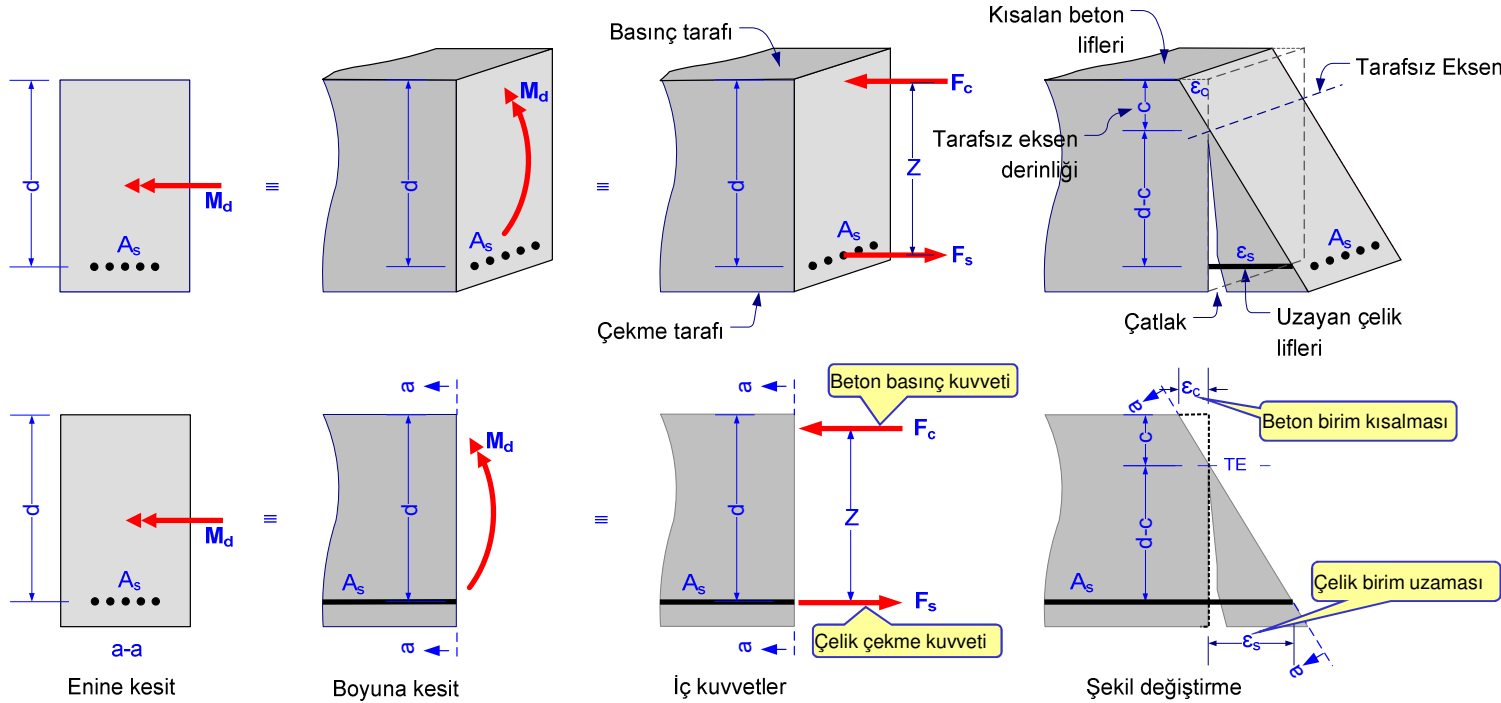
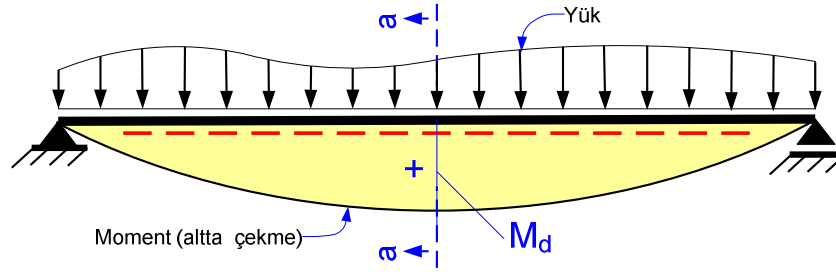


Moment \equiv kuvvet çifti \rightarrow Çekme ve basınç kuvveti \rightarrow şekil değiştirme \rightarrow Kesitte dönme



M_d : Kesitteki tasarım momenti
 A_s : Kesitteki toplam çekme donatısı
 d : Faydalı yükseklik (çekme çubukların ağırlık merkezinin en çok kısalan beton lifine mesafesi)
 F_s : Çelikteki toplam çekme kuvveti
 F_c : Betondaki basınç kuvveti
 z : Moment kolu
 ϵ_s : Çelik birim uzaması
 ϵ_c : En çok zorlanan beton lifindeki birim kısalma
 c : Tarafsız eksenin derinliği

Yatay denge:
 $F_s = F_c$ (kuvvet çifti)

Moment:
 $M_d = F_s z = F_c z$

Şekil değiştirme bağıntısı (süreklilik):

$$\frac{\epsilon_s}{\epsilon_c} = \frac{d - c}{c}$$

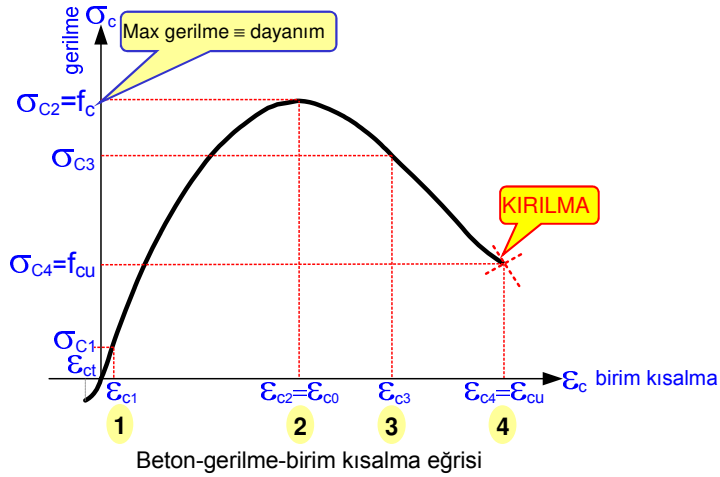
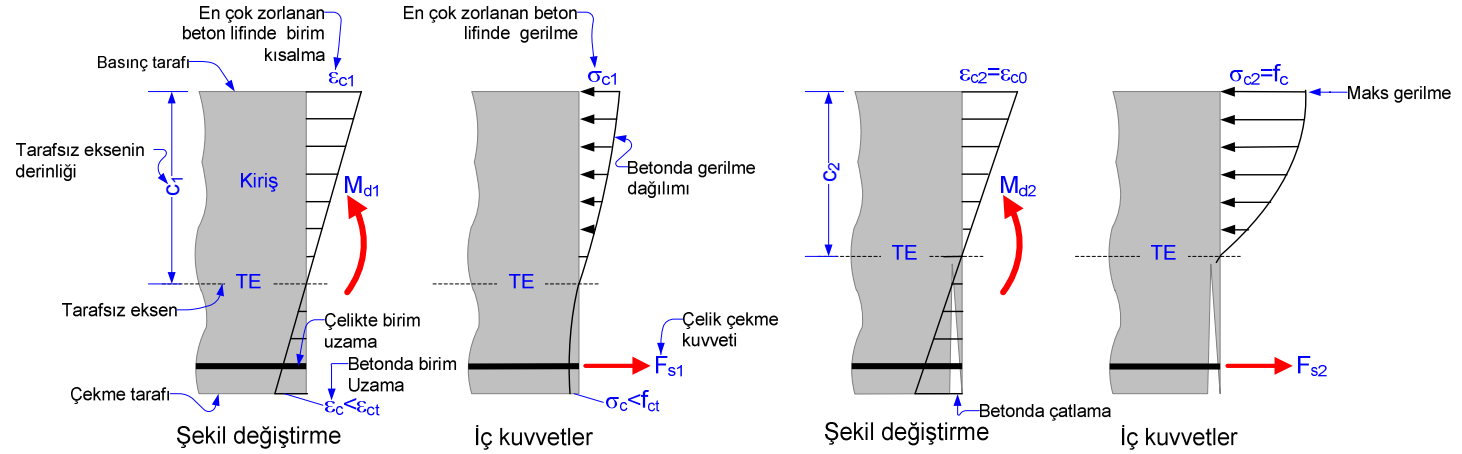
Kirişe etkiyen M_d momenti F_c ve F_s den oluşan kuvvet çiftine eşdeğerdir, $F_c = F_s$ dir ve z moment koludur. Kirişin üst lifleri F_c basınç kuvvetinin, alt lifleri F_s çekme kuvvetinin etkisindedir. Betonun basınç dayanımı yüksek olduğundan F_c kuvvetini taşıyabilir. Çekme kuvvetini beton taşıyamaz, çatlaklar. F_s çekme kuvvetinin tamamını toplam alanı A_s olan donatı karşılamak zorundadır. Betonun üst lifleri ϵ_c birim kısalmasına, çelik çubuklar ϵ_s birim uzamasına uğrar, kesit döner. Tarafsız eksen en çok kısalan liften c kadar aşağıda konumlanır. Tarafsız eksen üzerindeki noktalarda ne uzama ne de kısalma vardır. Kesitin döndükten sonra da düzlem kaldığı varsayılır (BERNOULLI/NAVIER hipotezi). Bu varsayım, şekil değiştirme diyagramının kesit yüksekliğince doğrusal değiştiği anlamındadır, hesapları basitleştirir.

Kiriş kesitindeki moment

$$M_{d1} < M_{d2} < M_{d3} < M_{d4}$$

olacak şekilde, beton ezilmeye kadar, yavaş yavaş artırılırsa şekil değiştirme ve iç kuvvetler 1, 2, 3 ve 4 nolu şekillerde gösterildiği gibi olur.

Şekil değiştirme diyagramında kısalmalar sağa uzamalar sola doğru çizilmiştir.



1
 $\epsilon_c < \epsilon_{ct}$
 $\sigma_{c1} \ll f_c$
 Beton çatlamamış, max basınç gerilmesine ulaşmamış, ezilmemiş. F_{s1} çelikte oluşan kuvvettir. Beton çatlamadığından, az da olsa, çekme gerilmesi taşımaktadır.

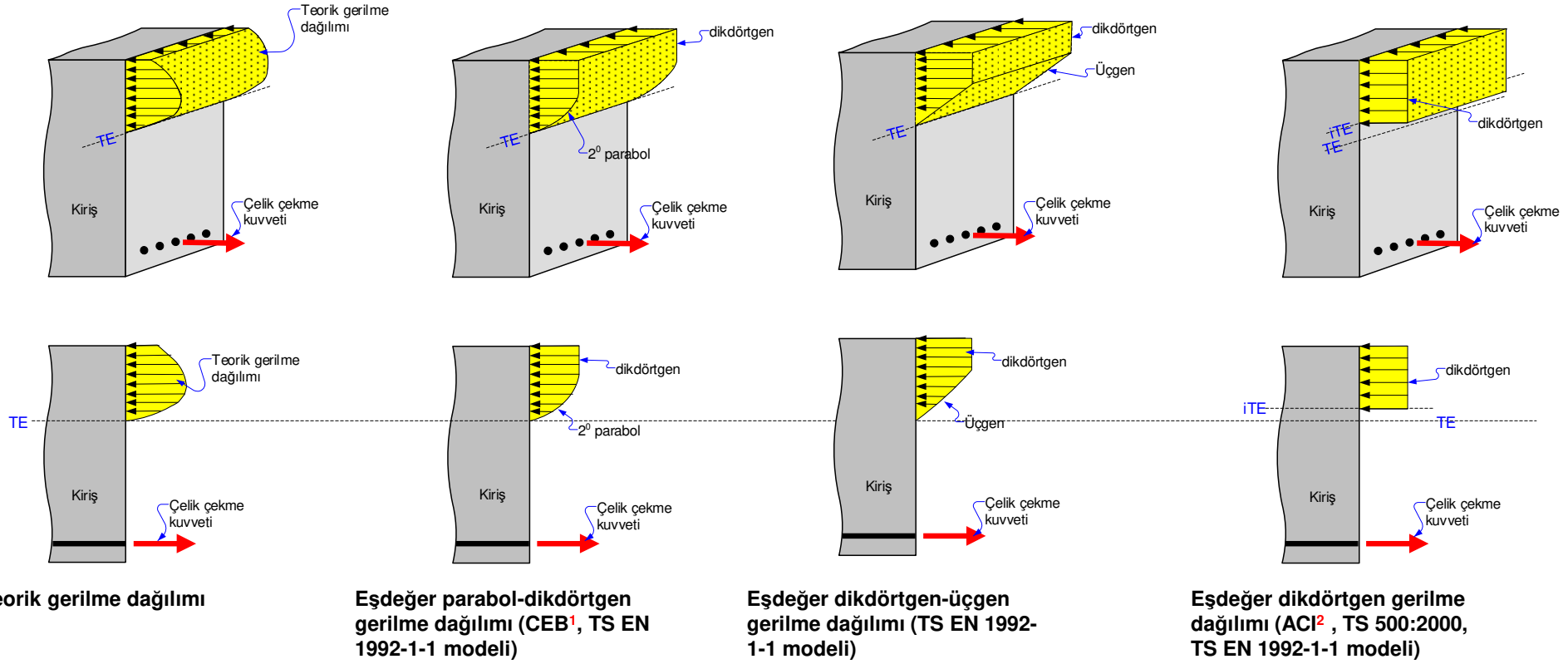
2
 $\epsilon_{c2} = \epsilon_{c0}$
 $\sigma_{c2} = f_c$
 Maks gerilmeye ulaşılmış, beton çatlamış, taraflıksız eksen yukarı kaymış beton ezilmemiş. Beton çatladığından çekme gerilmesi alamaz, F_{s2} çelik kuvveti momentin çekme bileşenine eşittir.

3
 $\epsilon_{c0} < \epsilon_{c3} < \epsilon_{cu}$
 $\sigma_{c3} < f_c$
 Şekil değiştirme artmış, dış lifte gerilme azalmış. Maks gerilme alt komşu life kaymış (**betonarmede uyum**). Çatlak genişlemiş ve yükselmiş, taraflıksız eksen daha da yukarı kaymış, ancak beton ezilmemiş. Tüm çekme kuvvetini çelik almaktadır.

4
 $\epsilon_{c4} = \epsilon_{cu}$
 $\sigma_{c4} = f_{cu} < f_c$
 Maks gerilme daha da aşağıdaki liflere kaymış. Çatlak aşırı genişlemiş ve yükselmiş, taraflıksız eksen daha da yukarı kaymış. Dış lif ezilme (**kırılma**) kısalmasına ulaşmış. Kesit taşıma gücüne erişmiş, daha fazla moment taşıyamaz. Gerilme dağılımı kırılma anındaki nihai dağılımı göstermektedir.

GÖÇME ANINDA DURUM

Teorik gerilme dağılımının basitleştirilmiş eşdeğer modelleri



Teorik gerilme dağılımı deneysel olarak belirlenmiş kırılma anındaki dağılımdır. Betonun yaşına, yükleme hızına, sargı donatısına, kesit geometrisine ve diğer bir çok nedene bağlı olarak az yada çok değişir. Her bir durum için farklı bir gerilme dağılımı vermek imkansızdır. Bu nedenle, doğruluğu deneysel olarak kanıtlanmış, **eşdeğer gerilme dağılımı** modelleri kullanılır. Hesaplar açısından dağılımın şeklinden çok, gerilmenin bileşke kuvvetinin(=gerilme bloğunun hacminin=beton basınç kuvvetinin) değeri ve bu kuvvetin etki ettiği nokta önemlidir. Çünkü, momentin değeri bu kuvvetin değerine ve etki ettiği noktaya bağlıdır. Hesapları basitleştirmek açısından, yaklaşık olarak aynı momenti veren (=eşdeğer kuvveti ve bu kuvvetin etkime noktası yaklaşık aynı olan), daha basit bir gerilme dağılımı kullanılır.

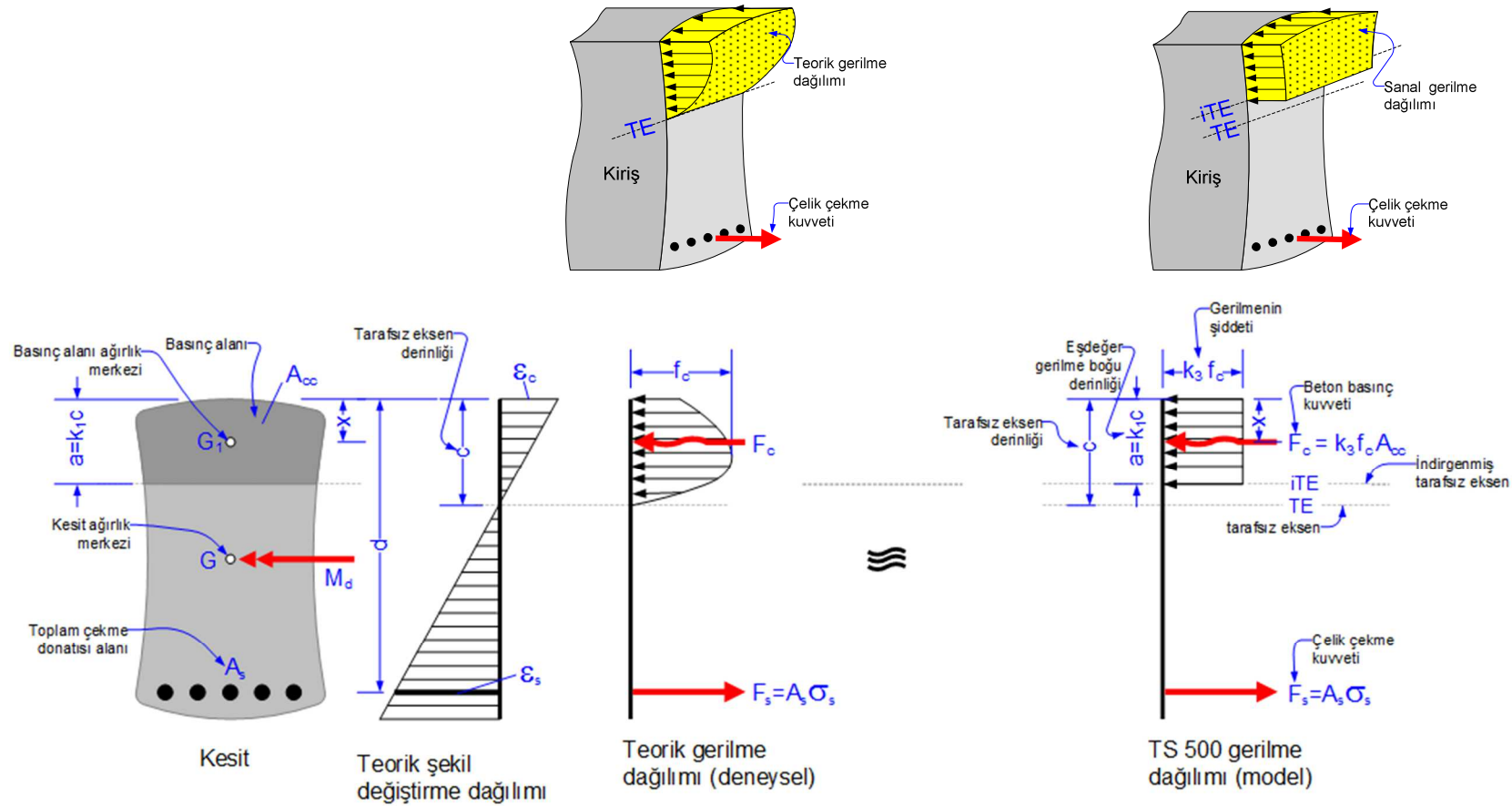
Yukarıdaki şekillerde teorik gerilme dağılımı ve yaygın olarak kullanılan basitleştirilmiş üç eşdeğer model(=sanal gerilme dağılımı) hem perspektif hem de düzlem olarak verilmiştir. Her üç model Avrupa birliği ülkeleri yönetmeliklerinde ve TS EN 1992-1-1 de yer almaktadır. **Eşdeğer dikdörtgen gerilme dağılımı** modeli en basit olanıdır, gerilmenin değeri her noktada aynıdır. Bu üç farklı modelin sonuçları arasındaki fark önemsenmeyecek kadar azdır (%4 civarında).

Hesaplarda kolaylık sağlamak amacıyla, TS 500:2000 doğruluğu kanıtlanmış herhangi bir eşdeğer gerilme dağılımı modelinin kullanımına izin vermektedir(Bak: madde 7.1). Bu nedenle her üç model ile de hesap yapılabilir. Daha basit olan **eşdeğer dikdörtgen gerilme dağılımı** modeli çoğunlukla tercih edilmektedir. Ders notlarının devamında bu model kullanılacaktır.

