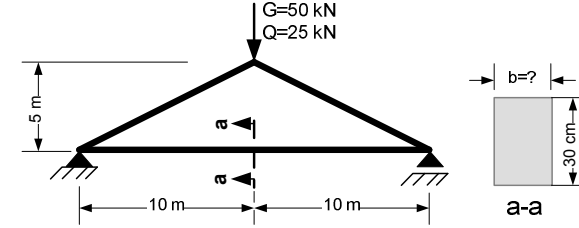
	Numune no					
	1	2	3	4	5	6
Dayanım (N/mm ²)	28.5	33	33.5	21.5	29	29

- İlk 6 numuneye göre bu beton kabul edilebilir mi?
- Aynı inşaatın alınan toplam numune sayısı zamanla 40 a varmıştır. Bunlarda ortalama dayanım 28.5 N/mm², standart sapma 2.1 N/mm², en düşük dayanım 21.5 N/mm² olmuştur. Bu betonlar kabul edilebilir mi?

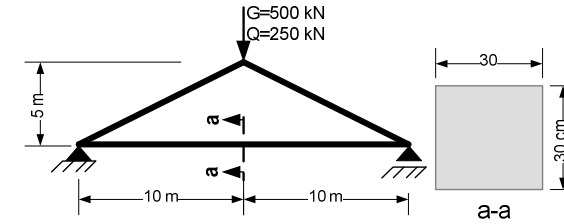
22. Bir kirişin yük etkileri sağda verilmiştir. Çekme donatısı hesabında kullanılacak tasarım momentlerini belirleyiniz. Hangi tasarım momenti için donatı kirişin hangi tarafına konmalıdır?



23. Şekilde görülen **beton** kafes kiriş C35/45 betonunu ile Eskişehir merkezde inşa edilecektir. Verilen yükleri **güvenle** taşıyabilmesi için a-a kesitinin genişliği en az ne olmalıdır.

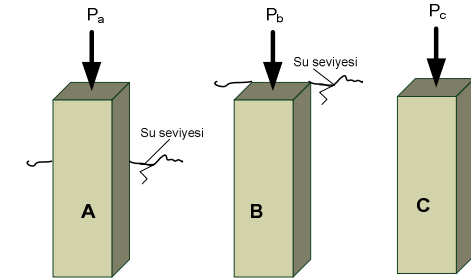


24. Şekilde görülen **betonarme** kafes kiriş C35/45 betonu ve B 420C çeliği ile Eskişehir merkezde inşa edilecektir. Verilen yükleri **güvenle** taşıyabilmesi için a-a kesitine konulması gereken donatı alanı ne olmalıdır. Uygun çelik çubukları seçerek kesiti çiziniz



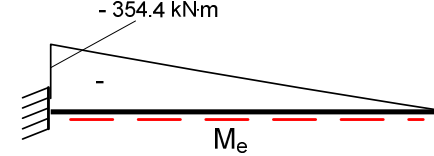
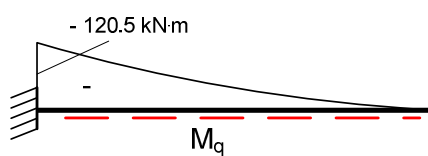
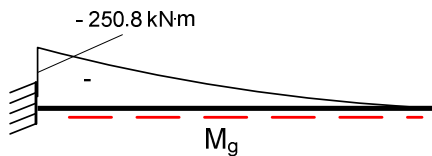
25. Hazır beton temin edilemeyen bir şantiyedesiniz, bir katın beton karışımını hazırlamanız gerekiyor. İnşa edeceğiniz yapının projesinde malzeme C16/20, S 420, kiriş ve kolonların en küçük boyutları 250 mm, donatı aralıkları 25 mm, döşeme kalınlıkları 100 mm, net beton örtüsü 30 mm olarak gösterilmiştir. Şantiyenizde her tür agrega (ince kum, kalın kum, çakıl) ve uygun su olduğu varsayımıyla karışım reçetesi hazırlayınız.

26. Sağda görülen A, B ve C kolonları aynı kesitli, aynı malzeme ve özenle ile üretilmiştir. A kolonu kısmen, B kolonu tamamen su içindedir. C kolonu su seviyesi üstündedir. P_a , P_b ve P_c yükleri kolonlar kırılıncaya kadar yavaş yavaş artırılmaktadır.



- Teorik olarak, kolonların beklenen kırılma **sırası** nedir (P_a , P_b , P_c kırılma yüklerinden hangisi en büyük/en küçüktür)
- Hangi kolonun hangi noktalarında **öncelikle** kırılma beklenir.

27. Bir konsol kirişin karakteristik sabit, hareketli ve deprem yüklerinden oluşan moment diyagramları verilmiştir. Tasarım momentlerini belirleyiniz. Hangi moment için donatı kirişin hangi tarafına konulmalıdır?