¹ CEB: Comité Euro-International du Beton

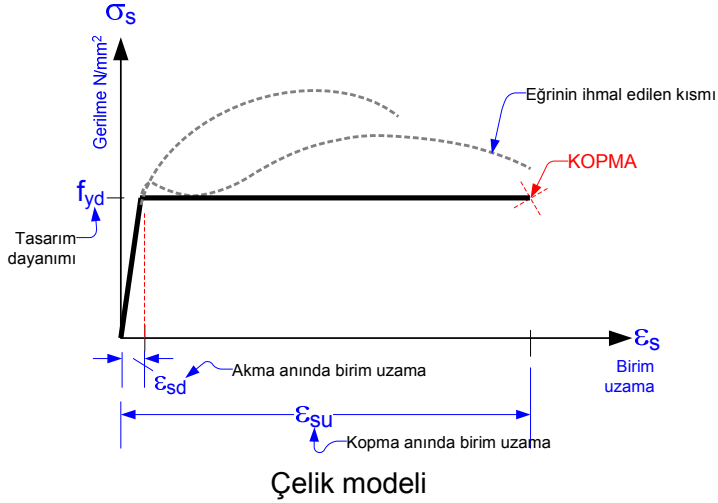
² ACI: American Concrete Institute

Teorik gerilme bloğu ve eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu (TS 500:2000)



- Şekil değiştirme diyagramını kesit yüksekliğince doğrusaldır.
- Beton basınç kuvveti F_c gerilme bloğunun hacmine eşittir.
- F_c kuvveti gerilmenin yayıldığı basınç alanının ağırlık merkezi olan G_1 noktasına etkir.
- Teorik gerilme dağılımını kullanarak F_c beton basınç kuvvetini ve etkidiği noktayı belirlemek zorluk yaratır.
- Hesapları basitleştirmek için teorik gerilme dağılımını yerine **eşdeğer dikdörtgen gerilme dağılımı** kullanılabilir (TS 500:2000, madde 7.1).
- Önemli olan gerilme bloğunun şekli değil; beton basınç kuvveti F_c nin ve etkidiği G_1 noktasının yaklaşık olarak aynı kalmasıdır. Bu iki koşul momentin aynı kalacağı anlamındadır.
- **Eşdeğer dikdörtgen gerilme dağılımında** gerilmenin şiddeti sabit ve $k_3 f_{cd}$ dir. Gerilme bloğunun derinliği $k_1 c$ dir.
- F_c ve etkidiği nokta G_1 yaklaşık olarak aynı kalacak şekilde k_1 ve k_3 sabitleri deneysel araştırmalar ile belirlenmiş, yönetmeliklerde verilmiştir.
- k_1 ve k_3 sabitleri beton dayanımına bağlıdır, kesitin geometrisinden bağımsızdır, değerleri birden küçüktür. Bu değerler C25/30..C50/60 betonları için TS 500:2000 de, C55/67..C80/95 için TS EN 1992-1-1 de verilmiştir.

1. Beton ve donatı tam kaynaşır, tam kenetlenme (=aderans) vardır. Bu koşulu mühendis sağlamak zorundadır.
2. Betonun çekme dayanımı ihmal edilir (≈ 0).
3. Birim şekil değiştirme dağılımı doğrusaldır (düzlem olan kesit şekil değiştirdikten sonra da düzlem kalır (BERNOULLI/NAVIER hipotezi).
4. Donatı çeliğinin gerilme-birim şekil değiştirme ($\sigma_s - \epsilon_s$) eğrisi elasto-plastiktir. Eğrinin tasarım dayanımı üstünde kalan kısmı ihmal edilebilir:



•Çelik akmamış ise HOOKE kanunu geçerlidir:

$$\sigma_s = E_s \epsilon_s, \quad \epsilon_s < \epsilon_{sd}$$

•Akmış çeliğin gerilmesi sabittir, HOOKE geçersizdir:

$$\sigma_s = f_{yd}, \quad \epsilon_s \geq \epsilon_{sd}$$

Anlamı: $\sigma_s = E_s \epsilon_s \leq f_{yd}$

Not:

Çelik çekme ve basınç altında aynı davranışı gösterir. Yukarıdaki bağıntılar basınç durumunda da geçerlidir. Tek fark çekmede uzama, basınçta kısalma olur.

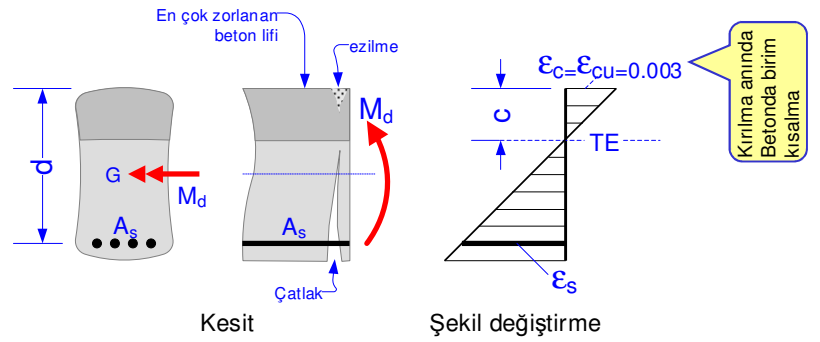
Çelik tasarım dayanımları ve akma anındaki birim uzamalar:

| Çelik sınıfı | f_{yk} N/mm ² | γ_{ms} | E_s N/mm ² | $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{ms}$ N/mm ² | $\epsilon_{sd} = f_{yd} / E_s$ |
|---------------------|-------------------------------|---------------|----------------------------|--|--------------------------------|
| S220 | 220 | 1.15 | 2×10^5 | 191.30 | 0.000957 |
| S420, B420B, B420C | 420 | 1.15 | 2×10^5 | 365.22 | 0.001826 |
| B500A, B500B, B500C | 500 | 1.15 | 2×10^5 | 434.78 | 0.002174 |

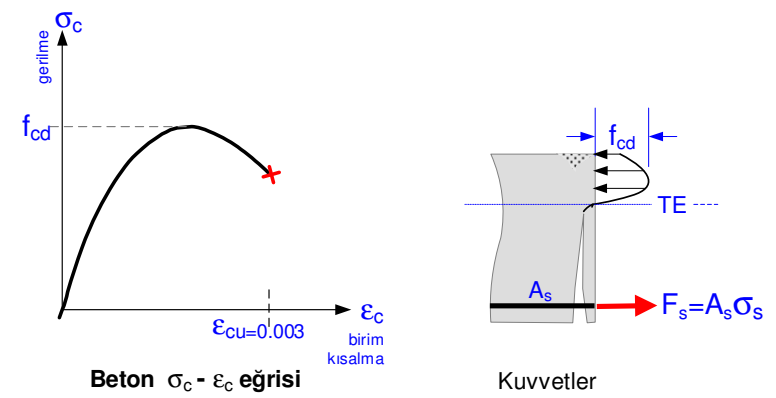
S220 uygulamada kullanılmamaktadır.

Kiriş, kolon ve perdelerin uçlarında sadece B420C ve B500C kullanılabilir. S420 nin kullanımı şarta bağlıdır (Bak TBDY-2018, Madde 7.2.5.3). Döşemelerde, radye plaklarında, perdelerin gövdelerinde her tür çelik kullanılabilir.

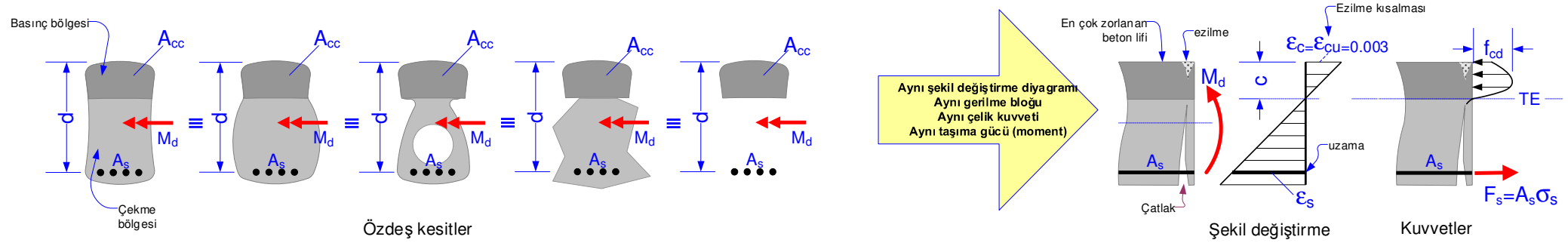
5. Taşıma gücüne erişildiğinde (beton kırıldığında) basınç bölgesinin en çok zorlanan lifindeki birim kısalma $\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.003$ tür.



6. Taşıma gücüne erişildiğinde basınç bölgesindeki teorik beton gerilme dağılımı beton $\sigma_c - \epsilon_c$ eğrisi gibidir.

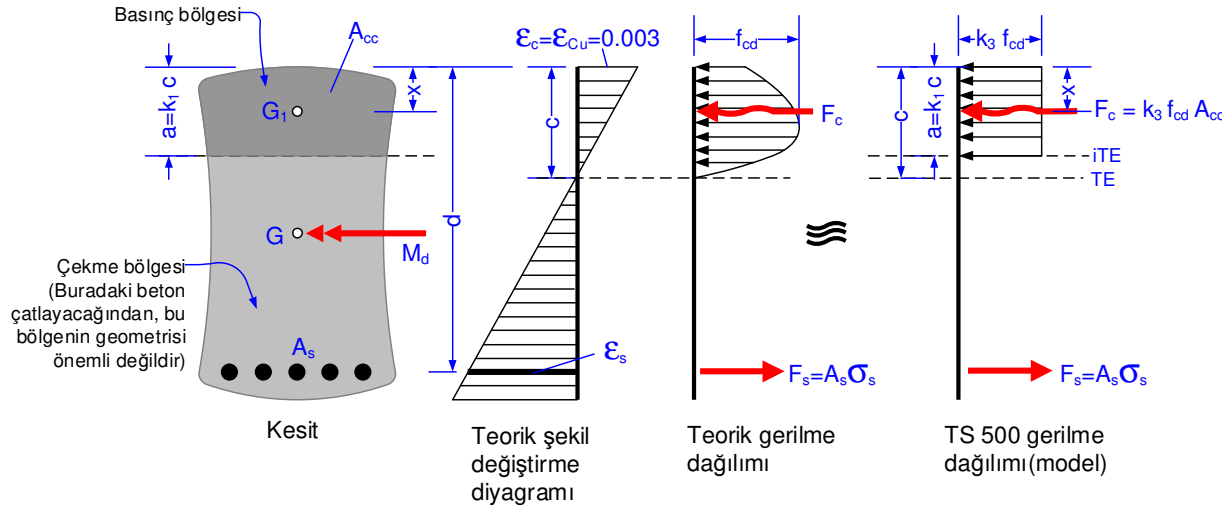


7. Çekme bölgesinin geometrisi şekil değiştirme ve kuvvetler açısından önemli değildir. Bu bölgedeki beton çatlayacağından hiçbir çekme kuvvet alamaz. Buradaki betonun görevi çelik ile kenetlenmeyi (=aderans) sağlamak, kesme-burulma etkilerini karşılamak, çeliği paslanmaktan ve yangından korumaktır. Bu bölgede çekme kuvvetinin tamamını donatı alır. Çekme bölgesinin geometrisi farklı olan ve aşağıda görülen kesitler, hesap açısından, özdeştir. Önemli olan, momentin aynı kalmasıdır. Basınç bölgesinin toplam alanı, bu alanın ağırlık merkezi, faydalı yükseklik d ve donatı alanı A_s aynı olan kesitler, çekme bölgesinin geometrisi nasıl olursa olsun, moment kuvveti açısından özdeştir. Bunun anlamı şudur: Özdeş kesitlerde şekil değiştirme diyagramı, çelik çekme kuvveti, beton basınç kuvveti ve moment aynıdır. Bu özellikten sonraki konularda sıkça yararlanılacaktır.



8. Teorik gerilme dağılımı yerine TS 500:2000 Madde 7.1 de tanımlanan eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu modeli kullanılabilir. Bu modele göre:

- Eşdeğer basınç gerilmesinin şiddeti sabittir: $k_3 f_{cd}$
- Eşdeğer gerilme bloğu derinliği $a=k_1 c$ dir.
- k_1 ve k_3 değerleri kesitin geometrisinden bağımsızdır.
- Eşdeğer basınç bloğu kiriş, kolon, perde ve plaklarda kullanılabilir.



C16/20-C50/60 betonları için ϵ_{cu} , k_1 ve k_3 katsayıları TS 500:2000, Madde 7.1 den alınır:¹

C16-C50 betonlarında $\epsilon_{cu} = 0.003$

C16-C25 betonlarında $k_1 = 0.85$, C30-C50 betonlarında $k_1 = 1 - 0.006 f_{ck}$

C16-C50 betonlarında: $k_3 = 0.85$

C55/67-C80/95 betonları için ϵ_{cu} , k_1 ve k_3 katsayıları TS EN 1992-1-1 den alınır:¹

$\epsilon_{cu} = 2.6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4 \approx 0.003$

$k_1 = 0.8 - (f_{ck} - 50)/400$

$k_3 = 1 - (f_{ck} - 50)/200$

TBDY-2018, madde 7.2.4-7.2.5.3 e göre, C25/30 den daha düşük, C80/95 den daha yüksek dayanımlı beton kullanılamaz.

¹ Bak: TBDY-2018, Madde 7.2.4.

TE : Tarafsız eksen

iTE : İndirgenmiş Tarafsız Eksen

c : Tarafsız eksenin derinliği

ϵ_c : Beton birim kısalması

ϵ_{cu} : Betonun ezilme anındaki birim kısalması

ϵ_s : Çelik birim uzaması

$a = k_1 c$: Eşdeğer basınç bloğu derinliği

k_1 : Eşdeğer basınç bloğu derinliği katsayısı

f_{cd} : Beton tasarım dayanımı

$k_3 f_{cd}$: Beton eşdeğer gerilmesinin şiddeti

k_3 : Eşdeğer basınç bloğu gerilme katsayısı

F_s : Çelik çekme kuvveti

F_c : Beton basınç kuvveti

A_s : Toplam donatı alanı

A_{cc} : Basınç alanı

G : Kesit ağırlık merkezi

G_1 : F_c kuvvetinin etkidiği nokta \equiv basınç alanı ağırlık merkezi

x : G_1 noktasının derinliği

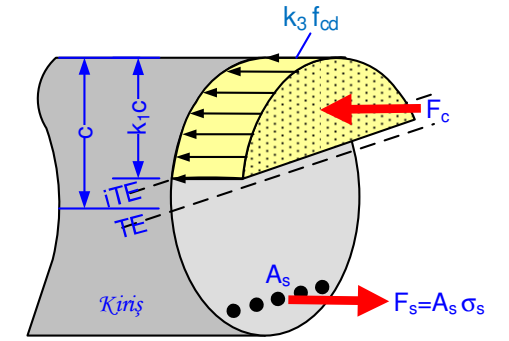
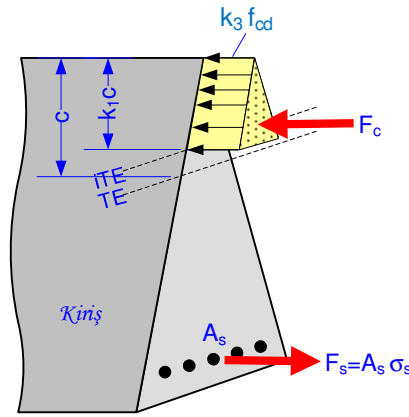
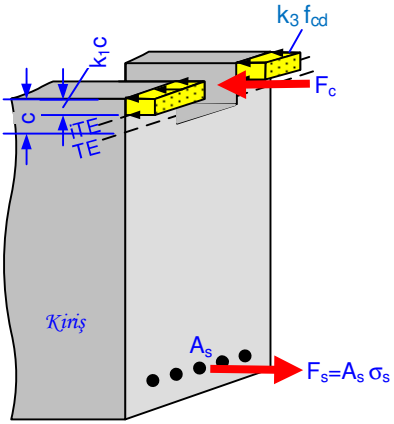
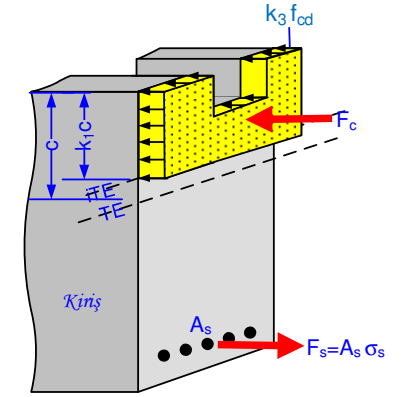
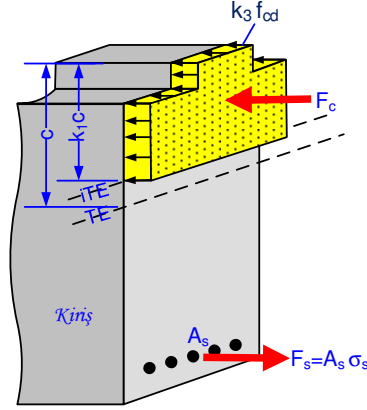
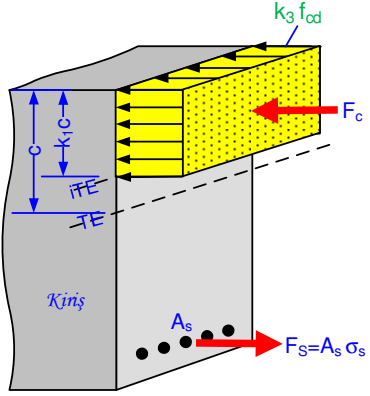
d : Faydalı yükseklik

| Beton | ϵ_{cu} | k_1 | k_3 |
|--------|-----------------|-------|-------|
| C16/20 | 0.003 | 0.85 | 0.85 |
| C18/22 | 0.003 | 0.85 | 0.85 |
| C20/25 | 0.003 | 0.85 | 0.85 |
| C25/30 | 0.003 | 0.85 | 0.85 |
| C30/37 | 0.003 | 0.82 | 0.85 |
| C35/45 | 0.003 | 0.79 | 0.85 |
| C40/50 | 0.003 | 0.76 | 0.85 |
| C45/55 | 0.003 | 0.73 | 0.85 |
| C50/60 | 0.003 | 0.70 | 0.85 |
| C55/67 | 0.003 | 0.79 | 0.98 |
| C60/75 | 0.003 | 0.78 | 0.95 |
| C70/85 | 0.003 | 0.75 | 0.90 |
| C80/95 | 0.003 | 0.73 | 0.85 |

TS 500:2000, Madde 7.1 den alınan değerler

TS EN 1992-1-1, Madde 3.1.7, çizelge 3.1 den alınan değerler

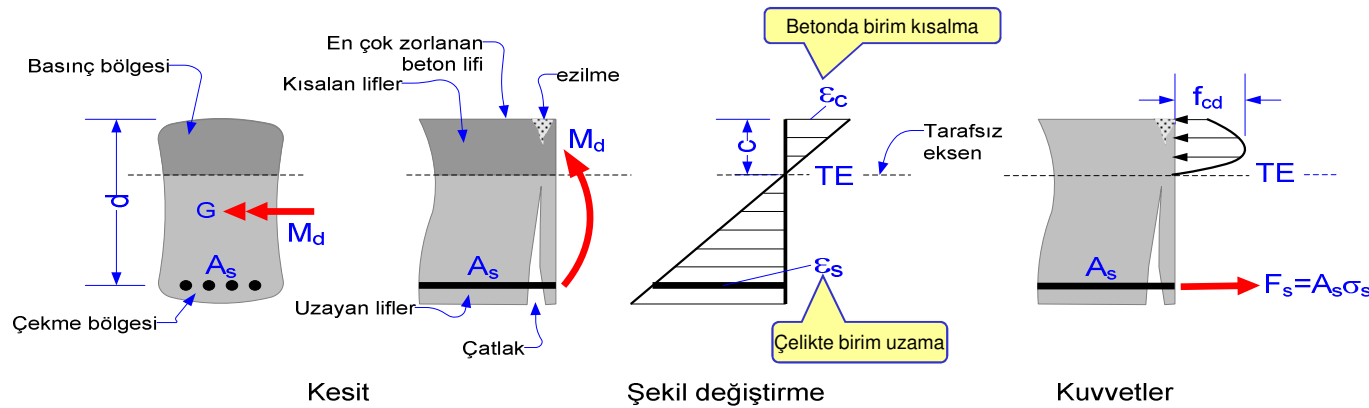
Farklı geometrili kesitlerde eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu



Kırılma aşamasına gelmiş bir kesitte:

Eşdeğer basınç bloğu her zaman dikdörtgenler prizması değildir, basınç alanının geometrisine bağlıdır. Basınç alanı üzerine kurulmuş bir prizmadır:

- Gerilmenin şiddeti her lifte $k_3 f_{cd}$ dir.
- Blok derinliği $k_1 c$ dir.
- Beton basınç kuvveti F_c gerilme bloğunun hacmine eşittir, basınç alanı A_{cc} ile $k_3 f_{cd}$ nin çarpımı: $F_c = k_3 f_{cd} A_{cc}$
- F_c basınç alanının ağırlık merkezine etkir.
- Çelik toplam çekme kuvveti $F_s = A_s \sigma_s$ dir.
- Çelik akmışsa $\sigma_s = f_{yd}$, akmamışsa $\sigma_s = E_s \varepsilon_s$ dir.



Betonarme elemanların iflas etmesi (yükünü taşıyamaması, kırılması, taşıma gücüne erişmesi) daima betonun ezilmesi sonucu olur. Fakat, ezilmenin nedeni farklı olabilir:

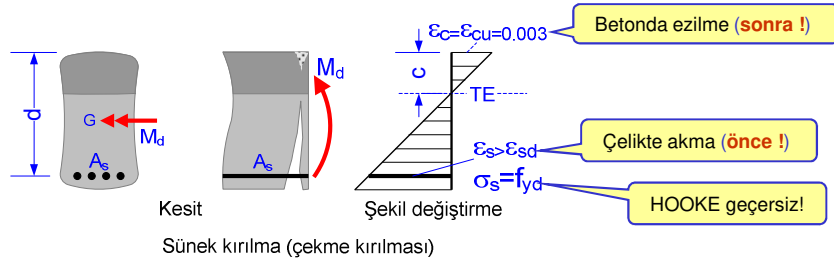
1. Çelik yoktur veya çok yetersizdir: Çelik ani olarak aşırı uzar, kopar ve beton ezilir (gevrek kırılma).
2. Çelik aşırı çoktur çok az uzar, beton basınç kuvveti betonun dayanamayacağı kadar yüksektir, beton ezilir (gevrek kırılma).
3. Çelik miktarı iyi ayarlanmıştır. Çelik yavaş yavaş uzar, akar, uzamaya devam eder, beton lifleri giderek kısalır ve ezilir (sünek kırılma).

Betonun en çok zorlanan lifi $\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.003$ birim kısalmasına ulaştığında eleman moment taşıma gücüne erişir, beton ezilir. Bu konumda donatının akıp akmadığına bağlı olarak üç değişik kırılma türü tanımlanır:

- 1. Sünek kırılma (çekme kırılması):** Çelik uzar, akar ve uzama devam ederken beton lifleri de giderek kısalır. Çatlaklar genişler, yükselir, tarafsız eksen en çok zorlanan life yaklaşır. Neticede çelik kopmadan beton $\epsilon_{cu} = 0.003$ kırılma birim kısalmasına ulaşır ve ezilir.
- 2. Gevrek kırılma (basınç kırılması):** Çelik çok az uzar, akamaz. Çatlak oluşmaz veya görülemeyecek kadar kılıcaldır. Beton giderek kısalır, birim kısalma $\epsilon_{cu} = 0.003$ değerine varır ve beton ezilir.
- 3. Dengeli kırılma (gevrek):** Çelik uzar, akar. Çeliğin aktığı an beton da $\epsilon_{cu} = 0.003$ birim kısalmasına vararak ezilir. Bu kırılma türünde çelik aktıktan sonra daha fazla uzama fırsatı bulamadığı için hemen hiç çatlak gözlenmez.

Kırılma türlerinin mekanik modeli

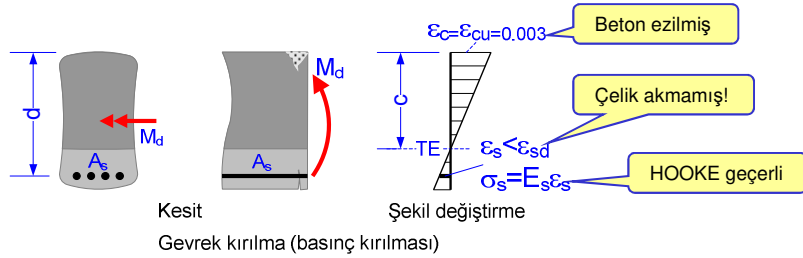
1. Sünek Kırılma ≡ Çekme kırılması:



Sünek kırılma (Çekme kırılması):

Betondaki birim kısalma $\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.003$ değerine ulaşmadan **önce** çelik akmış ve uzamaya devam etmişse, yani $\sigma_s = f_{yd}$ ve $\epsilon_s > \epsilon_{sd}$ olmuşsa, çekme kırılması olur. Çünkü **önce** çelik akmakta, uzamaya devam etmekte ve betondaki birim kısalma da giderek artarak $\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.003$ sınır birim kısalmasına erişerek ezilme olmaktadır. **Kırılma sünektir.**

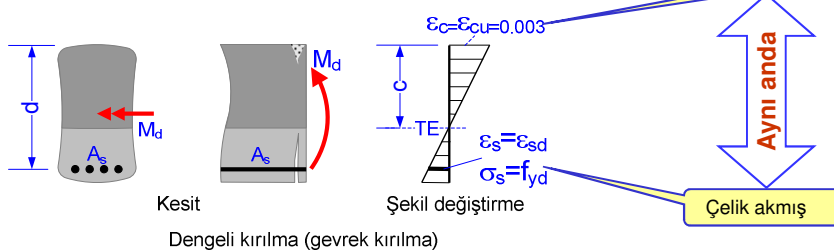
2. Gevrek Kırılma ≡ Basınç kırılması:



Gevrek kırılma (Basınç kırılması):

$\epsilon_s < \epsilon_{sd}$ ve $\sigma_s = E_s \epsilon_s < f_{yd}$ iken, yani çelik akmadan, beton $\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.003$ birim kısalmasına ulaşırsa basınç kırılması olur. Çünkü beton **ezilir** fakat çelik akmaz. **Kırılma gevrek** tir.

3. Dengeli Kırılma ≡ Gevrek Kırılma:



Dengeli kırılma (gevrek kırılma):

Çekme kırılması ile basınç kırılması arasında bir kırılma türüdür. Çelikteki uzama $\epsilon_s = \epsilon_{sd}$ ve $\sigma_s = f_{yd}$ olduğu an (çelik aktığı an), betondaki birim kısalma da $\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.003$ olmaktadır. Çelik daha fazla uzama imkanı bulamamaktadır. Betonun ezilmesi ve çeliğin akması **aynı anda** olmaktadır. **Kırılma gevrek** tir.

Sünek kırılma ani olmaz. Çökme oluşmadan önce bir süre aşırı çatlaklar, yer değiştirmeler oluşur, sıva ve beton parçacıkları dökülür. Çelik uzuyor, beton çatlıyor ve eziliyor. Gece sessizliğinde cık-cık sesler duyulur. **Yapı çökeceğini haber verir.** Önlem almak ve yapıyı boşaltmak için zaman tanır. **Gevrek kırılma** hemen hiçbir belirti vermeden, genelde patlama sesi ile birlikte, ani olur. Yapı yıkılmadan önce hemen hiçbir belirti vermediğinden önlem alma veya boşaltma şansı kalmaz. **Gevrek kırılma tehlikelidir!** Hiçbir yapı elemanı kırılacak şekilde boyutlandırılmaz. Ancak, öngörülemeyen herhangi bir nedenle kırılacaksa, **kırılmanın haberli, yani sünek** olması arzu edilir.

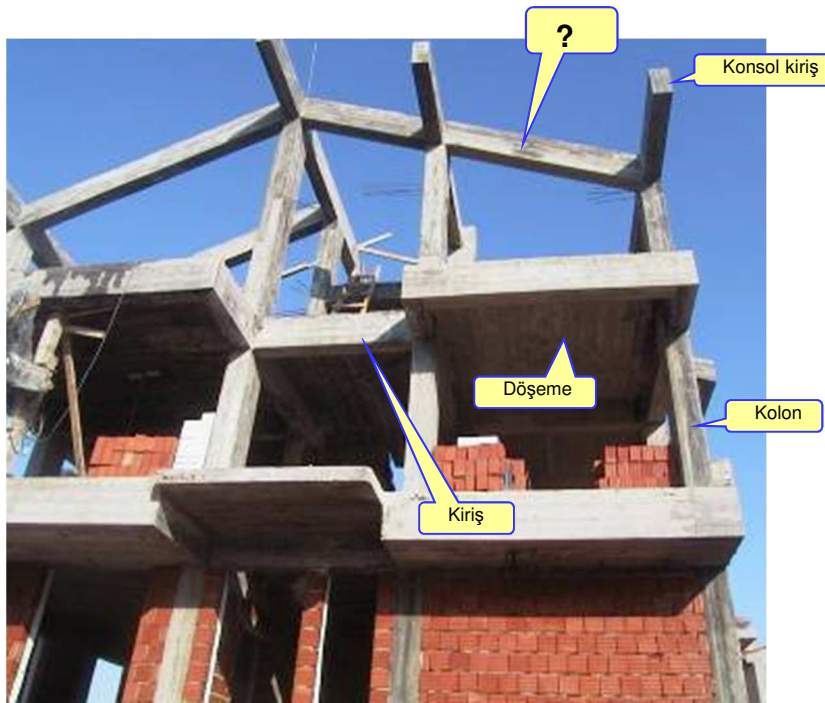
Sünek davranışı sağlamak için basit kurallar:

- Yönetmelik koşulları mutlaka yerine getirilmelidir.
- Özellikle kolon boyutlarında cömert davranılmalı, aksenal yük düzeyi düşük tutulmalıdır.
- Donatıların kenetlenmesine özen gösterilmeli, nervürlü sünek çelik kullanılmalıdır.
- Kolonlar temelden-çatıya, kiriş birleşim noktaları dahil, sarılmalıdır.
- Kiriş ve kolonların uçlarında sık sargı (etriye, fret) kullanılmalı, etriye ve fret uçları beton çekirdeğine saplanmalıdır.
- L, I, T, C, Z gibi kesitlerden olabildiğince kaçınılmalıdır.



Kirişler genelde duvarların altına yapılan, duvar, döşeme ve kendi yükünü taşıyan; çoğunlukla yatay betonarme elemanlardır. Üzerindeki yükleri oturduğu düşey elemanlara (kolonlara) aktarır. Kirişlerin bir diğer önemli işlevi de deprem veya rüzgâr gibi yatay yükleri, döşeme ile bir bütün davranarak, kolonlara aktarmaktır.

Uygulamada yatay elemanlara **KİRİŞ**, düşey elemanlara da **KOLON** denilmektedir. Ne yatay ne de düşey olan, **EĞİK** elemanlara ne denilecektir? Yapı statiği derslerinden bilindiği gibi, çubuk eleman ister yatay ister düşey ister eğik olsun, kolon kiriş ayırımı yapılmaz. Elemanın konumu nasıl olursa olsun, en genel halde, çubuk elemanda altı adet iç kuvvet oluşur: Bir aksenal kuvvet, iki eğilme momenti, iki kesme kuvveti ve bir burulma momenti. Yatay elemanlarda sadece bir eğilme momenti ve bir kesme kuvveti etkin olurken diğer iç kuvvetler çoğu kez önemsenmeyecek düzeyde kalırlar. Düşey elemanlarda altı adet iç kuvvetin genelde hepsi de etkin olmakla birlikte aksenal kuvvet önem arz eder. Bu nedenle yatay elemanlar ile düşey elemanların davranışları da çok farklıdır. İç kuvvet açısından eğik elemanlar, eğimin büyüklüğüne-küçüklüğüne bağlı olarak, bu iki durum arasındadırlar.



TS 500:2000 ve TBDY-2018 bir elemanın kiriş olarak boyutlandırılabilmesi için N_d aksenal tasarım basınç kuvvetinin

$$N_d \leq 0.1 f_{ck} A_c$$

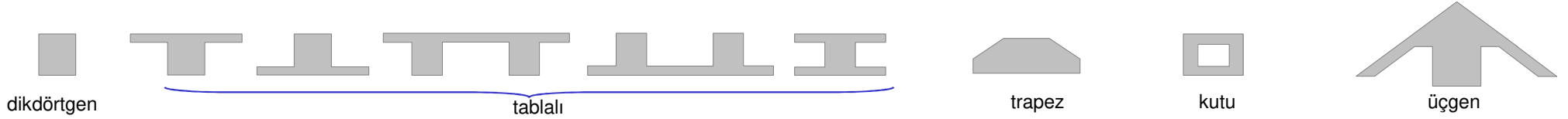
koşulunu sağlaması gerektiğini yazmaktadırlar¹. Bu koşulu sağlamayan, yani aksenal kuvvet düzeyi yüksek olan elemanlar, ister yatay, ister düşey veya eğik olsunlar, kolon olarak boyutlandırılmak zorundadırlar. Bu bağıntıda f_{ck} betonun karakteristik dayanımı ve A_c elemanın net kesit alanıdır (varsa, boşluklar düşülür).

O halde; elemanın eğimine bakılmaksızın, $N_d \leq 0.1 f_{ck} A_c$ koşulu sağlayan elemanlara "**Kiriş**", sağlamayanlara "**Kolon**" denilecektir ve kolon olarak boyutlandırılacaktır.

¹ Bak: TS 500:2000, madde:7.3 ve TBDY-2018, madde: 7.4.1.2

Kiriş kesit tipleri

Kiriş kesitleri çoğunlukla dikdörtgen ve tablalı; nadiren trapez, kutu ve üçgen olur.



Kirişler öncelikle moment ve kesme kuvveti etkisindedir. Normal kuvvet etkisi genelde düşüktür. Burulma momenti nadiren dikkate alınacak düzeye varır. Moment (kuvvet çifti) kirişin bir tarafına çekme, diğer tarafına da basınç kuvveti uygular. Çekme kuvveti kiriş eksenine dik çatlaklar oluşturur. Bu kuvveti karşılamak ve oluşturacağı çatlakları sınırlamak için kirişin çekme bölgelerine boyuna donatı konur. Kesme kuvveti mesnet bölgelerinde eğik çekme kuvvetleri oluşturur ve eğik çatlaklara ($\approx 45^\circ$) neden olur. Kesme kuvvetini karşılamak ve oluşturacağı çatlakları sınırlamak amacıyla, açıklıklar seyrek mesnet bölgeleri daha sık etriye ile sarılır.

Dikdörtgen Kesit



Boyuna donatının kesitteki yerine göre farklı kesit tipi vardır:

Tek donatılı kesit: Momenti karşılayacak ve hesapla belirlenen donatı kesitin çekme tarafına konur. Basınç bölgesine hesap dışı (konstrüktif) montaj donatısı konur.

Çift donatılı kesit: Bazen mevcut kesit momentini taşımaz. Bu durumda ya kesit büyütülür yada hem çekme hem de basınç bölgesine hesapla belirlenen donatı konur. Montaj donatısına gerek kalmaz. Basınç bölgesine konan donatı çekme değil, basınç etkisindedir. Basınç donatısı kesitin dayanımını ve sünekliğini artırır, ancak maliyet de artar.

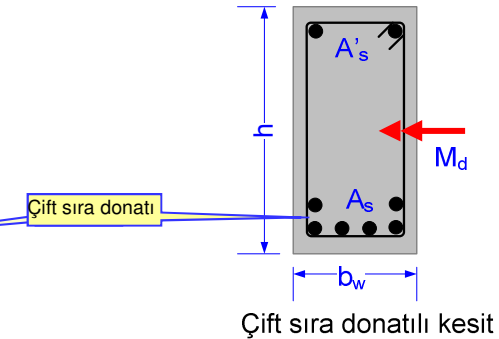
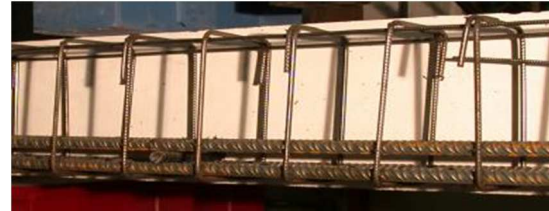
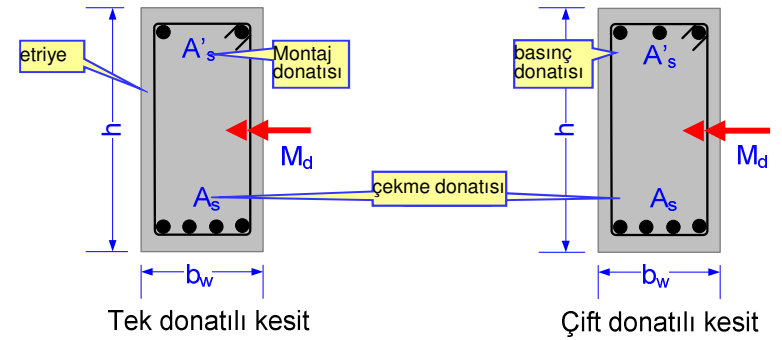
Çift sıra donatılı kesit: Momenti karşılayacak donatı kiriş genişliğine sığmayabilir. Bu durumda ya kesit genişletilir yada donatı çift sıra yerleştirilir. Mimari bir zorluk yoksa, kirişi genişleterek çubukları tek sıraya koymak daha iyidir.

b_w :genişlik
 h : yükseklik

A_s : çekme donatısının toplam alanı

A'_s :montaj veya basınç donatısının toplam alanı

Çekme ve basınç bölgesindeki boyuna donatılar etriye ile sarılır.



Tablalı Kesit



Kalıp kiriş gövdesinin bir veya iki tarafında kulaklar oluşacak şekilde hazırlanır ve beton dökülürse tablalı kesit oluşur. Köprü kirişleri ve prefabrik yapıların kirişleri genelde bu yöntemle hazırlanır. Tabla betonu basınç alanının büyümesine katkı sağlar.

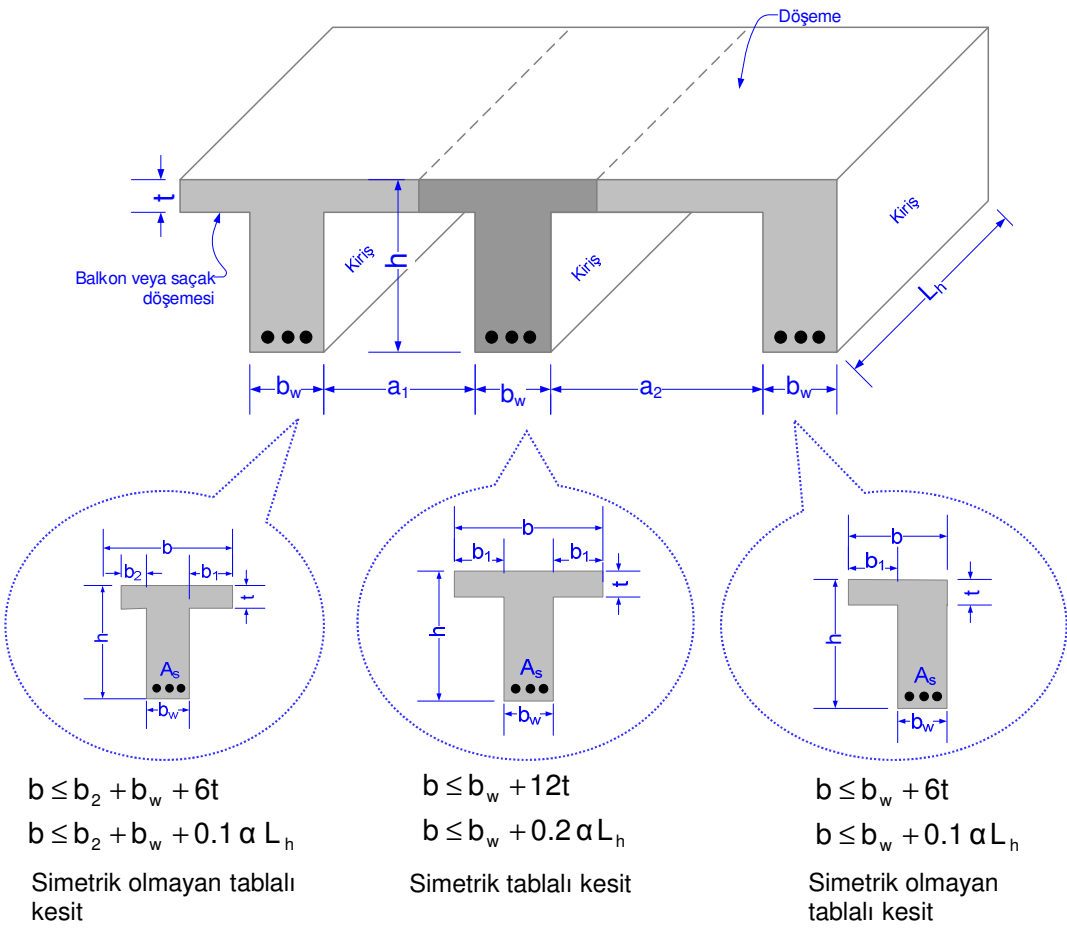
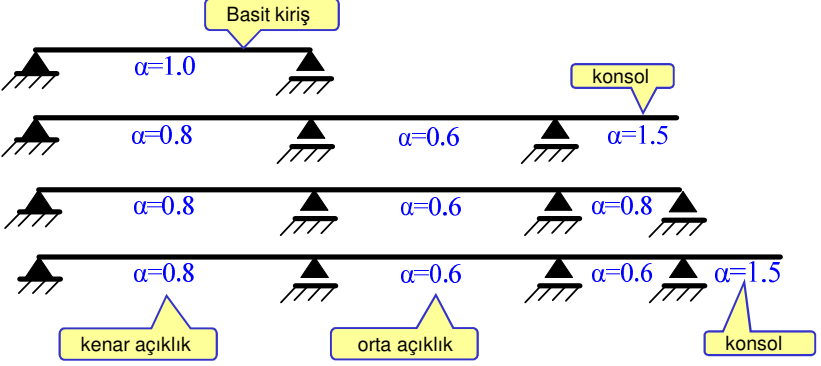
Döşeme ve kiriş betonu **bir bütün dökülmüş ise** ve döşeme betonu kirişin basınç bölgesinde ise, döşemenin b genişliğindeki **bir parçası** hesaplarda kirişin **basınca çalışan tablası** olarak dikkate alınır. b ye **etkili tabla genişliği** veya **çalışan tabla genişliği** denir. Tablası dikkate alınan kirişler T, L ve I kesitli olabilirler. Tabla beton basınç alanının büyümesine neden olur. Döşeme plağının büyük olması durumunda tablanın tamamı basınca çalışmaz. Tabladaki basınç gerilmeleri kiriş gövdesinden uzaklaştıkça hızla azalır. Yapılan araştırmalar sonucunda b çalışan tabla genişliği sınırlandırılmış ve yönetmeliklerde verilmiştir.

Çalışan tabla genişliğinin sınırlandırılması:

$$b_1 \leq 6t, b_2 \leq 6t, b_1 \leq \frac{1}{2}a_1, b_1 \leq \frac{1}{2}a_2$$

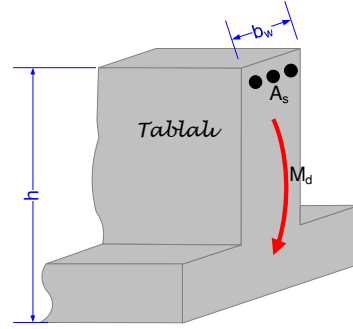
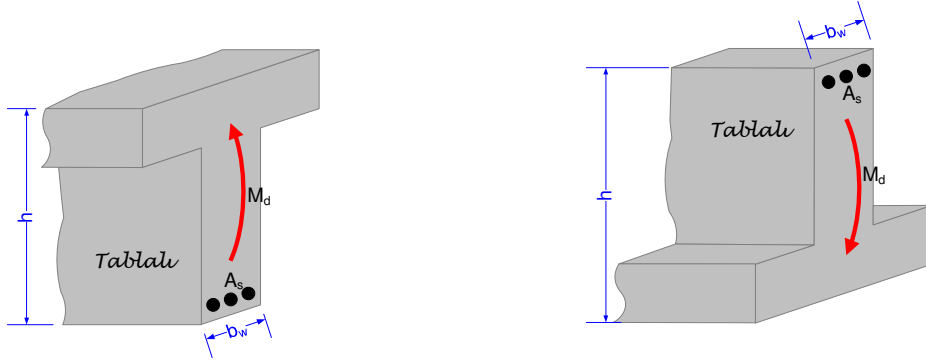
Tabla kulağı b_1 ve b_2 döşeme kalınlığının 6 katını ve komşu kiriş yüzüne olan net uzaklığın yarısını aşamaz. Kirişin, balkon veya saçak döşemeli kenar kiriş, iç kiriş ve kenar kiriş olma durumuna ait sınırlamalar şekil üzerinde gösterilmiştir. L_h net açıklığıdır.