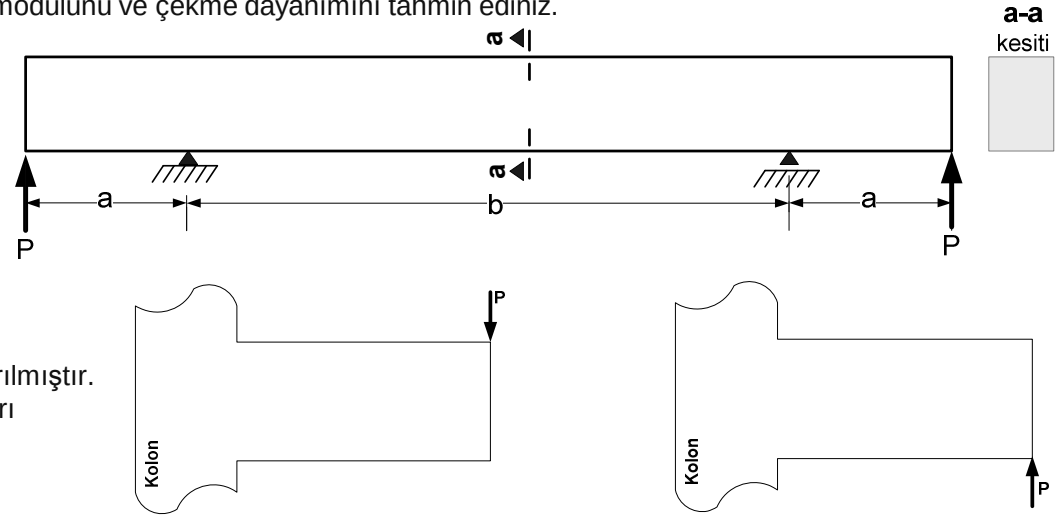


28. Bir yapının kat betonu döküldüğü gün hava sıcaklığı 20°C iken, 4 gün sonra sıcaklık 4 gün süre ile 3°C olmuş ve daha sonraki günlerde sürekli 20°C civarında olmuştur. Betonda kullanılan çimento CEM I 32.5 N dir, herhangi bir katkı kullanılmamıştır. Öngörülen kalıp sökme süresini sağdaki tabloda gün olarak veriniz.

Kullanılan Çimentonun dayanım sınıfı	Kiriş yan kalıpları, kolon ve perde kalıpları	Küçük açıklıklı döşemelerin dikme ve kalıpları	Kiriş ve büyük açıklıklı döşemelerin dikme ve kalıpları	Yedek dikmeler
32.5N				

29. Eski bir yapının beton sınıfını belirlemek için çok sayıda numune alınmış; basınç deneyi sonucunda ortalama dayanım 28.9 N/mm^2 , standart sapma 6 N/mm^2 , en küçük dayanım 17 N/mm^2 olarak bulunmuştur. Yapıdaki betonun sınıfını, elastisite modülünü ve çekme dayanımını tahmin ediniz.

30. Sağda görülen konsollu kirişin P yükü için kesme ve moment diyagramını çiziniz. Kirişin muhtemel çatlaklarını ve ezilme noktalarını gösteriniz. Çatlakları önlemek için önereceğiniz donatıları ve açılımını çiziniz.

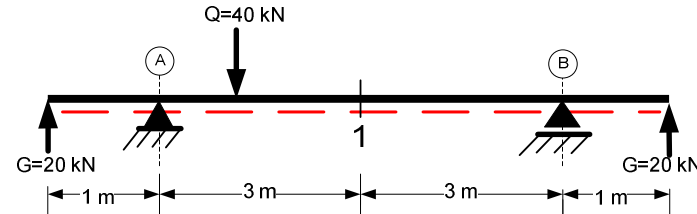


31. Sağdaki konsol kirişlerde P yükü beton ezilinceye kadar yavaş yavaş artırılmıştır. Muhtemel çatlakları ve ezilme noktasını şekil üzerinde gösteriniz. Bu çatlakları önlemek için donatı öneriniz, donatının açılımını çiziniz.

32. Mevcut bir yapının beton sınıfını belirlemek üzere çok sayıda ölçüm yapılmış ve ortalama basınç dayanımı 21 N/mm^2 , en küçük basınç dayanımı 17 N/mm^2 , standart sapma 3.5 N/mm^2 bulunmuştur. TS EN 206-1:2004 e göre bu betonun sınıfı ne kabul edilebilir? TS 500:2000 e göre Elastisite modülü ve çekme dayanımı ne alınabilir.