α sayıları:

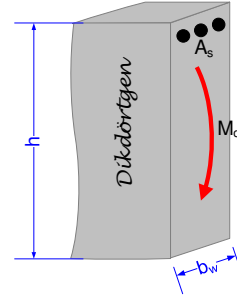
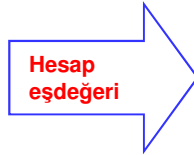
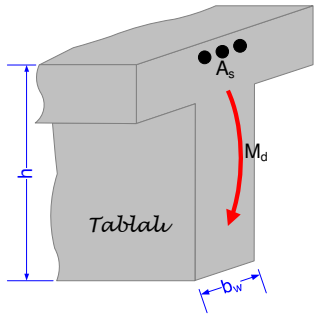


Her açıklıkta hesaplanan b değerlerinden en küçüğü o açıklığın tabla genişliğinin üst sınırıdır. Hesaplarda daha da küçük alınabilir. Dikkat edilirse, Kiriş boyunca her açıklıkta tabla genişliği farklı olmaktadır. İstenirse, bunlardan en küçüğü kullanılarak, her açıklığın tabla genişliği eşit alınabilir. Hatta tabla kulakları tamamen ihmal edilerek dikdörtgen kesit ($b_w \cdot h$) olarak hesap yapılabilir. Ancak bu, gerçekte var olan, basınç bölgesinin bir kısmının veya tamamının ihmal edilmesi anlamına gelir ve kirişe daha fazla donatı koymak zorunda kalınır. Büyük açıklıklı kirişlerde, dişli döşeme dişlerinde, köprü kirişlerinde ve prefabrik yapılarda tablanın ihmal edilmesi, ekonomik açıdan, doğru olmaz.

Tabla çalışır-çalışmaz durumu

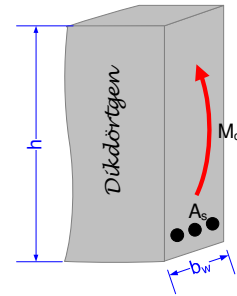
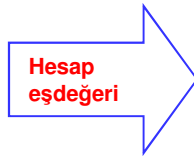
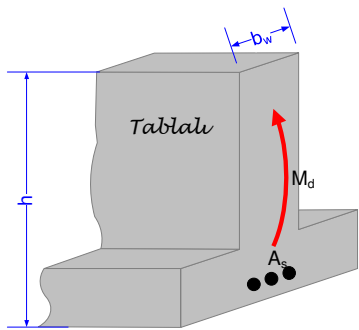


Soldaki kesitlerde tabla çalışır. Çünkü tabla basınç bölgesindedir, basınç gerilmesi alır. Bu nedenle hesaplarda tabla dikkate alınır, kesit tablalı olarak hesaplanır. **Tabla çalışıyor deriz.**



Soldaki kesitin tablası çekme bölgesindedir. Fiziksel olarak var olmasına rağmen, hesaplarda tabla dikkate alınmaz. Çünkü çekme bölgesinde olan tabla çatlayacaktır. **Tabla çalışmıyor deriz.**

Kiriş dikdörtgen kesit olarak modellenir ve hesaplanır, fakat donatı tablalı kesite konur ve tablalı olarak inşa edilir.

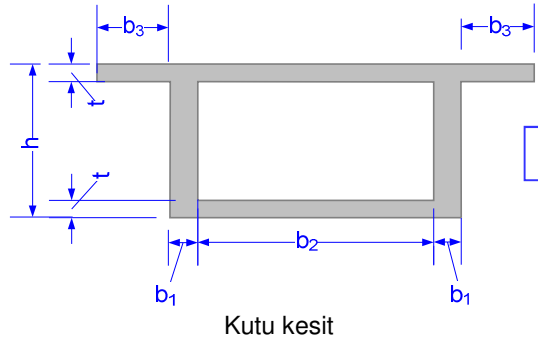


Soldaki kesitin tablası çekme bölgesindedir. Fiziksel olarak var olmasına rağmen, hesaplarda tabla dikkate alınmaz. Çünkü çekme bölgesinde olan tabla çatlayacaktır. **Tabla çalışmıyor deriz.**

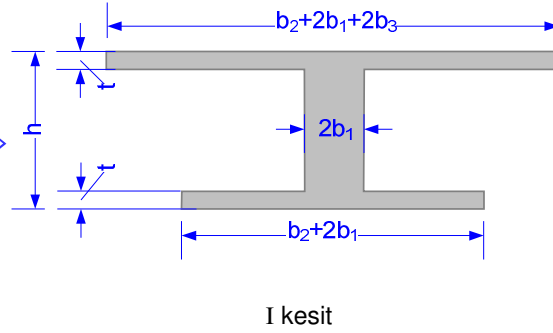
Kiriş dikdörtgen kesit olarak modellenir ve hesaplanır, fakat donatı tablalı kesite konur ve tablalı olarak inşa edilir.

- Tabla basınç bölgesinde ise hesaplarda dikkate alınır, çünkü basınç gerilmesi alır.
- Çekme bölgesindeki tabla hesap modelinde dikkate alınmaz. Çünkü; çekme bölgesindeki tabla betonu çatlar, çekme gerilmesi alamaz. Çekme bölgesinin geometrisi önemli değildir. Bu durumda kesit, $b_w \cdot h$ boyutlu eşdeğer dikdörtgen kesit imiş gibi düşünülür.
- Eşdeğer dikdörtgen kesit sadece hesapları basitleştirir, gerçek değil sanal bir kesittir. Hesap sonucu bulunan donatılar gerçek olan tablalı kesite yerleştirilir ve yerinde tablalı olarak inşa edilir.

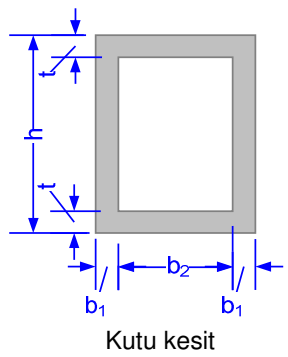
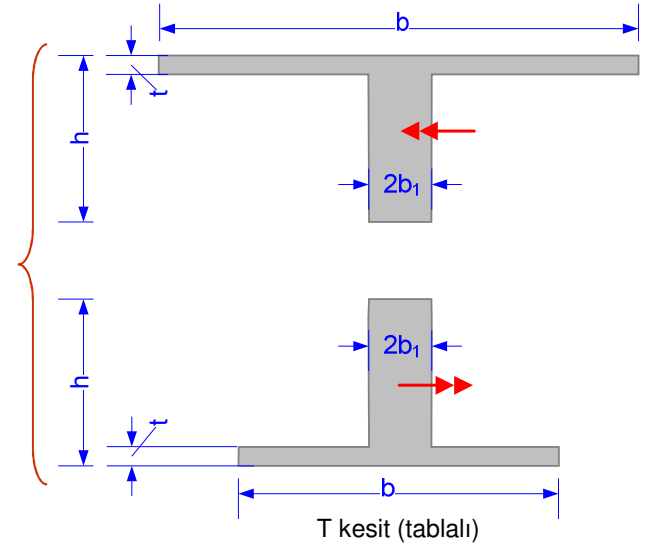
Kutu Kesit, I Kesit



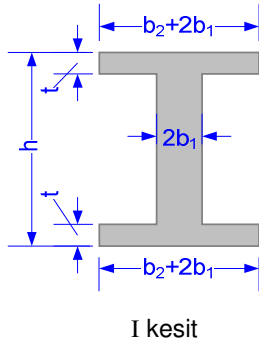
Eşdeğeri



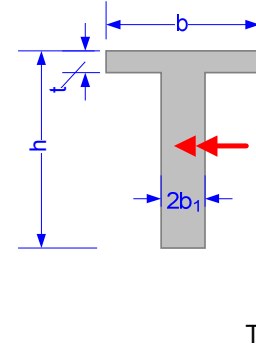
Eşdeğeri



Eşdeğeri



Eşdeğeri

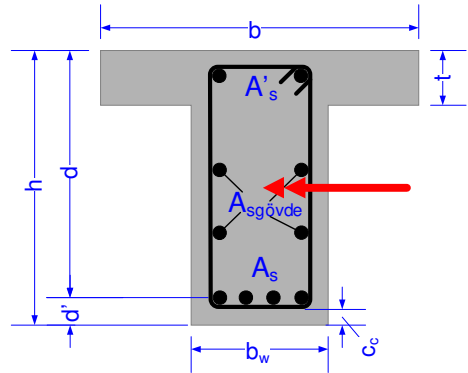
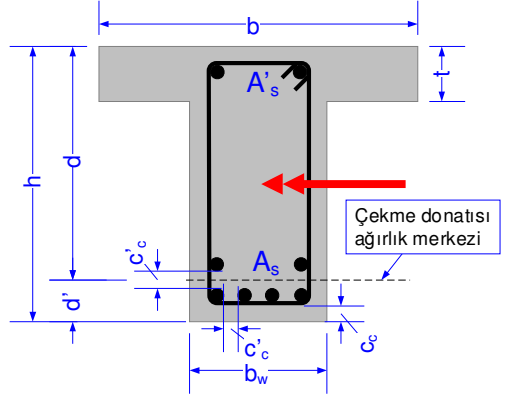
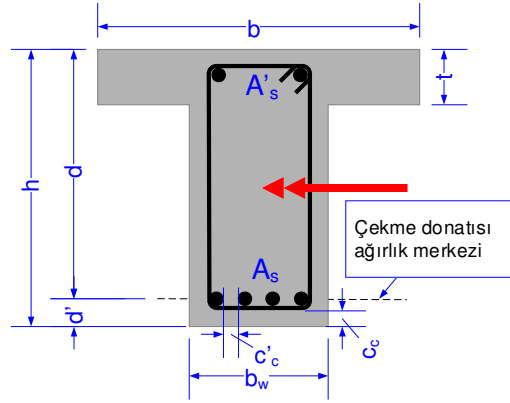


T kesit (tablalı)

$$b \leq 2b_1 + 12t$$
$$b \leq 2b_1 + 0.2\alpha L_n$$

Daha çok sanayi yapılarında ve köprü kirişlerinde karşılaşılan kutu kesitler eşdeğer tablalı kesit gibi hesaplanabilirler. Çünkü basınç bölgesi alanı ve ağırlık merkezi değişmemektedir. Ancak çalışan tabla genişliği b , yukarıda verilen şartları sağlamalıdır. Momentin etkiye durumuna bağlı olarak, çekme tarafında kalan tabla dikkate alınmayacaktır. Bu nedenle, hesaplanacak kesit T veya \perp olmaktadır. Eşdeğer kesit hesapları basitleştirmektedir.

Tanımlar



YÜKSEKLİK: Kiriş alt yüzünden üst yüzüne olan mesafedir, şekilde h ile gösterilmiştir.

GENİŞLİK: Kirişin, kulaklar hariç, gövde genişliğidir, b_w ile gösterilir.

TABLA KALINLIĞI: Tablanın et kalınlığıdır, şekilde t ile gösterilmiştir.

TABLA GENİŞLİĞİ: Basınca çalışan tabla genişliğidir, şekilde b ile gösterilmiştir. Fiziksel olarak tabla daha geniş olsa bile hesaplarda yönetmelikte verilen b kadarı dikkate alınır.

FAYDALI YÜKSEKLİK: Çekme donatısının ağırlık merkezinin en dış basınç lifine uzaklığıdır, şekillerde d ile gösterilmiştir. $d=h-d'$.

FAYDALI KESİT ALANI: $A_c=b_w d$ olarak tanımlanır.

BETON ÖRTÜSÜ: Çekme veya basınç donatısı merkezinin kiriş alt veya üst yüzüne uzaklığıdır, şekilde d' ile gösterilmiştir.

NET BETON ÖRTÜSÜ: En dıştaki donatının (çoğunlukla etriyenin) dış yüzünün beton yüzüne olan mesafesidir. Kenetlenmeyi sağlamak, paslanmayı önlemek ve yangına dayanımı artırmak gibi amaçları vardır. Şekilde c_c ile gösterilmiştir.

PAS PAYI: Yönetmeliklerde böyle bir tanım yoktur. Eski kaynaklarda beton örtüsü ($=d'$) anlamında kullanılırdı. Günümüzde bazı yazılımlar net beton örtüsüne ($=c_c$) pas payı demektedirler. Yani bir tanım kargaşası vardır.

DONATI NET ARALIĞI: Donatı çubuklarının yüzleri arasındaki mesafedir. Şekilde c'_c ile gösterilmiştir. Agreganın geçebilmesi, betonun sıkıştırılabilmesi ve kenetlenmenin sağlanabilmesi için yeterli net aralık bırakılmalıdır.

ÇEKME DONATISI: Çekme kuvvetini karşılamak amacıyla kirişin çekme tarafına konulan donatıdır. Donatı çubuklarının kiriş genişliğine sığmaması durumunda çift sıra olarak da yerleştirilebilir. Şekilde çekme donatısının toplam alanı A_s ile gösterilmiştir.

MONTAJ DONATISI: Kirişin basınç tarafına konulan fakat basınç kuvveti almadığı varsayılan donatıdır. En az iki çubuk konur. Donatı çubuklarının kiriş gövde genişliğine sığmaması durumunda çift sıra veya tabla (varsa) içine de yerleştirilebilir. Montaj donatısının toplam alanı A'_s ile gösterilmiştir.

BASINÇ DONATISI: Kesitin basınç tarafına, basınç kuvveti almak amacıyla konulan donatıdır. Ayrıca montaj donatısı konulmaz. Donatı çubuklarının kiriş genişliğine sığmaması durumunda çift sıra olarak da yerleştirilebilir. Basınç donatısının toplam alanı A'_s ile gösterilmiştir.

GÖVDE DONATISI: Yüksekliği fazla olan kirişlerin yan yüzlerine konulan donatıdır. Şekilde gövde donatısının toplam alanı $A_{sgövde}$ olarak gösterilmiştir.

BOYUNA DONATI: Kiriş eksenine paralel olan çekme, montaj (veya basınç) donatılarına verilen addır. Bu donatılar kiriş genişliğine sığmalı ve aralarında, kenetlenmeyi sağlamak için, yeterli mesafe olmalıdır. Donatıların kiriş gövde genişliğine sığmaması durumunda; 1) aynı A_s alanını sağlayan daha kalın fakat daha az sayıda çubuk koymak, 2) kiriş genişliğini artırmak, 3) çubukların bazılarını tabla içine yerleştirmek, 4) çift sıra donatı düzenlemek gibi tedbirler alınır.

ENİNE DONATI: Boyuna donatılara dik olarak yerleştirilen ve boyuna donatıları saran donatıya verilen addır. Sargı donatısı veya etriye de denir. Açıklıklarda seyrek, mesnet bölgelerinde ve konsollarda sık yerleştirilir. Kesme, burulma kuvvetlerini karşılamak ve betonun şişmesini önlemek gibi çok önemli görevleri vardır.

KONSTRÜKTİF DONATI: Hesap dışı konulan donatıdır. Mühendis, deneyimine ve sezgisine dayanarak, hesabın gerektirmediği ek donatılar koyabilir.

Tanımlar-Kirişlerde donatı oranları

DONATI ORANI: Donatı kesit alanının brüt beton alanına oranıdır. Brüt beton alanı hesabında yükseklik olarak h değil d alınır. Donatı alanı beton alanından düşülmez. Kesitin sadece gövde alanı dikkate alınır, tabla kulakları gibi çıkıntılar dikkate alınmaz. Çekme donatısı, montaj (veya basınç) donatısı, gövde donatısı ve etriye için ayrı ayrı donatı oranı tanımlanır. Donatı oranını simgesi için ρ karakteri kullanılır.

ÇEKME DONATISININ ORANI: Çekme bölgesine konulmuş olan çubukların toplam alanının faydalı alana oranıdır:

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d}$$

MONTAJ veya BASINÇ DONATISININ ORANI: Montaj veya basınç kuvveti almak amacıyla basınç bölgesine konulmuş olan çubukların toplam alanının faydalı beton alanına oranıdır:

$$\rho' = \frac{A'_s}{b_w d}$$

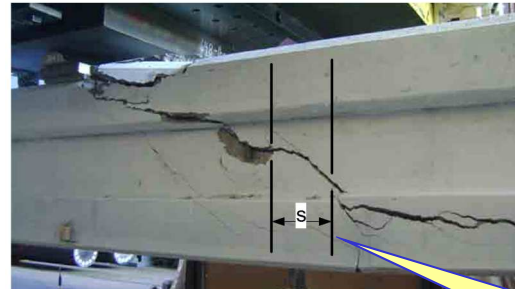
GÖVDE DONATISININ ORANI: Yüksekliği fazla olan kirişlerin yan yüzlerine konulmuş olan çubukların toplam alanının faydalı beton alanına oranıdır:

$$\rho_{gövde} = \frac{A_{sgövde}}{b_w d}$$

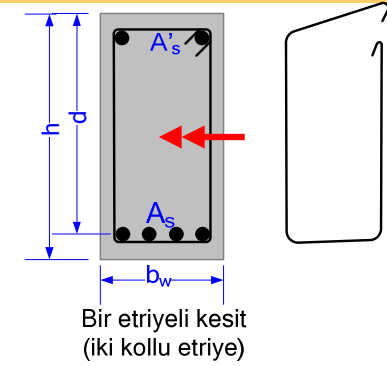
SARGI(ETRİYE) DONATISININ ORANI:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w s}$$

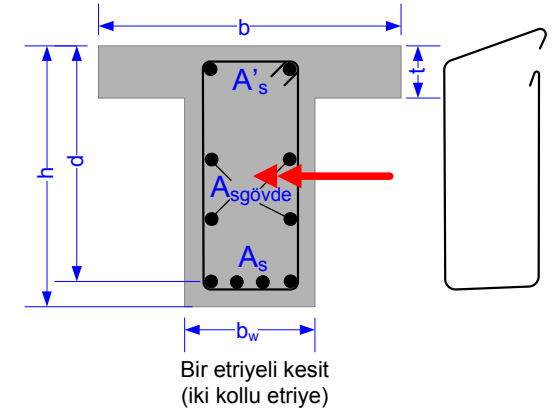
ile tanımlanır. Burada s etriye adımı (aralığı), A_{sw} etriye **düşey kollarının** toplam kesit alanıdır. Kirişler genellikle iki düşey kolu olan bir etriye ile sarılırlar. Ancak, bazı durumlarda (örneğin geniş kirişlerde) dört, altı veya daha fazla kollu da olabilir. Şekildeki dikdörtgen ve tablalı kesitlerde bir etriye (iki kollu), kutu kesitte ise üç etriye (altı kollu) vardır. A_{sw} etriye alanı, bir kolun kesit alanı ile düşey kol sayısının çarpımıdır. Kesme kuvvetini sadece düşey kollar karşılar. Bu nedenle yatay kolların alanı hesaba katılmaz.



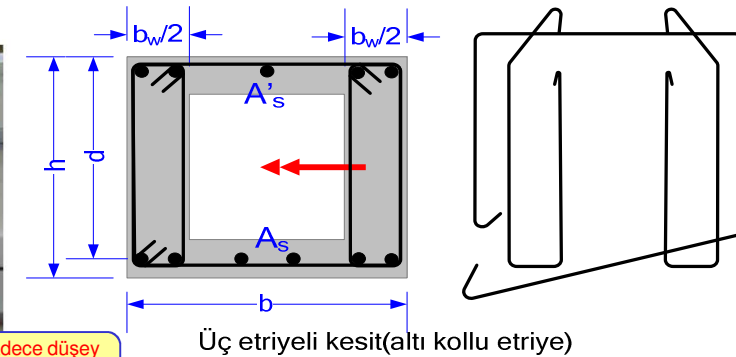
Etriyelerin sadece düşey kolları kesilir. Yatay kollar kesilen bölge dışındadır.



Bir etriyeli kesit (iki kollu etriye)



Bir etriyeli kesit (iki kollu etriye)

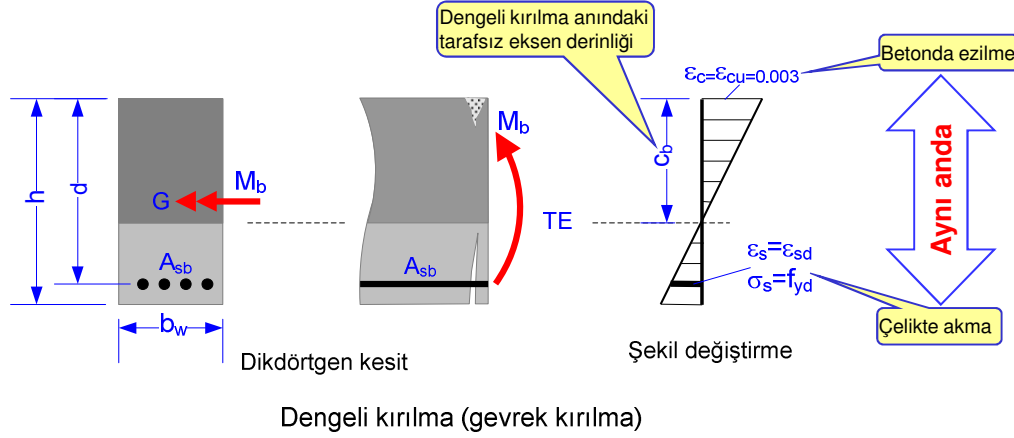


Üç etriyeli kesit (altı kollu etriye)

Kirişlerde dengeli donatı oranı tanımı

Dengeli kırılan kesitin donatı oranına **dengeli donatı oranı** adı verilir ve ρ_b ile gösterilir. Dengeli kırılmada donatının akması ve betonun ezilmesi aynı anda olur. Donatıdaki birim uzama ϵ_{sd} değerine ulaştığı an beton da $\epsilon_{cu}=0.003$ birim kısalmasına ulaşır, beton ezilir ve ani göçme olur. Çelik aktığı için $\sigma_s=f_{yd}$ olur.

Dengeli kırılma donatı oranı ρ_b , sünek kırılma ile gevrek kırılma arasındaki bir sınır değer olduğundan, önemlidir. ρ_b sünek kırılma donatı oranının üst sınırı, gevrek kırılma oranının alt sınırıdır, b indisi dengeli (balanced) anlamındadır. Bu oran bilindiği taktirde kiriş bu oranın altında donatılarak gevrek kırılma önlenir.



$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w d}$$

A_{sb} :dengeli kırılmaya neden olan çekme donatısı toplam alanı

ρ_b :dengeli kırılmaya neden olan donatı oranı

c_b :dengeli kırılma anında tarafsız eksenin derinliği

M_b :Dengeli donatılmış kesitin moment taşıma gücü

Dengeli, denge üstü ve denge altı donatılı kesit tanımı

Dengeli donatılı kesit: Çekme donatısı oranı dengeli kırılmaya neden olacak kadar olan kesite denir: $\rho = \rho_b$.

Denge üstü donatılı kesit: Çekme donatısı oranı dengeli donatı oranından fazla olan kesite denir: $\rho > \rho_b$.

Denge altı donatılı kesit: Çekme donatısı oranı dengeli donatı oranından az olan kesite denir: $\rho < \rho_b$.

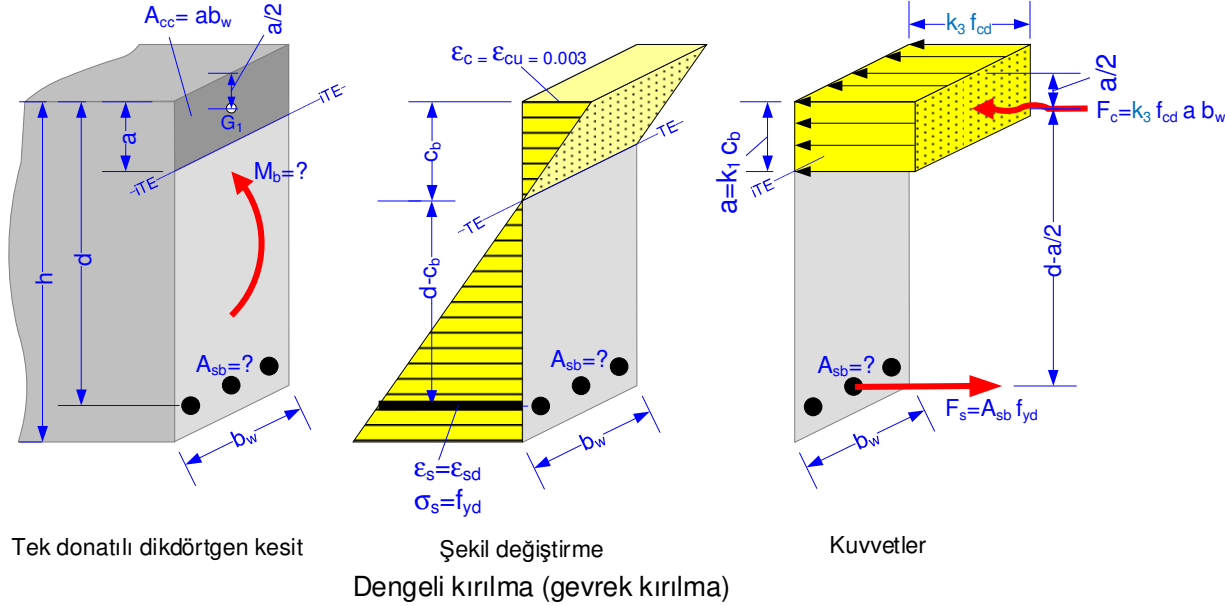
Kırılma türleri donatı oranlarına göre de sınıflandırılabilir:

1.Dengeli donatılı kesit ($\rho = \rho_b$) gevrek kırılır. **Tehlikeli !**

2.Denge üstü donatılı kesit ($\rho > \rho_b$) gevrek kırılır. **Tehlikeli !**

3.Denge altı donatılı kesit ($\rho < \rho_b$) sünek kırılır. **Arzu edilen kırılma türü**

Dengeli donatı oranı ρ_b sünek kırılma donatı oranının üst sınırıdır. Kirişler denge altı donatılmalı, yani daima $\rho < \rho_b$ olmalıdır. Bu bakımdan, ρ_b dengeli donatı oranının bilinmesi önemlidir.



BİLİNENLER:

Kesit boyutları (b_w , h , d) ve malzeme (beton/çelik sınıfı) bilinmektedir.

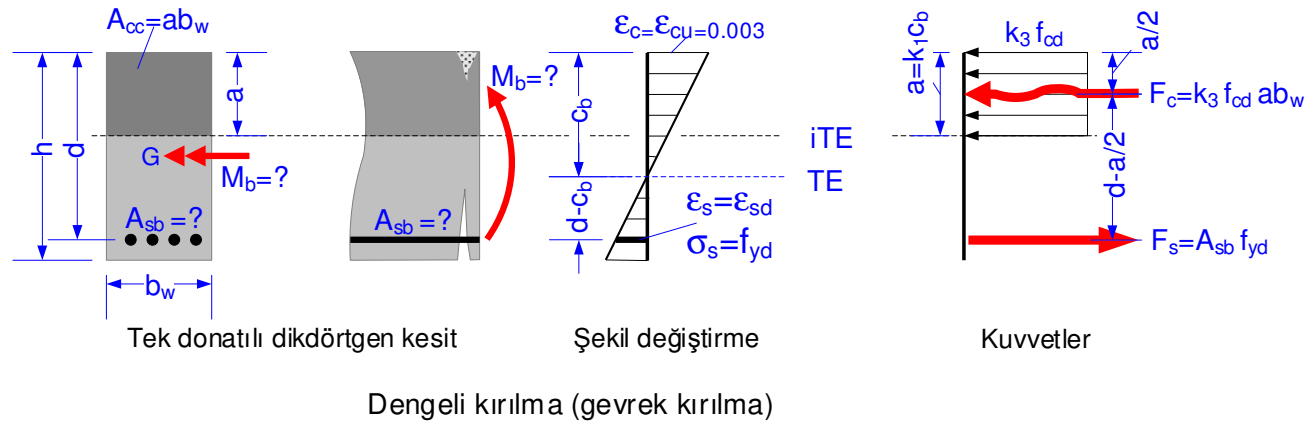
İSTENENLER:

Dengeli kırılmaya neden olacak toplam çekme donatısı alanı A_{sb} ve donatı oranı ρ_b nedir?

Kesitin moment taşıma gücü M_b (moment kapasitesi) ne kadardır?

ÇÖZÜM:

Dengeli kırılmaya ait şekil değiştirme diyagramı ve iç kuvvet durumu şekildeki gibi olacaktır. Donatı ϵ_{sd} akma birim uzamasına ulaştığı an beton da $\epsilon_{cu}=0.003$ kırılma birim kısılmasına ulaşacak ve beton ezilecektir. Çelik aktığı için gerilmesi f_{yd} olacaktır. Kırılma anına ait iç kuvvet durumu şekilde görülmektedir. Kesit boyutları ile beton ve çelik sınıfı bilindiğinden d , b_w , ϵ_{sd} , f_{yd} , f_{cd} , k_1 ve k_3 bellidir. Tarafsız eksenin derinliği c_b şekil değiştirme diyagramından orantı ile bulunabilir. c_b belli olunca basınç bloğu derinliği $a=k_1 c_b$ ve basınç kuvveti $F_c=k_3 f_{cd} a b_w$ hesaplanabilir. $F_c=F_s$ bağıntısından A_{sb} belirlenir. Bu işlemler sonraki izleyen sayfalarda verilmiştir.



Dengeli donatı oranı (tanım):

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w d}$$

Uygunluk (süreklilik) koşulu (şekil değiştirme diyagramından orantı ile):

$$\frac{0.003}{\epsilon_{sd}} = \frac{c_b}{d - c_b}$$

$$c_b = \frac{0.003}{0.003 - \epsilon_{sd}} d$$

dengeli kırılma anındaki tarafsız eksenin yeri (derinliği) bulunur. Burada $\epsilon_{sd} = f_{yd}/E_s$ dir ve çelik sınıfına bağlı değerler tabloda verilmiştir.

Çelik akma anında ϵ_{sd} değerleri

| Çelik sınıfı | $\epsilon_{sd} = f_{yd}/E_s$ |
|---------------------|------------------------------|
| S220 | 0.000957 |
| S420, B420B, B420C | 0.001826 |
| B500A, B500B, B500C | 0.002174 |

Eksenel denge koşulu :

$$F_c - F_s = 0 \rightarrow k_3 f_{cd} a b_w - A_{sb} f_{yd} = 0 \rightarrow A_{sb} = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} a b_w$$

← dengeli kırılmaya neden olan çekme donatısı alanı

Her iki taraf $b_w d$ ye bölünürse:

$$\frac{A_{sb}}{b_w d} = k_3 \frac{f_{cd} a}{f_{yd} d}$$

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w d} \text{ ve } a = k_1 c_b \text{ yerine yazılırsa :}$$

$$\rho_b = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{k_1 c_b}{d}$$

c_b değeri yerine yazılırsa:

$$\rho_b = k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_{sd}}$$

← dengeli kırılmaya neden olan çekme donatısı oranı

Dengeli donatı oranı bulunur. Bu oran kesit boyutlarından (b_w , d , h) bağımsızdır, sadece malzemeye bağlıdır (f_{cd} , k_1 , k_3 betona; f_{yd} , ϵ_{sd} çeliğe ait sabit değerler). Değişik malzeme için ρ_b değeri hesaplanabilir.

Moment taşıma gücü:

Kırılma anındaki moment çelik kuvveti ile moment kolunun çarpımına eşittir. Beton basınç kuvveti ile moment kolunun çarpımı da aynı sonucu verir. Çelik kuvvetinden hesaplamak daha basittir.

$$M_b = A_{sb} f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

← Kırılma anındaki moment \equiv Moment taşıma gücü

Görüldüğü gibi dengeli donatı oranını ρ_b kesit boyutlarından bağımsızdır ve sadece malzemeye bağlıdır. Bu oranın bilinmesi **çok önemlidir**, çünkü:

- Bir kiriş **dengeli** veya **denge üstü** donatılmışsa **gevrek kırılır (TEHLİKELİ !)**.
- Bir kiriş **denge altı** donatılmışsa **sünek kırılır (İSTENEN KIRILMA TÜRÜ!)**.
- Kirişler daima $\rho < \rho_b$ olacak şekilde donatılır.
- Çok donatılı kiriş tehlikelidir, gevrek kırılır.

Dikdörtgen kesitli kirişlerde dengeli donatı oranları

$$\rho_b = k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_{sd}}$$

$f_{yk}=420 \text{ N/mm}^2$, C25/30 , $\gamma_{mc}=1.5$ için örnek:

$$k_1 = 0.85$$

$$k_3 = 0.85$$

$$f_{cd} = 25/1.5 = 16.67 \text{ N/mm}^2$$

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

$$E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sd} = f_{yd}/E_s = 365.22/2 \cdot 10^5 = 0.001826$$

$$\rho_b = 0.85 \cdot 0.85 \frac{16.67}{365.22} \frac{0.003}{0.003 + 0.001826}$$

$$\rho_b = 0.0205$$

EK3:

| Dikdörtgen kesitli kirişlerde dengeli donatı oranları | | | | |
|---|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Çelik | Beton | $\gamma_{mc}=1.4$ | $\gamma_{mc}=1.5$ | $\gamma_{mc}=1.7$ |
| $f_{yk}=420 \text{ N/mm}^2$ olan çelikler | C25/30 | 0.0220 | 0.0205 | 0.0181 |
| | C30/37 | 0.0254 | 0.0237 | 0.0209 |
| | C35/45 | 0.0286 | 0.0267 | 0.0235 |
| | C40/50 | 0.0314 | 0.0293 | 0.0259 |
| | C45/55 | 0.0339 | 0.0317 | 0.0280 |
| | C50/60 | 0.0362 | 0.0338 | 0.0298 |
| | C55/67 | 0.0513 | 0.0479 | 0.0423 |
| | C60/75 | 0.0537 | 0.0501 | 0.0442 |
| | C70/85 | 0.0574 | 0.0536 | 0.0473 |
| | C80/95 | 0.0599 | 0.0559 | 0.0494 |
| $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$ olan çelikler | C25/30 | 0.0172 | 0.0161 | 0.0142 |
| | C30/37 | 0.0199 | 0.0186 | 0.0164 |
| | C35/45 | 0.0224 | 0.0209 | 0.0184 |
| | C40/50 | 0.0246 | 0.0230 | 0.0203 |
| | C45/55 | 0.0266 | 0.0248 | 0.0219 |
| | C50/60 | 0.0283 | 0.0264 | 0.0233 |
| | C55/67 | 0.0402 | 0.0375 | 0.0331 |
| | C60/75 | 0.0421 | 0.0393 | 0.0347 |
| | C70/85 | 0.0450 | 0.0420 | 0.0371 |
| C80/95 | 0.0470 | 0.0438 | 0.0387 | |

- TBDY-2018 kullanılabilir en düşük betonu C25/30 en yüksek betonu C80/95 olarak tanımladığından tabloda sadece bu betonlara yer verilmiştir(Bak: TBDY-2018, Madde 7.2.5.3).
- C55/67-C80/95 betonlarına ait k_1 ve k_3 katsayıları TS EN 1992-1-1 den alınmıştır(Bak: TBDY-2018, Madde 7.2.4).
- S220 çeliği uygulamada kullanılmadığından tabloda yer verilmemiştir.

Kirişlerde donatı oranı üst ve alt sınırları-Örnek

Dengeli donatı oranı ρ_b teorik üst sınır değerdir. Güvenlik nedeniyle, uygulamada kirişin çekme donatısının oranı bu üst sınırdan biraz daha küçük kalmalıdır. Donatı oranı sıfır olamaz. O halde donatı oranının alt sınırı da olmalıdır.

TS 500:2000 ve TBDY-2018 donatı oranlarını aşağıdaki gibi sınırlandırmıştır¹. Mühendis kesite koyduğu donatının oranını kontrol etmek, yönetmelik sınırlarını sağlamak zorundadır.

Çekme donatısı oranının üst sınırı:

$$\rho - \rho' \leq 0.85\rho_b$$

$$\rho \leq 0.02$$

Çekme donatısı oranının alt sınırı:

$$\text{Açıklıkta: } \rho \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$$

$$\text{Mesnette: } \rho \geq 0.6 \frac{f_{ctk}}{f_{yk}}$$

Gövde donatısı oranının alt sınırı:

$$\rho_{gövde} \geq 0.001$$

Sargı(etriye) donatısı oranının alt sınırı:

$$\rho_w \geq 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}}$$

ρ : çekme donatısının oranı

ρ' : basınç veya montaj donatısının oranı

ρ_b : dengeli donatı oranı

f_{ctk} : betonun çekme karakteristik dayanımı

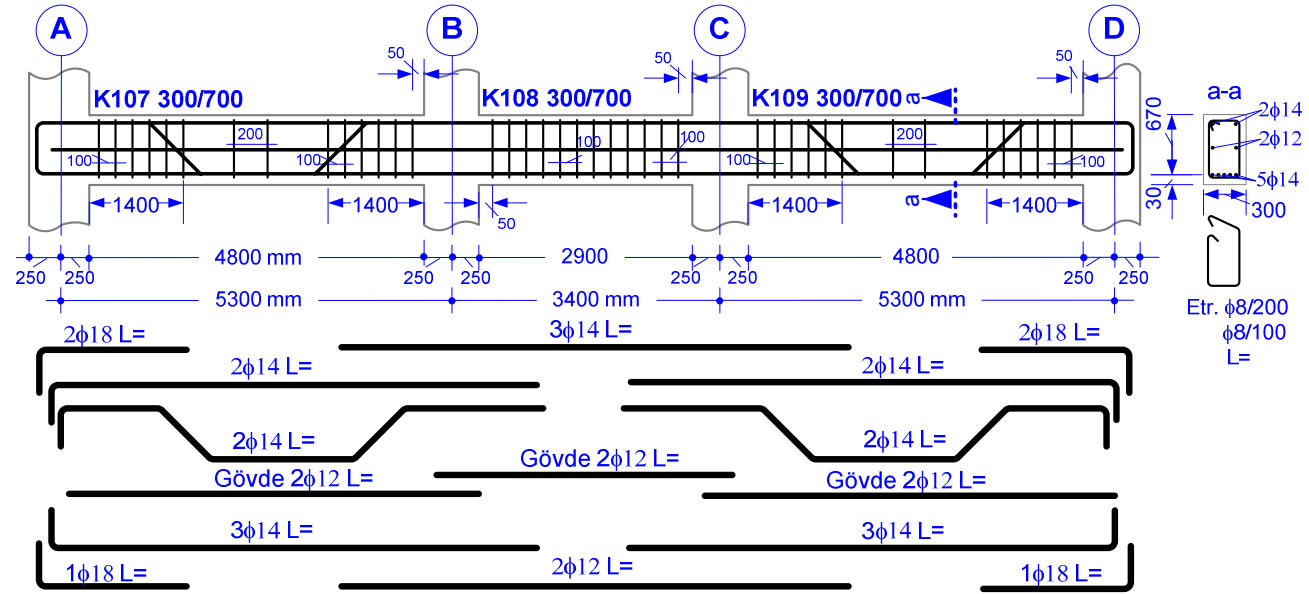
f_{ctd} : betonun çekme tasarım dayanımı

f_{yk} : boyuna donatı çeliğinin karakteristik dayanımı

f_{yd} : boyuna donatı çeliğinin tasarım dayanımı

f_{ywd} : sargı donatı çeliğinin tasarım dayanımı

¹TS 500:2000, madde 7.3 ve 8.1.5. TBDY-2018 madde 7.4.2



C25/30

B420C

Örnek:

Çizimi yukarıda verilen kiriş C25/30 betonu ve B420C çeliği ile iyi denetimli bir şantiyede inşa edilecektir. a-a kesitindeki donatıların oranları yönetmelik koşullarını sağlar mı? Kontrol ediniz.

Çözüm:

Veri hazırlığı:

$$f_{ck}=25, f_{ctk}=1.8 \text{ N/mm}^2 \text{ (EK1 den)}$$

$$f_{yk}=f_{ywk}=420 \text{ N/mm}^2 \text{ (EK2 den)}$$

$$\gamma_{mc}=1.5, \gamma_{ms}=1.15$$

$$\rho_b=0.0205 \text{ (EK3 den)}$$

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

$$f_{cd}=25/1.5=16.67 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_{mc}}$$

$$f_{ctd}=1.8/1.5=1.2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{ms}}, f_{ywd} = \frac{f_{ywk}}{\gamma_{ms}}$$

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

$$\text{Çekme donatısı: } 5\phi 14 \rightarrow A_s=770 \text{ mm}^2 \text{ (EK4 den)}$$

$$\text{Montaj donatısı: } 2\phi 14 \rightarrow A_s'=308 \text{ mm}^2$$

$$\text{Gövde donatısı } 2\phi 12 \rightarrow A_{sgövde}=226 \text{ mm}^2$$

$$\phi 8 \text{ çift kollu etriye} \rightarrow A_{sw}=2 \cdot 50=100 \text{ mm}^2$$

Donatı oranları:

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = 770/300/670 = 0.0038$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w d} = 308/300/670 = 0.0015$$

$$\rho_{gövde} = \frac{A_{sgövde}}{b_w d} = 226/300/670 = 0.0011$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w s} = 100/300/200 = 0.0017$$

Kontrol:

$$\rho - \rho' = 0.0038 - 0.0015 = 0.0023 < 0.85 \cdot 0.0205 = 0.0174 \checkmark \leftarrow \rho - \rho' \leq 0.85\rho_b$$

$$\rho = 0.0038 < 0.02 \checkmark \leftarrow \rho \leq 0.02$$

$$\rho = 0.0038 > 0.8 \cdot 1.2/365.22 = 0.0026 \checkmark \leftarrow \rho \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$$

$$\rho_{gövde} = 0.0011 > 0.001 \checkmark \leftarrow \rho_{gövde} \geq 0.001$$

$$\rho_w = 0.0017 > 0.3 \cdot 1.2/365.22 = 0.0010 \checkmark \leftarrow \rho_w \geq 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}}$$

VERİLENLER:

Eskişehir merkezde inşa edilmiş bir kirişin mesnet kesiti.

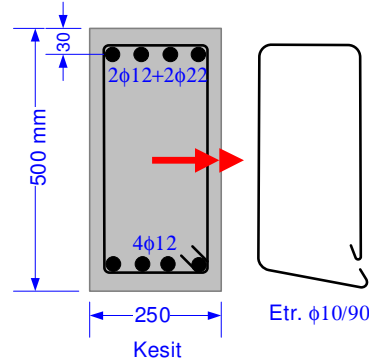
Malzeme:

C25/30 (beton)

B420C(boyuna donatı ve sargı)

İSTENENLER:

- 1.Mevcut donatı yönetmeliklere uygun mu? Kontrol ediniz.
- 2.Kesit dengeli mi, denge altı mı, denge üstü mü donatılmıştır?
- 3.Kırılırsa, nasıl kırılır?