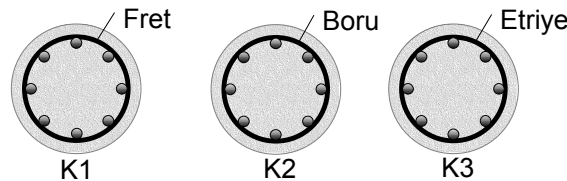
33. Aynı koşullarda, aynı özenle hazırlanan A ve B özdeş numuneleri 28 gün boyunca laboratuvar koşullarında saklanmış, sonra normal çevre koşullarına çıkartılmıştır. A numunesi 28 inci gün, B numunesi 60 inci gün aynı sabit bir yük ile yüklenerek kısalmaları zaman zaman ölçülmüştür. A ve B numunelerinin muhtemel Kısalma-Zaman eğrilerini aynı eksen takımında çiziniz.

34. Aşağıda verilen kiriş G sabit, Q hareketli tekil yük etkisindedir, başkaca yük yoktur. Hareketli yük sadece A-B arasında hareket edebilmektedir. 1 nolu kesitteki tasarım momentini bulunuz.

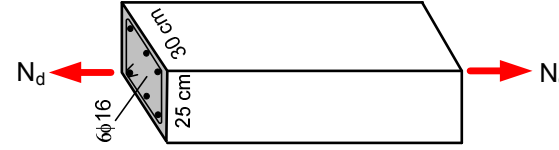


35. 34. sorudaki kirişin neresine ne donatısı konulmalıdır? Boyuna kesit çizerek ve donatı açılımlarını vererek gösteriniz. Çubukların üzerine amacını (çekme, montaj, etriye, ...) yazarak belirtiniz.

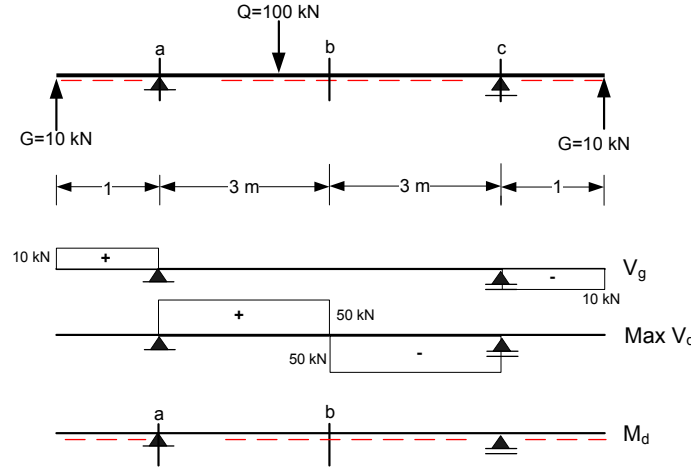
36. Kesitleri görülen K1, K2 ve K3 kolonlarının sadece sargıları farklı tiptendir. Tahmini gerilme-birim kısalma diyagramlarını aynı eksen takımında karşılaştırmalı olarak çiziniz.



41. Sağda verilen eleman C30/37 betonu ve B 420C çeliği ile hazırlanmıştır. Elemanda 6 Φ 16 boyuna çelik bulunmaktadır. Çelik birim uzamasının $\epsilon_s=0.001$ i aşmaması istenmektedir. N_d tasarım kuvveti en çok ne kadar olabilir?

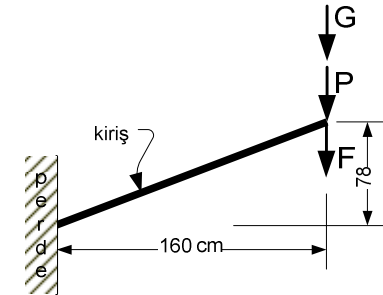


42. Sağdaki kirişte G karakteristik sabit, Q karakteristik hareketli yüküdür. Q yükü a ve c noktaları arasında gezmektedir. Bu yüklere ait V_g ve V_q kesme etkileri verilmiştir. Kirişin a ve b noktalarındaki tasarım momentlerini belirleyiniz ve donatının kirişin hangi tarafına konulacağını yazınız.



43. Bir kenarı 30 cm olan ve 2000 kN eksenel yük taşıması gereken dikdörtgen kesitli bir kolon C25/30 betonu ile üretilmek isteniyor. Kolonun sünme nedeniyle kırılmaması için diğer kenarı en az ne kadar olmalıdır?

44. Rijit bir perdeye ankastre mesnetlenmiş betonarme bir konsol inşa edilecektir. $G=5$ kN, $P=10$ kN, $F=4$ kN konsolun ucuna etkiyen sırasıyla sabit hareketli ve deprem kuvvetleridir. Mesnet noktasındaki tasarım moment ve kesme kuvvetlerini hesaplayınız.



45. Şekilde görülen ve P yükü etkisinde olan **beton** kirişinde oluşabilecek çatlakları şekil üzerine çizin. Çatlakları önlemek için donatı öneriniz, donatının açılımını çizin.