ÇÖZÜM:

Veri hazırlığı:

$$f_{ck}=25, f_{ctk}=1.8 \text{ N/mm}^2 \text{ (EK1 den)}$$

$$f_{yk}=420 \text{ N/mm}^2 \text{ (EK2 den)}$$

$$\gamma_{mc}=1.5 \text{ (iyi denetimli beton)}$$

$$\gamma_{ms}=1.15 \text{ (her tür çelik için)}$$

$$\rho_b=0.0205 \text{ (EK3 den)}$$

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

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_{mc}} = 1.8/1.5 = 1.20 \text{ N/mm}^2$$

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

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

Çekme donatısı: 2φ12+ 2φ22 → $A_s=986 \text{ mm}^2$ (EK4 den)

Montaj donatısı: 4φ12 → $A_s'=452 \text{ mm}^2$

φ10 çift kollu etriye → $A_{sw}=2 \cdot 79=158 \text{ mm}^2$

Donatı oranları:

$$\rho = 986/250/470 = 0.0084$$

$$\rho' = 452/250/470 = 0.0038$$

$$\rho_w = 158/250/90 = 0.0070$$

Kontrol:

$$\rho - \rho' = 0.0084 - 0.0038 = 0.0046 < 0.85 \cdot 0.0164 = 0.0139 \quad \checkmark \quad \rho - \rho' \leq 0.85\rho_b$$

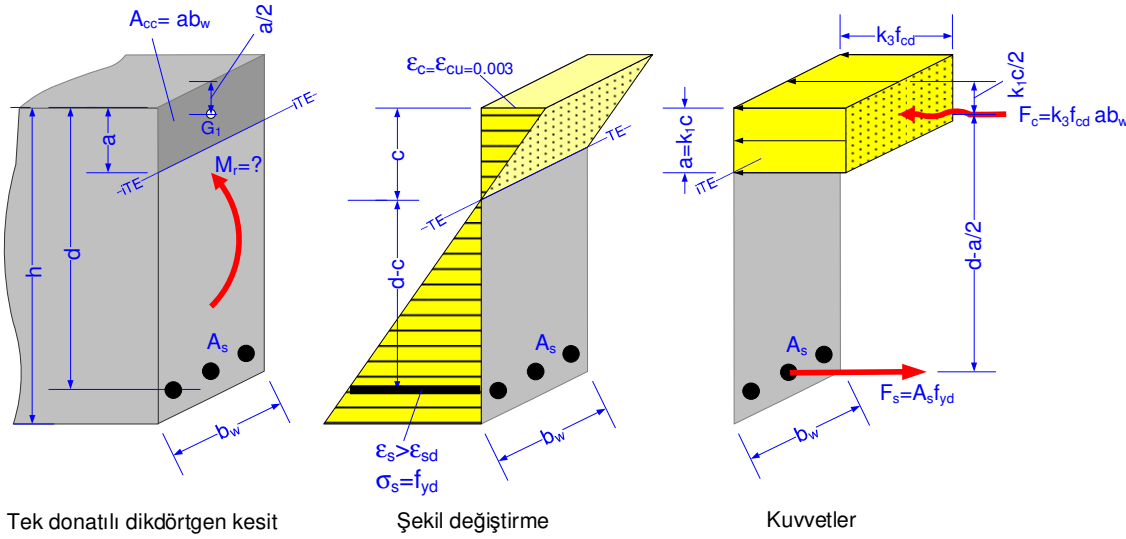
$$\rho = 0.0084 < 0.02 \quad \checkmark \quad \rho \leq 0.02$$

$$\rho = 0.0084 > 0.6 \cdot 1.8/420 = 0.0025 \quad \checkmark \quad \rho \geq 0.6 \frac{f_{ctk}}{f_{yk}}$$

$$\rho_w = 0.0070 > 0.3 \cdot 1.2/365.22 = 0.001 \quad \checkmark \quad \rho_w \geq 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}}$$

Sonuç:

- 1.Donatı oranları alt ve üst sınırları sağladığından yönetmeliklere uygundur.
2. $\rho - \rho' \leq 0.85\rho_b$ koşulu sağlandığından kesit denge altı donatılmıştır.
- 3.Kesit denge altı donatıldığından, kırılma sünek olacaktır.

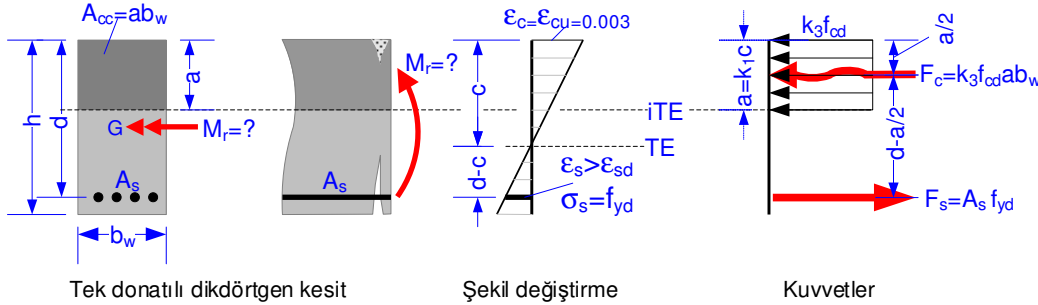


Tek donatılı dikdörtgen kesit

Şekil değiştirme

Kuvvetler

Çekme kırılması (perspektif görünüş)



Tek donatılı dikdörtgen kesit

Şekil değiştirme

Kuvvetler

Çekme kırılması (düzlem görünüş)

Denge altı donatılı kesitlerde önce çelik akar, $\epsilon_s > \epsilon_{sd}$, $\sigma_s = f_{yd}$ olur. Çelik uzamaya devam ederken betondaki birim kısalma da giderek artar, $\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.003$ olur ve beton ezilir. Kırılma süneklik (çekme kırılması). Yönetmelikler sadece denge altı donatılı kesitlere izin verirler.

Çelik aktığı için gerilmesi sabit ve f_{yd} dir, Bu nedenle $F_s = A_s f_{yd}$ çelik kuvveti bellidir. Kırılma anındaki momentin, yani kirişin M_r moment taşıma gücünün hesaplanabilmesi için a gerilme bloğu derinliğinin belirlenmesi gerekir. Çünkü moment kolu a değerine bağlıdır.

Eksenel kuvvet dengesi:

$$F_c = F_s \rightarrow k_3 f_{cd} a b_w = A_s f_{yd}$$

Basınç bloğunun derinliği:

Yukarıdaki bağıntıda sadece a bilinmemektedir, hesaplanabilir:

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{k_3 b_w f_{cd}}$$

Tarafsız eksenin yeri:

$$a = k_1 c \rightarrow c = a / k_1$$

Kirişin moment taşıma gücü:

$F_s = F_c$ kuvvet çiftinin momenti kirişin kırılma anındaki momentini, yani moment taşıma gücünü verir.

$$M_r = F_s (d - a/2) = F_c (d - a/2)$$

olur. M_r yi çelik kuvvetinden hesaplamak daha basittir:

$$M_r = A_s f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Kesit boyutları (b_w , d , h), donatı alanı (A_s), malzemesi (beton/çelik sınıfı) ve denge altı donatıldığı bilinen dikdörtgen kesit moment taşıma gücü (M_r) ne kadardır?

ÖRNEK: Tek donatılı, denge altı donatılmış, dikdörtgen kesitli kirişin taşıma gücü

VERİLENLER:

İyi denetimli bir şantiyede yapılmış kirişin boyutları, donatısı, g (sabit) ve q (hareketli) karakteristik yükleri, malzemesi: C25/30-B420C. Montaj donatısı ve sargı verilmemiştir, hesaplarda dikkate alınmayacaktır.

İSTENENLER:

Kiriş verilen yükleri güvenle taşıyabilir mi? Kırılma anındaki şekil değiştirme ve iç kuvvet durumunu şekil üzerinde gösteriniz.

ÇÖZÜM:

Kirişin güvenli olması için,
1) Gevrek kırılma önlenmiş, yani kiriş denge altı donatılı olmalı, donatı oranı aşağıdaki koşulları sağlamalı:

$$\rho \leq 0.85 \rho_b, \rho \leq 0.02 \quad (\text{max donatı oranı})$$

$$\rho \geq 0.8 f_{ctd}/f_{yd} \quad (\text{min donatı oranı})$$

2) Kirişin moment taşıma gücü, yüklerden oluşan tasarım momentinden büyük veya eşit olmalı¹: $M_r \geq M_d$

C25/30-B420C malzemesi için:

$$\gamma_{mc}=1.5, \gamma_{ms}=1.15, k_1=0.85, k_3=0.85, \rho_b=0.0205$$

$$f_{ck}=25 \text{ N/mm}^2, f_{ctk}=1.8 \text{ N/mm}^2, f_{yk}=420 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd}=25/1.5=16.67 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.8/1.5=1.20 \text{ N/mm}^2$$

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

Çekme donatısı oranı kontrolü:

$$4\phi 18 \rightarrow A_s=1018 \text{ mm}^2, \rho=1018/(250 \cdot 470)=0.0087$$

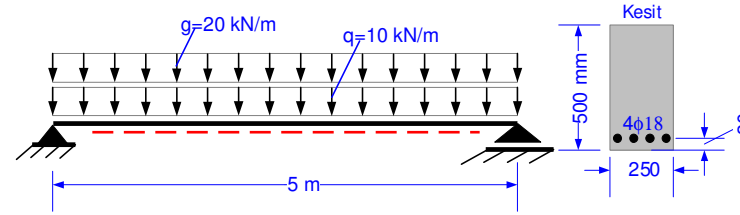
$$\rho=0.0087 < 0.85 \rho_b=0.85 \cdot 0.0205=0.0174 \quad (\text{denge altı donatılı}) \quad \checkmark$$

$$\rho=0.0087 < 0.02 \quad \checkmark$$

$$\rho=0.0087 > 0.8 \cdot 1.20/365.22=0.0026 \quad \checkmark$$

¹ Kirişin güvenli olması için $V_r \geq V_d$ koşulunun da sağlanması gerekir.

Kesme hesabı henüz anlatılmadığı için bu kontrol yapılmayacaktır.

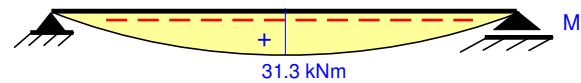
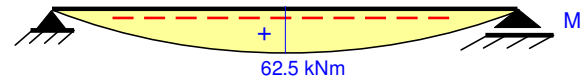


Tasarım momenti:

$$M_g = 20 \cdot 5^2/8 = 62.5 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (\text{sabit yükten})$$

$$M_q = 10 \cdot 5^2/8 = 31.3 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (\text{hareketli yükten})$$

Karakteristik yük etkileri



$$M_d = 1.4 \cdot 62.5 + 1.6 \cdot 31.3 = 137.6 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (\text{tasarım momenti})$$

Basınç bloğu ve tarafsız eksenin derinliği:

$$a = 1018 / (0.85 / 250 \cdot 365.22 / 16.67) = 105.0 \text{ mm}$$

$$c = 105.0 / 0.85 = 123.5 \text{ mm} \quad (c = a / k_1)$$

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{k_3 b_w f_{cd}}$$

Moment taşıma gücü:

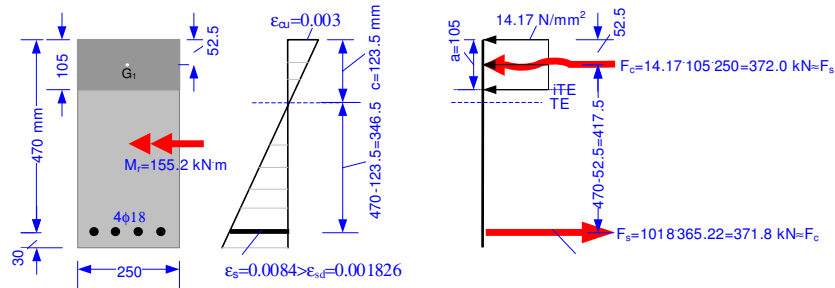
$$M_r = 1018 \cdot 365.22 \cdot (470 - 105.0/2) = 155223978 \text{ N}\cdot\text{mm} \quad (M_r = A_s f_{yd} (d - \frac{a}{2}))$$

$$M_r = 155.2 \text{ kNm} \quad (\text{moment taşıma gücü})$$

$$M_r = 155.2 \text{ kNm} > M_d = 137.6 \text{ kNm}$$

olduğundan kiriş verilen yükleri güvenle taşır. \checkmark

Kırılma anında şekil değiştirme ve iç kuvvet durumu:



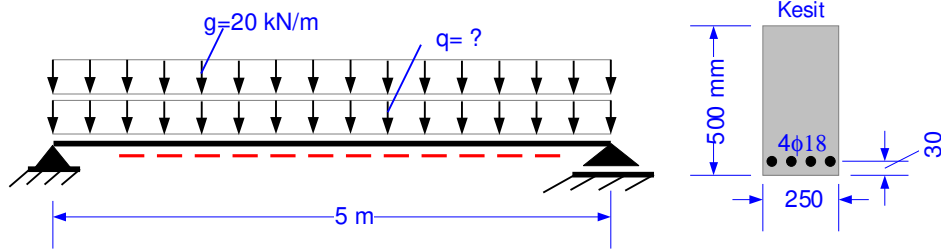
ÖRNEK: Tek donatılı, denge altı donatılmış, dikdörtgen kesitli kirişin taşıma gücü

VERİLENLER:

İyi denetimli bir şantiyede yapılmış kirişin boyutları, donatısı, g karakteristik sabit yükü, malzemesi: C25/30-B420C.
Montaj donatısı dikkate alınmayacaktır.

İSTENENLER:

Kirişin güvenle taşıyabileceği en büyük q karakteristik hareketli yükü ne kadardır?



ÇÖZÜM:

Yüklerden oluşan tasarım momenti kirişin moment taşıma gücünden küçük veya eşit olmalıdır¹: $M_d \leq M_r$

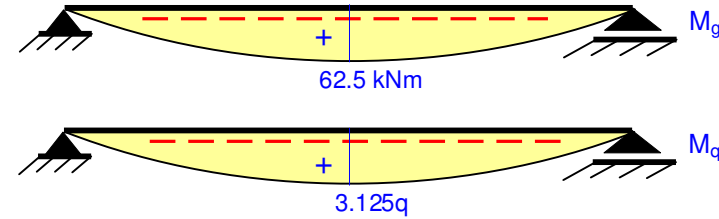
Moment taşıma gücü:

Kiriş kesiti bir önceki örnek ile aynı olduğundan moment taşıma gücü de aynıdır: $M_r = 155.2 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Tasarım momenti:

$$M_g = 20 \cdot 5^2 / 8 = 62.5 \text{ kN}\cdot\text{m} \text{ (sabit yükten)}$$

$$M_q = q \cdot 5^2 / 8 = 3.125q \text{ kN}\cdot\text{m} \text{ (hareketli yükten)}$$



$$M_d = 1.4 \cdot 62.5 + 1.6 \cdot 3.125q = 87.5 + 5.0q$$

Kirişin güvenle taşıyabileceği maksimum q karakteristik yükü:

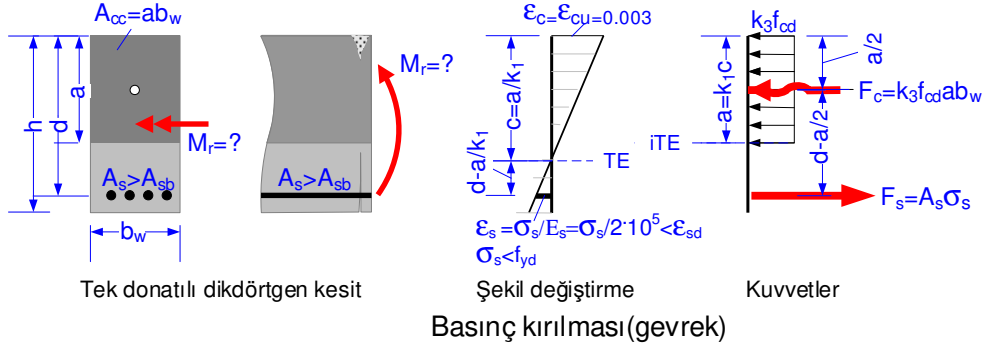
$$M_d \leq M_r \text{ olmalı.}$$

$$87.5 + 5.0q \leq 155.2$$

$$q = 13.5 \text{ kN/m bulunur.}$$

¹ Kirişin güvenli olması için $V_r \geq V_d$ koşulunun da sağlanması gerekir. Kesme hesabı henüz anlatılmadığı için bu kontrol yapılmayacaktır.

Kesit boyutları (b_w , d , h), donatı alanı (A_s), malzemesi (beton/çelik sınıfı) ve denge üstü donatıldığı bilinen dikdörtgen kesitin moment taşıma gücü (M_r) ne kadardır?



Yönetmelikler denge üstü donatılı kesitlere izin vermezler. Çünkü kırılma gevrek olur. Fakat bir nedenle denge üstü donatılmış bir kesit varsa moment taşıma gücü nasıl hesaplanacaktır?

Denge üstü donatılı kesitlerde çelik akmaz, belirgin çatlak oluşmaz, beton aniden ezilir, $\epsilon_{cu}=0.003$. Kırılma gevrek.

Çelik akmayacağı için : $\epsilon_s < \epsilon_{sd}$, $\sigma_s < f_{yd}$
 HOOKE geçerlidir : $\epsilon_s = \sigma_s / E_s = \sigma_s / 2 \cdot 10^5$

Kırılma anındaki momentin, yani kirişin M_r moment taşıma gücünün hesaplanabilmesi için çelikteki σ_s gerilmesinin ve a gerilme bloğu derinliğinin belirlenmesi gerekir. Çünkü moment kolu a değerine bağlıdır. $\rho = A_s / (b_w d)$ bilinmektedir. Bazı ara işlemler gösterilmeksizin σ_s , a ve M_r nin hesabı aşağıda verilmiştir. **Birimler N ve mm cinsindedir.**

ÇÖZÜM:

$$F_c = F_s \rightarrow k_3 f_{cd} a b_w = A_s \sigma_s \quad \text{Yatay denge}$$

$$a = \frac{A_s}{k_3 f_{cd} b_w} \sigma_s \quad \text{1} \quad \sigma_s \text{ bilinmiyor}$$

$$\frac{a/k_1}{d - a/k_1} = \frac{0.003}{\sigma_s / E_s} = \frac{600}{\sigma_s} \quad \text{Şekil değiştirme diyagramından orantı ile}$$

$$a = \frac{600 k_1 d}{\sigma_s + 600} \quad \text{2} \quad \sigma_s \text{ bilinmiyor. Birimler N ve mm alınmalıdır.}$$

$$\frac{A_s}{k_3 f_{cd} b_w} \sigma_s = \frac{600 k_1 d}{\sigma_s + 600} \quad \text{1 ve 2 bağıntıları eşitlendi}$$

$$\sigma_s^2 + 600 \sigma_s - 600 \frac{k_1 k_3 f_{cd}}{\rho} = 0 \quad \text{2° denklemde sadece } \sigma_s \text{ bilinmiyor}$$

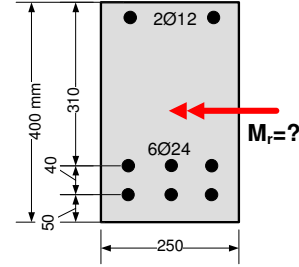
$$\sigma_s = 300 \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{1}{150 \rho} k_1 k_3 f_{cd}} \right) \quad \text{Sağ tarafta bilinmeyen yok. Bu bağıntıdan çelik gerilmesi } \sigma_s \text{ hesaplanır. 2 bağıntısında yerine konur, a hesaplanır. Birimler N ve mm alınmalıdır.}$$

$$M_r = A_s \sigma_s (d - a/2) \quad \text{Moment taşıma gücü, } M_r \text{ hesaplanır. Birimler N ve mm alınmalıdır.}$$

ÖRNEK:

Sağda görülen kiriş kesiti Eskişehir'deki eski bir yapının uygulama projesinden alınmıştır. Malzeme C25/30-S420 dir.

Kesit boyutlarının küçük, çubukların çok, kalın ve çift sıra yerleştirilmiş olması denge üstü donatılmış olabileceği şüphesini doğurmuştur. Donatı oranlarının yönetmeliklere uygunluğu kontrol edilecek ve kesitin moment taşıma gücü M_r hesaplanacaktır. M_r nin hesabında $2\phi 12$ montaj çubukları dikkate alınmayacaktır.



ÇÖZÜM:

$$f_{cd} = 25 / 1.5 = 16.67 \text{ N/mm}^2, f_{ctd} = 1.8 / 1.5 = 1.2 \text{ N/mm}^2, f_{yd} = 420 / 1.15 = 365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$k_1 = 0.85, k_1 = 0.85, \rho_b = 0.0205$$

$$\text{Min } \rho = 0.8 \cdot 1.2 / 365.22 = 0.0026$$

$$\text{Max } \rho = 0.02$$

$$\text{Max } \rho = 0.85 \rho_b = 0.85 \cdot 0.0205 = 0.0174$$

$$6\phi 24 \rightarrow A_s = 2714 \text{ mm}^2$$

$$2\phi 12 \rightarrow A'_s = 226 \text{ mm}^2$$

Donatı oranları kontrol:

$$\rho = 2714 / 250 / 330 = 0.0329$$

$$\rho' = 226 / 250 / 330 = 0.0027$$

$$\rho = 0.0329 > \text{Min } \rho = 0.0026 \quad \checkmark$$

$$\rho = 0.0329 > \text{Max } \rho = 0.02 \quad ? \quad \text{Yönetmeliklere aykırı}$$

$$\rho - \rho' = 0.0329 - 0.0027 = 0.0302 > 0.85 \rho_b = 0.0174 \quad ? \quad \text{denge üstü donatılmış, gevrek kırılır, yönetmeliklere aykırı}$$

M_r nin hesabı:

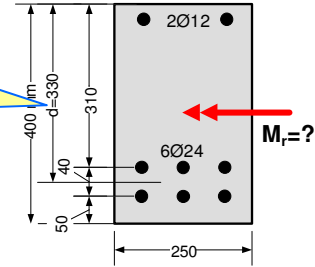
$$\sigma_s = 300 \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{1}{150 \cdot 0.0329} \cdot 0.85 \cdot 0.85 \cdot 16.67} \right) = 256.5 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Çelik akmamış !}$$

$$a = \frac{2714}{0.85 \cdot 16.67 \cdot 250} \cdot 256.5 = 196.5 \text{ mm} \quad \text{Basınç bloğu derinliği}$$

$$M_r = 2714 \cdot 256.5 \left(330 - \frac{196.5}{2} \right) = 1613300677 \text{ Nmm}$$

$$M_r = 161.3 \text{ kNm} \quad \text{Kirişteki moment, bir nedenle, bu değere ulaştığında ani olarak kırılır !}$$

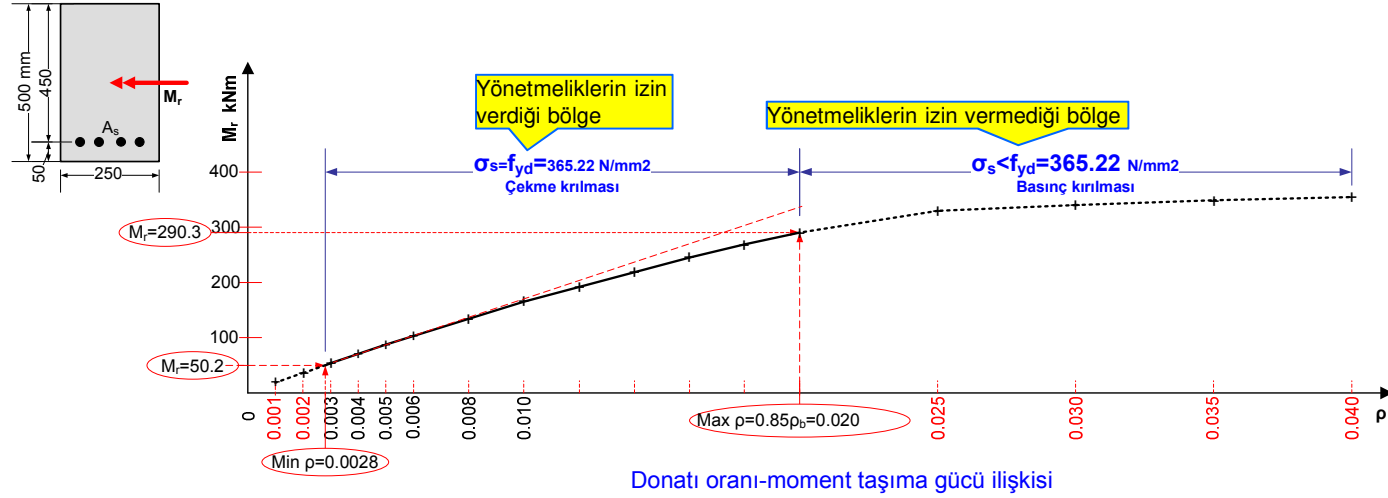
faydalı yükseklik donatı ağırlık merkezinin en çok zorlanan life mesafesidir



Sağda görülen kesitte malzeme C30/37-B420C dir: $\gamma_{mc}=1.5$, $k_1=0.82$, $\rho_b=0.0237$, $0.85 \rho_b=0.02$, $\text{Min } \rho =0.0028$, $\text{Max } \rho =0.02$ alınmıştır.

Bu kesitin farklı donatı oranları için moment taşıma gücü hesaplanarak ρ - M_r değişimi grafik olarak verilmiştir. ρ - M_r eğrisinin eğiminin $\rho < \text{Max } \rho$ durumunda büyük, $\rho > \text{Max } \rho$ durumunda küçük olduğu görülmektedir. Bundan şu sonuca varılır:

- $\rho < \text{Max } \rho$ durumunda ρ iki katına çıkarıldığında M_r de iki kata yakın artmaktadır. Örnek: $\rho = \text{Min } \rho = 0.0028$ de $M_r = 50.2$ kNm, $\rho = \text{Max } \rho = 0.02$ de $M_r = 290.3$ kNm dir. ρ daki artış $0.020/0.0028 = 7.1$ kat iken M_r deki artış $290.3/50.2 = 5.8$ kat dır.
- $\rho > \text{Max } \rho$ durumunda çelik miktarı artarken moment taşıma gücü hemen hiç artmamaktadır. Bunun nedeni, çeliğin akmaması, çelikte düşük gerilme olmasıdır. Demek ki çok çelik koymak fazla bir yarar sağlamamakta, ekonomik olmamakta, üstelik gevrek kırılmaya neden olmaktadır.
- $\rho = 0.010$ noktasında da ρ - M_r eğrisinin eğiminin az da olsa düştüğü gözlenmektedir.



Sağda görülen kesitte çelik B420C dir: $\gamma_{mc}=1.5$ alınmıştır. $A_s=1140$ mm², $\text{Min } \rho < \rho = 0.01 < \text{Max } \rho$ sağlanmaktadır.

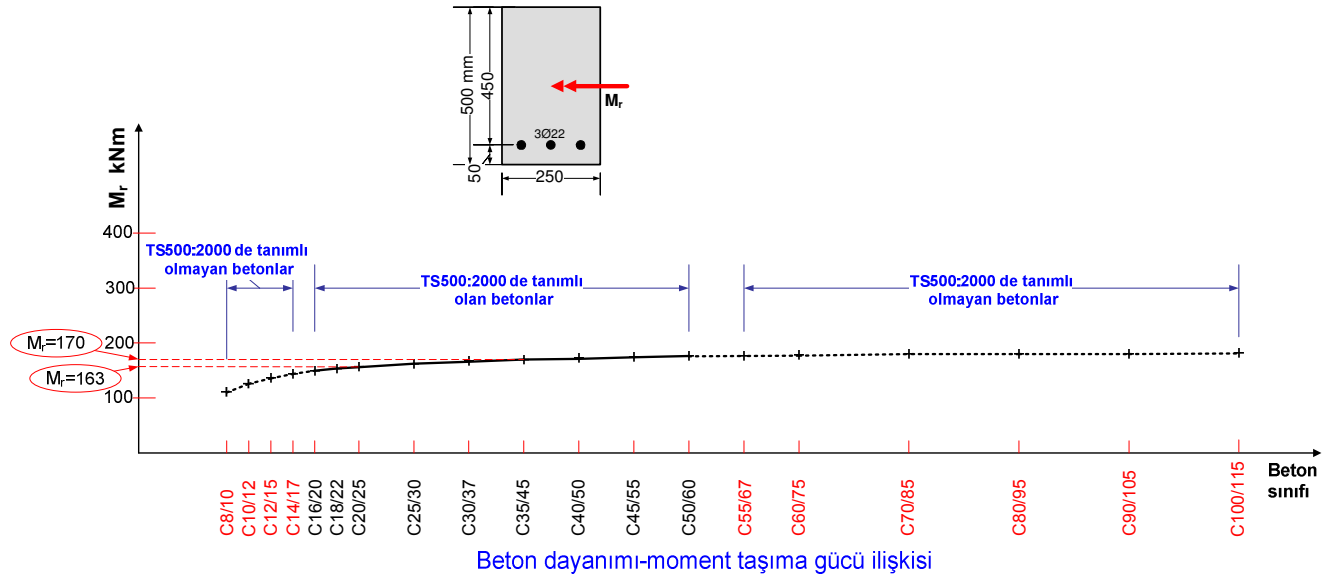
Bu kesitin farklı beton sınıfları için moment taşıma gücü hesaplanarak betonsınıfı- M_r değişimi grafik olarak verilmiştir.

Grafiğin incelenmesinden:

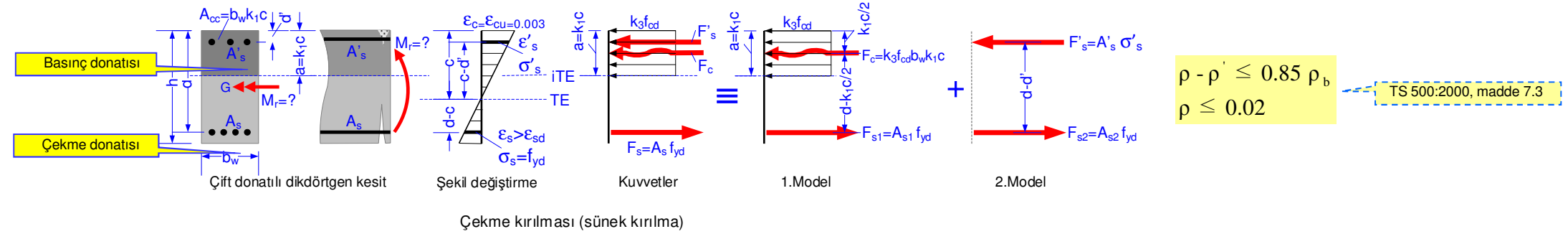
- Dayanım artışının moment taşıma gücüne kayda değer bir artış sağlamadığı
- Özellikle C30/37 ve üstü betonlarda moment taşıma gücünün aynı kaldığı

Görülmektedir.

Bu bilgiyi şöyle de yorumlayabiliriz: Eski bir yapıda projesine göre C35/45 ile inşa edilmesi gereken bir kirişin betonunun inceleme sonucu C20/25 olduğu belirlenmiş olsun. **'bu kiriş geçer'** demek doğru olmaz. Çünkü, grafikten görüldüğü gibi, kesitin her iki beton ile moment taşıma gücü neredeyse aynıdır. Dayanım kaybı $35/20 = 1.75 \rightarrow \%75$ olmasına rağmen moment taşıma gücündeki kayıp $170/163 = 1.04$, yani sadece %4 olmuştur. Eğer kesme ve burulma açısından bir sorun yoksa, beton kalitesinin öngörülenden düşük olması bir sorun yaratmayacaktır.



UYARI: Yukarıdaki açıklamalara göre, kiriş moment taşıma gücü beton sınıfına değil, çelik miktarına bağlıdır. Ancak, bu sadece moment taşıma gücü için geçerlidir. Kirişsiz döşeme(zımbalama) ve kolonlarda(yüksek eksenel kuvvet ve kesme) geçerli değildir. Kesme ve yüksek eksenel kuvvet durumunda beton sınıfı çok önemlidir. Yapıyı ayakta tutan, öncelikle, kolondur.



Tek donatılı kirişin moment taşıma gücü yetersiz kaldığında, taşıma gücünü artırmak için ya kiriş kesiti ($b_w \cdot d$) büyütülür yada basınç bölgesine de donatı konur. Şekilde basınç donatısı A'_s ile çekme donatısı da A_s ile gösterilmiştir. Basınç donatısı aynı zamanda montaj görevi görür, ayrıca montaj donatısı konmaz.

İç kuvvetler 1.modelin ve 2.modelin toplamı olarak düşünülebilir. $A_s = A_{s1} + A_{s2}$ dir. **Dengeli donatı durumunda** A'_s akar, öyleyse $\sigma'_s = f_{yd}$, $F'_s = F_{s2}$, $A'_s = A_{s2}$, $A_{s1} = A_s - A'_s$ olur. Dengeli kırılma A_{s1} donatısının akması, uzaması ve daha sonra da betonun ezilmesi ile olur. Çünkü, ikinci modelde beton kuvveti yoktur, sadece çelik çubuklarda kuvvetler vardır. A_{s2} ve A'_s sünek malzemelerdir; aksalar dahi, beton olmadığı için, ikinci modelde gevrek kırılma olmaz. O halde kırılmanın türünü tek donatılı olan birinci model belirleyecektir. Bu nedenle, A_{s1} donatısının oranı, tek donatılı kesite ait ρ_b den küçük olmalıdır.

1. Modeldeki A_{s1} donatısının oranı: $\frac{A_{s1}}{b_w d} \leq \rho_b \rightarrow \frac{A_s - A'_s}{b_w d} \rightarrow \rho - \rho' \leq \rho_b$

Eksenel denge : $F_c + F'_s - F_s = 0$

Moment taşıma gücü: $M_r = F_c (d - k_1 c / 2) + F'_s (d - d')$

Beton bileşke kuvveti : $F_c = k_3 f_{cd} b_w k_1 c$

Basınç donatısı kuvveti : $F'_s = A'_s \sigma'_s$ ($\sigma'_s = E_s \epsilon'_s \leq f_{yd}$)

Çekme donatısı kuvveti : $F_s = A_s f_{yd}$

Eksenel denge: $k_3 f_{cd} b_w k_1 c + A'_s \sigma'_s - A_s f_{yd} = 0$ **1**

Moment taşıma gücü : $M_r = k_3 f_{cd} b_w k_1 c (d - \frac{k_1 c}{2}) + A'_s \sigma'_s (d - d')$ **2**

Uygunluk koşulu : $\frac{\epsilon'_s}{0.003} = \frac{c - d'}{c} \rightarrow \epsilon'_s = 0.003 \frac{c - d'}{c}$ **3**

Basınç donatısı gerilmesi: $\sigma'_s = E_s \epsilon'_s \leq f_{yd} \rightarrow \sigma'_s = E_s \cdot 0.003 \frac{c - d'}{c} \leq f_{yd}$ **4**

(1) ve (2) bağıntılarında sadece c ve σ'_s bilinmiyor! Çözüm, basınç donatısının akıp akmadığına bağlıdır! Akmışsa $\sigma'_s = f_{yd}$ alınacaktır, akmamışsa $\sigma'_s = E_s \epsilon'_s$ den hesaplanacaktır. Basınç donatısı, en çok zorlanan beton lifine yakın olduğundan, uygulamada genellikle akar. Moment taşıma gücünün hesabı için sağda verilen adımlar izlenir.

Hesap adımları:

1. Kesit denge altı mı? bak; $\rho - \rho' \leq 0.85 \rho_b$ olmalı! ρ nun alt ve üst sınırlarını kontrol et.

2. A'_s basınç donatısının **aktığını** varsay, $\sigma'_s = f_{yd}$ al, **1** de yerine koy c yi hesapla:

$$c = \frac{(A_s - A'_s) f_{yd}}{k_1 k_3 f_{cd} b_w}$$

3. **4** den σ'_s değerini hesapla: $\sigma'_s = 0.003 E_s \frac{c - d'}{c}$

a) $\sigma'_s \geq f_{yd}$ ise A'_s basınç donatısı **akmıştır**, yani varsayım ve hesaplanan c **doğrudur**.

Bu c ve $\sigma'_s = f_{yd}$ değerini **2** de yerine koy M_r yi bul, hesabı bitir.

b) $\sigma'_s < f_{yd}$ ise, basınç donatısı **akmamıştır**, yani varsayım ve hesaplanan c doğru

değildir. **4** ifadesinin **1** de yerine konmasıyla bulunan

$$k_1 k_3 f_{cd} b_w c^2 + (0.003 E_s A'_s - A_s f_{yd}) c - 0.003 E_s A'_s d' = 0$$

bağıntısından c nin yeni değerini ve $\sigma'_s = E_s \cdot 0.003 \frac{c - d'}{c}$ değerini hesapla, bu c ve σ'_s son değerlerini **2** de yerine yaz, M_r yi bul, hesabı bitir.

VERİLENLER:

İyi denetimli şantiyede yapılmış bir kirişin açıklığına ait kesit.
Malzeme: C25/30-B420C

İSTENENLER:

Kirişin taşıma gücü ne kadardır?

ÇÖZÜM:

C25/30-B420C malzemesi için:

$$\gamma_{mc}=1.5, \gamma_{ms}=1.15$$

$$f_{ck}=25 \text{ N/mm}^2, f_{ctk}=1.8 \text{ N/mm}^2, k_1=0.85, k_3=0.85, \rho_b=0.0205$$

$$f_{yk}=420 \text{ N/mm}^2, E_s=2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd}=25/1.5=16.67 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.8/1.5=1.2 \text{ N/mm}^2$$

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

1. Donatı oranı kontrolü:

$$4\text{Ø}22 \rightarrow A_s=1570 \text{ mm}^2, \rho = 1570/(300 \cdot 450)=0.0116$$

$$3\text{Ø}12 \rightarrow A'_s=339 \text{ mm}^2, \rho' = 339/(300 \cdot 450)=0.0025$$

$$0.0116-0.0025=0.0091 < 0.85 \cdot 0.0205=0.0174 \checkmark \text{ (kiriş denge altıdır)}$$

$$\rho = 0.0116 < 0.02 \checkmark \text{ (max kontrolü)}$$

$$\rho = 0.0116 > 0.8 \cdot 1.2/365.22=0.0026 \checkmark \text{ (min kontrolü)}$$

2. A'_s basınç donatısı **akmış** varsayalım: $\sigma'_s = f_{yd} = 365.22 \text{ N/mm}^2$

$$c = (1570 - 339) \cdot 365.22 / (0.85 \cdot 0.85 \cdot 16.67 \cdot 300) = 124.4 \text{ mm}$$

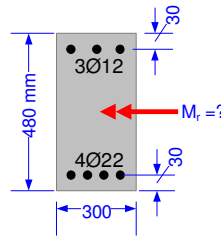
$$\sigma'_s = 0.003 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (124.4 - 30) / 124.4 = 455.3 \text{ N/mm}^2 > f_{yd} = 365.22 \text{ N/mm}^2$$

3. $\sigma'_s > f_{yd}$, yani A'_s donatısı **akmıştır**. Varsayım doğrudur, dolayısıyla $f_{yd} = 365.22 \text{ N/mm}^2$ ve $c = 124.4 \text{ mm}$ dir.

$$M_R = 0.85 \cdot 16.67 \cdot 300 \cdot 0.85 \cdot 124.4 \cdot (450 - 0.85 \cdot 124.4/2) + 339 \cdot 365.22 \cdot (450 - 30) = 230503954$$

$$\text{Nmm} = 230.5 \text{ kNm}$$

$$M_R = k_3 f_{cd} b_w k_1 c \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) + A'_s \sigma'_s (d - d')$$



VERİLENLER:

İyi denetimli şantiyede yapılmış bir kirişin açıklığına ait kesit.
Malzeme: C25/30-B420C

İSTENENLER:

Kirişin taşıma gücü ne kadardır?

ÇÖZÜM:

C25/30-B420C malzemesi için:

$$\gamma_{mc}=1.5, \gamma_{ms}=1.15$$

$$f_{ck}=25 \text{ N/mm}^2, f_{ctk}=1.8 \text{ N/mm}^2, k_1=0.85, k_3=0.85, \rho_b=0.0205$$

$$f_{yk}=420 \text{ N/mm}^2, E_s=2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd}=25/1.5=16.67 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.8/1.5=1.2 \text{ N/mm}^2$$

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

1. Donatı oranı kontrolü:

$$4\text{Ø}22 \rightarrow A_s=1570 \text{ mm}^2, \rho = 1570/(300 \cdot 450)=0.0116$$

$$3\text{Ø}20 \rightarrow A'_s=942 \text{ mm}^2, \rho' = 942/(300 \cdot 450)=0.0070$$

$$0.0116-0.0070=0.0046 < 0.85 \cdot 0.0205=0.0174 \checkmark \text{ (kiriş denge altıdır)}$$

$$\rho = 0.0116 < 0.02 \checkmark \text{ (max kontrolü)}$$

$$\rho = 0.0116 > 0.8 \cdot 1.2/365.22=0.0026 \checkmark \text{ (min kontrolü)}$$

2. A'_s basınç donatısı **akmış** varsayalım: $\sigma'_s = f_{yd} = 365.22 \text{ N/mm}^2$

$$c = (1570 - 942) \cdot 365.22 / (0.85 \cdot 0.85 \cdot 16.67 \cdot 300) = 63.5 \text{ mm}$$

$$\sigma'_s = 0.003 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (63.5 - 30) / 63.5 = 316.5 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} = 365.22 \text{ N/mm}^2$$

3. $\sigma'_s < f_{yd}$, yani A'_s donatısı **akmamıştır**. Varsayım doğru değildir, dolayısıyla c yeniden hesaplanmalıdır:

$$0.85 \cdot 0.85 \cdot 16.67 \cdot 300 c^2 + (0.003 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 942 - 1570 \cdot 365.22) c - 0.003 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 942 \cdot 30 = 0$$

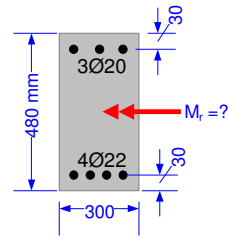
$$3613.2c^2 - 8195.4c - 16956000 = 0 \rightarrow c = 69.7 \text{ mm}$$

$$\sigma'_s = 2 \cdot 10^5 \cdot 0.003 \cdot \frac{69.7 - 30}{69.7} = 341.8 \text{ N/mm}^2$$

$$M_R = 0.85 \cdot 16.67 \cdot 300 \cdot 0.85 \cdot 69.7 \cdot (450 - 0.85 \cdot 69.7/2) + 942 \cdot 341.8 \cdot (450 - 30) = 241098297.7$$

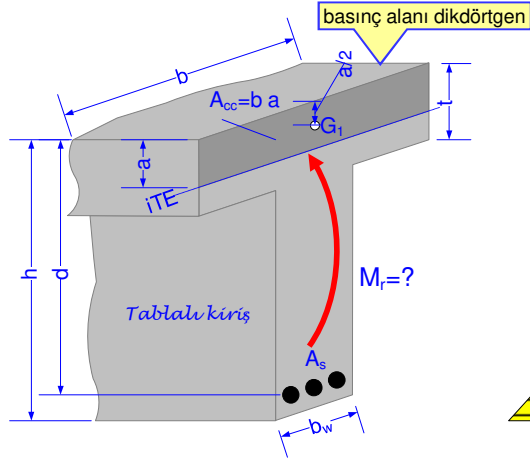
$$\text{Nmm} = 241.1 \text{ kNm}$$

$$M_R = k_3 f_{cd} b_w k_1 c \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) + A'_s \sigma'_s (d - d')$$

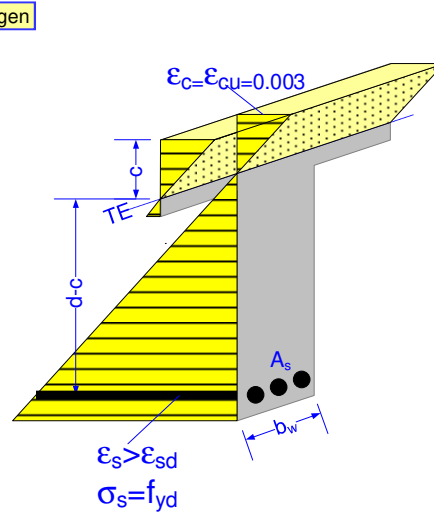


Tablalı kesitin taşıma gücü

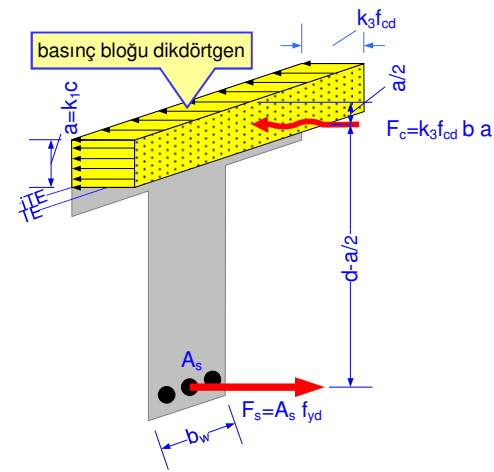
Tablalı kesitlerde, eşdeğer dikdörtgen basınç bloğunun tabla içinde kalması veya tabla altına sarkmasına bağlı olarak, iki farklı durum vardır. Basınç bloğu derinliği $a \leq t$ durumunda basınç bloğu tabla içindedir ve A_{cc} basınç alanı dikdörtgen şeklindedir. $a > t$ durumunda basınç bloğu tabla altına sarmaktadır ve A_{cc} basınç alanı T şeklinde olur. Bu iki farklı durum aşağıda gösterilmiştir.



Tek donatılı tablalı kesit

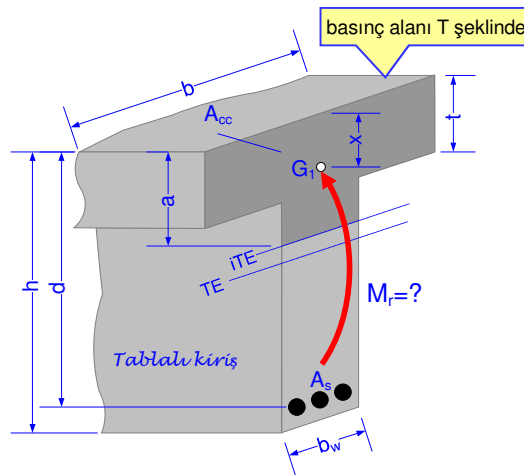


Şekil değiştirme

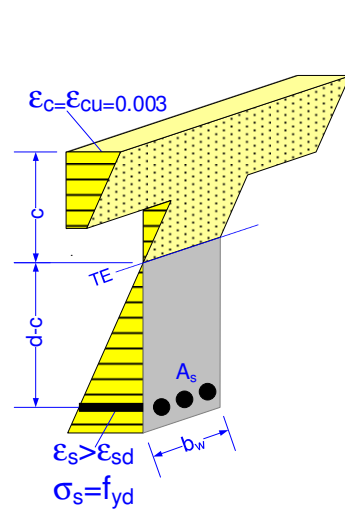


Kuvvetler

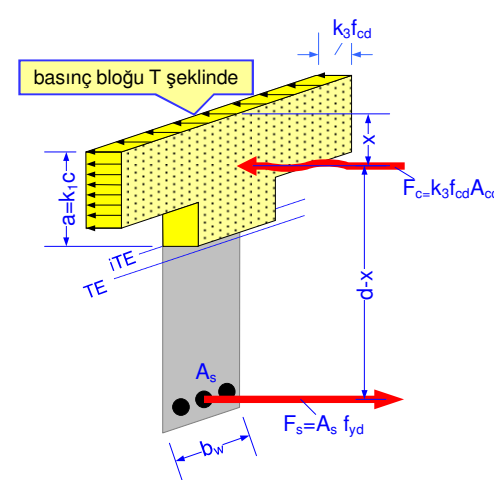
$a \leq t$ durumu (basınç alanı ve basınç bloğu dikdörtgen)



Tek donatılı tablalı kesit



Şekil değiştirme



Kuvvetler

$a > t$ durumu (basınç alanı ve basınç bloğu T şeklinde)

Basınç bloğu derinliği a nın irdelenmesi:

Basınç bloğu tabla içinde midir? Yoksa tablanın altına sarkıyor mu? Aşağıdaki gibi belirlenebilir. Eksenel denge nedeniyle $F_c=F_s$ olmak zorundadır. Basınç alanını dikdörtgen varsayarak:

$$k_3 f_{cd} a b = A_s f_{yd} \rightarrow a = A_s f_{yd} / (k_3 f_{cd} b)$$

$a \leq t$ ise basınç alanı tabla içinde kalmaktadır. Basınç alanı ve basınç bloğu dikdörtgendir.
 $a > t$ ise basınç alanı tabla altına sarkmaktadır. Basınç alanı ve basınç bloğu T şeklindedir.

Tablalı kesitlerde donatı oranı ve dengeli donatı oranı:

Tablalı kesitlerde donatı oranı dikdörtgen kesitlerdeki gibidir. Dengeli donatı oranı ise farklıdır.

Donatı oranı: $\rho = \frac{A_s}{b_w d}$

Dengeli donatı oranı: $\rho_b = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left[k_1 \frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_{sd}} + \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right) \frac{t}{d} \right]$

ρ_b bağıntısı için bakınız :
ERSOY/ÖZCEBE, S. 251-253

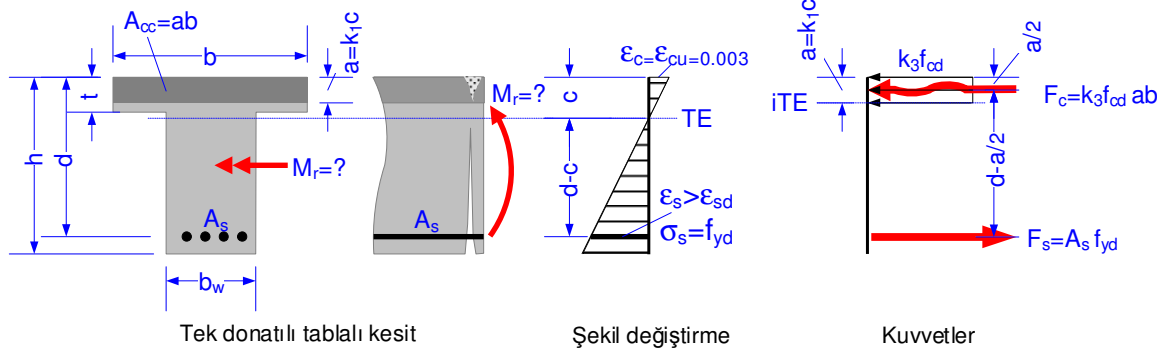
ile hesaplanır, burada $\varepsilon_{sd} = f_{yd}/E_s$ dir.

Normal yapıların birdöküm kirişlerinde b tabla genişliği büyük, $b > b_w$ dir. Tablalı kesitin ρ_b değeri dikdörtgen kesitin tablo EK3 de verilen ρ_b değerinden daha büyüktür. Basınç gerilmeleri büyük bir alana yayılır. Bu nedenle denge altı koşulu $\rho - \rho' \leq 0.85 \rho_b$ genelde kendiliğinden sağlanır.

Öndöküm (prefabrik) kirişlerde b/b_w oranı 1 e yakın olduğu için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Dikdörtgen kesitlerde $b/b_w=1$ dir. Bundan hareketle, genelleme yapılırsa, b/b_w oranı 2 den küçük olan tablalı kirişlerde $\rho - \rho' \leq 0.85 \rho_b$ denge altı koşulunun kontrol edilmesi gerekir.

$a \leq t$ durumu (A_{cc} basınç alanı ve basınç bloğu dikdörtgen):

Basınç alanı dikdörtgen olduğundan, tablalı kesitin moment taşıma gücü tek donatılı dikdörtgen kesitin taşıma gücü gibi hesaplanır. Hesapta izlenecek yol aşağıda özetlenmiştir.



Basınç alanı: $A_{cc} = ab$

Yatay denge: $k_3 f_{cd} a b - A_s f_{yd} = 0$

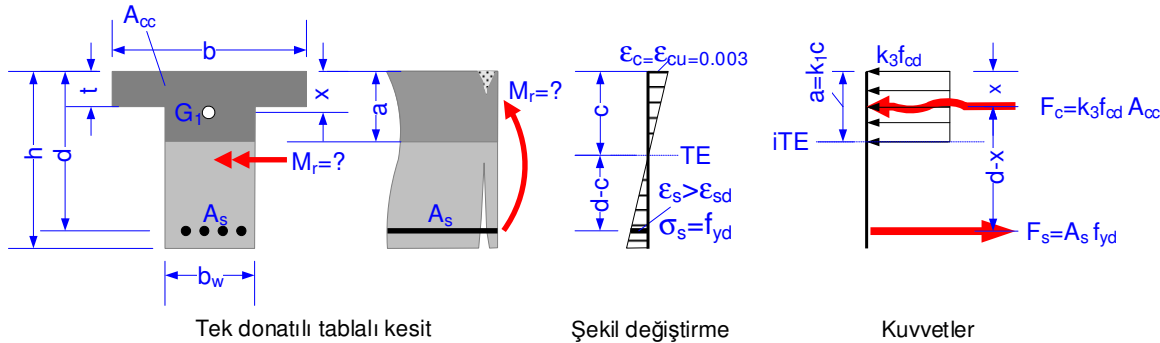
Gerilme bloğu derinliği: $a = \frac{A_s f_{yd}}{k_3 f_{cd} b}$

Tarafsız eksenin derinliği: $c = a/k_1$

Moment taşıma gücü: $M_r = A_s f_{yd} \left(d - \frac{a}{2}\right)$

$a > t$ durumu (A_{cc} basınç alanı ve basınç bloğu T şeklinde) :

Bu durumdaki tek zorluk T şeklindeki basınç alanının ve bu alanın ağırlık merkezinin (F_c kuvvetinin etkime noktasının) hesaplanmasıdır. Bu bağıntılar aşağıda özetlenmiştir.



Basınç alanı: $A_{cc} = ab_w + 2t \frac{b - b_w}{2}$

Yatay denge: $k_3 f_{cd} \left(ab_w + 2t \frac{b - b_w}{2}\right) - A_s f_{yd} = 0$

Basınç bloğu derinliği: $a = \frac{A_s f_{yd}}{k_3 f_{cd} b_w} - t \left(\frac{b}{b_w} - 1\right)$

Tarafsız eksenin derinliği: $c = a/k_1$

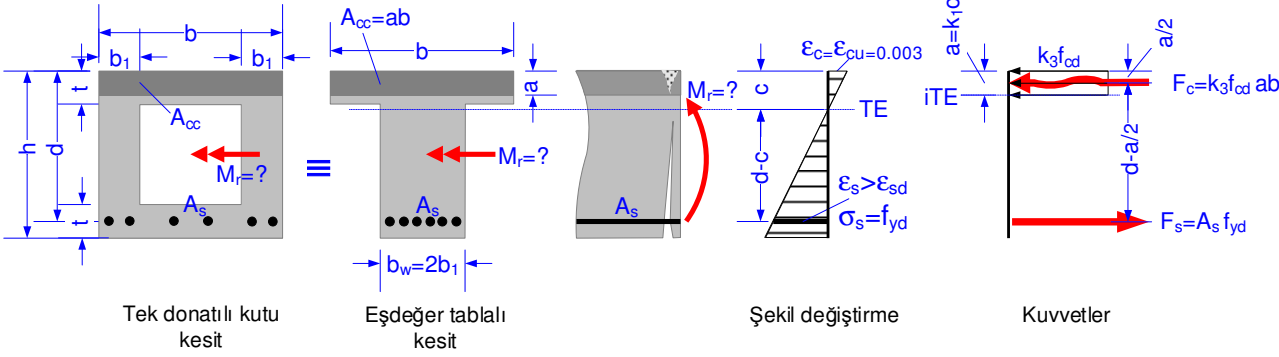
Basınç alanının ağırlık merkezi: $x = \frac{1}{2} \frac{(b - b_w)t^2 + b_w a^2}{(b - b_w)t + b_w a}$

Moment taşıma gücü: $M_r = A_s f_{yd} (d - x)$

Kutu kesitin taşıma gücü

Kutu kesitler gövde genişliği kutu kesitin düşey kollarının toplamı olan eşdeğer tablalı kesit olarak çözülebilir, $b_w=2b_1$. Altta ki tabla çekme bölgesinde kalacağından dikkate alınması gerekmez. Bu nedenle, basınç bloğu derinliğinin üst başlığın içinde kalması ve altına sarkması olmak üzere iki farklı durum vardır.

$a \leq t$ durumu (A_{cc} basınç alanı dikdörtgen):



Basınç alan:

$$A_{cc} = ab$$

Yatay denge:

$$k_3 f_{cd} ab - A_s f_{yd} = 0$$

Basınç bloğu derinliği:

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{k_3 f_{cd} b}$$

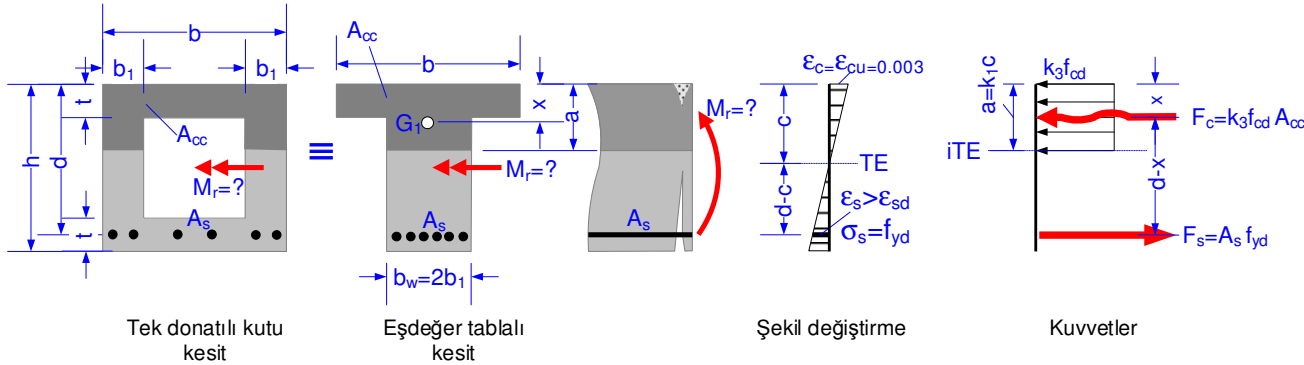
Tarafsız eksenin derinliği:

$$c = a/k_1$$

Moment taşıma gücü:

$$M_r = A_s f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$a > t$ durumu (A_{cc} basınç alanı T şeklinde):



Basınç alan:

$$A_{cc} = 2ab_1 + (b - 2b_1)t$$

Eksenel denge:

$$k_3 f_{cd} [2ab_1 + (b - 2b_1)t] - A_s f_{yd} = 0$$

Basınç bloğu derinliği:

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{2b_1 k_3 f_{cd}} - t \left(\frac{b}{2b_1} - 1 \right)$$

Tarafsız eksenin derinliği:

$$c = a/k_1$$

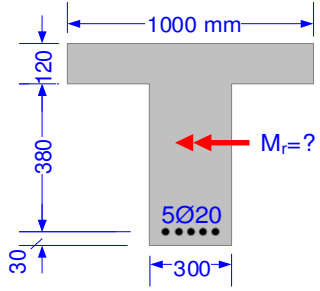
Basınç alanının ağırlık merkezi:

$$x = \frac{1}{2} \frac{(b - 2b_1)t^2 + 2b_1 a^2}{(b - 2b_1)t + 2b_1 a}$$

Moment taşıma gücü:

$$M_r = A_s f_{yd} (d - x)$$

ÖRNEK: Tablalı kesitin taşıma gücü



VERİLENLER:

İyi denetimli bir şantiyede yapılmış kirişin açıklığına ait kesit boyutları, donatısı. Malzeme: C25/30- B420C.

İSTENENLER:

Kirişin moment taşıma gücü ne kadardır?

Montaj ve sargı donatısı verilmediğinden hesaplarda dikkate alınmayacaktır.

ÇÖZÜM

C25/30-B420C malzemesi için:

$$\gamma_{mc} = 1.5, \gamma_{ms} = 1.15$$

$$f_{cd} = 25/1.5 = 16.67 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = 1.8/1.5 = 1.2 \text{ N/mm}^2$$

$$k_1 = 0.85, k_3 = 0.85$$

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

$$\epsilon_{sd} = 0.001826$$

Basınç alanı tabla içinde mi? İrdeleyelim:

5Ø20 → $A_s = 1571 \text{ mm}^2$ (5Ø20 nin alanı)

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{k_3 f_{cd} b}$$

$$a = 1571 \cdot 365.22 / (0.85 \cdot 16.67 \cdot 1000) = 40.5 \text{ mm.}$$

$a < t = 120 \text{ mm}$ olduğundan basınç bloğu tabla içindedir.

Basınç alanı dikdörtgenidir. Bu nedenle hesabın devamı **ast durumu** için yapılmalıdır, dikdörtgen basınç alanı varsayımı ve $a = 40.5 \text{ mm}$ değeri doğrudur.

Donatı oranı kontrolü:

$$\rho = 1571 / (300 \cdot 500) = 0.0104,$$

$$\rho_b = 0.0205 \text{ (basınç alanı dikdörtgen olduğundan tablo EK3 den alındı),}$$

$$\rho = 0.0104 < 0.85 \cdot 0.0205 = 0.0174 \checkmark \text{ (denge altı kontrolü)}$$

$$\rho < 0.02 \checkmark \text{ (max kontrolü)}$$

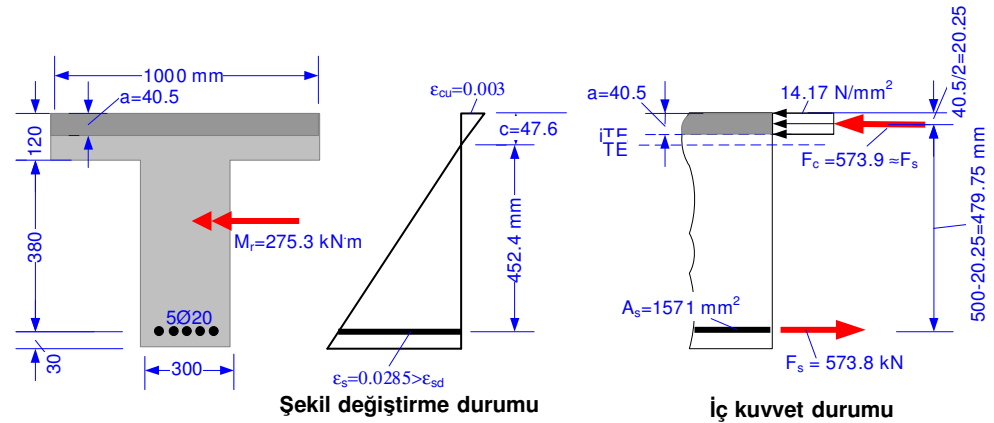
$$\rho > 0.8 \cdot 1.2 / 365.22 = 0.0026 \checkmark \text{ (min kontrolü)}$$

Tarafsız eksenin derinliği:

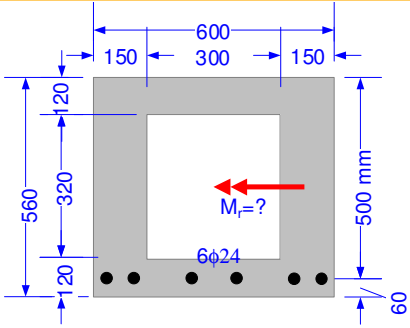
$$c = 40.5 / 0.85 = 47.6 \text{ mm} \leftarrow c = a / k_1$$

Moment taşıma gücü:

$$M_r = 1571 \cdot 365.22 \cdot (500 - 40.5 / 2) = 275.3 \text{ kN}\cdot\text{m} \leftarrow M_r = A_s f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right)$$



ÖRNEK: Kutu kesitin taşıma gücü



VERİLENLER:

İyi denetimli bir şantiyede yapılmış kirişin açıklığına ait kesit boyutları, donatısı.
Malzeme: C25/30-B500C.

İSTENENLER:

Kirişin moment taşıma gücü ne kadardır?
Montaj ve sargı donatısı verilmediğinden hesaplarda dikkate alınmayacaktır.

ÇÖZÜM:

C25/30-B500C malzemesi için:

$$\gamma_{mc}=1.5, \gamma_{ms}=1.15$$

$$f_{cd}=25/1.5=16.67 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.8/1.5=1.2 \text{ N/mm}^2$$

$$k_1=0.85 \quad k_3=0.85$$

$$f_{yd}=500/1.15=434.78 \text{ N/mm}^2, \epsilon_{sd}=0.0022$$

Basınç alanı tabla içinde mi? İrdeleyelim:

$$6\phi 24 \rightarrow A_s=2714 \text{ mm}^2 \text{ (6}\phi 24 \text{ ün alanı)}$$

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{k_3 f_{cd} b}$$

$$a=2714 \cdot 434.78 / (0.85 \cdot 16.67 \cdot 600)=138.8 \text{ mm.}$$

$a > t=120 \text{ mm}$ olduğundan basınç bloğu tabla altına sarkmaktadır. Basınç alanı T şeklindedir. Bu nedenle hesabın devamı **a>t durumu** için yapılmalıdır, dikdörtgen basınç alanı varsayımı ve $a=138.8 \text{ mm}$ değeri geçersizdir. a değeri yeniden hesaplanmalıdır.

Donatı oranı kontrolü:

$$\rho = 2714 / (2 \cdot 150 \cdot 500) = 0.0180$$

$$\rho_b = 0.85 \cdot 16.67 / 434.78 [0.85 \cdot 0.003 / (0.003 + 0.0022) + (600/300 - 1) \cdot 120/500]$$

$$\rho_b = 0.0238$$

$$\rho = 0.0180 < 0.85 \cdot 0.0238 = 0.0202 \quad \checkmark \text{ (denge altı kontrolü)}$$

$$\rho < 0.02 \quad \checkmark \text{ (max kontrolü)}$$

$$\rho > 0.8 \cdot 1.2 / 434.78 = 0.0022 \quad \checkmark \text{ (min kontrolü)}$$

$$\rho_b = k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left[k_1 \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_{sd}} + \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right) \frac{t}{d} \right]$$

Basınç bloğu derinliği:

$$a = \frac{2714 \cdot 434.78}{2 \cdot 150 \cdot 0.85 \cdot 16.67} - 120 \left(\frac{600}{2 \cdot 150} - 1 \right) = 157.6 \text{ mm}$$

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{2 b_1 k_3 f_{cd}} - t \left(\frac{b}{2 b_1} - 1 \right)$$

$$\text{Tarafsız eksenin derinliği: } c = 157.6 / 0.85 = 185.4 \text{ mm} \quad \leftarrow c = a / k_1$$

Basınç alanının ağırlık merkezi:

$$x = \frac{1}{2} \frac{(600 - 2 \cdot 150) \cdot 120^2 + 2 \cdot 150 \cdot 157.6^2}{(600 - 2 \cdot 150) \cdot 120 + 2 \cdot 150 \cdot 157.6} = 70.7 \text{ mm}$$

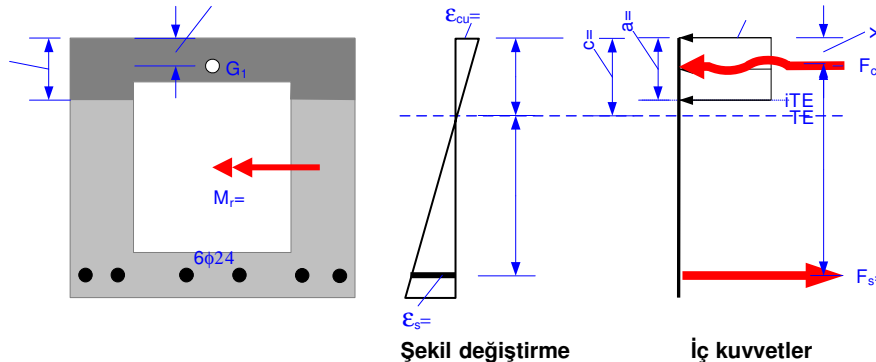
$$x = \frac{1}{2} \frac{(b - 2b_1)t^2 + 2b_1 a^2}{(b - 2b_1)t + 2b_1 a}$$

Moment taşıma gücü:

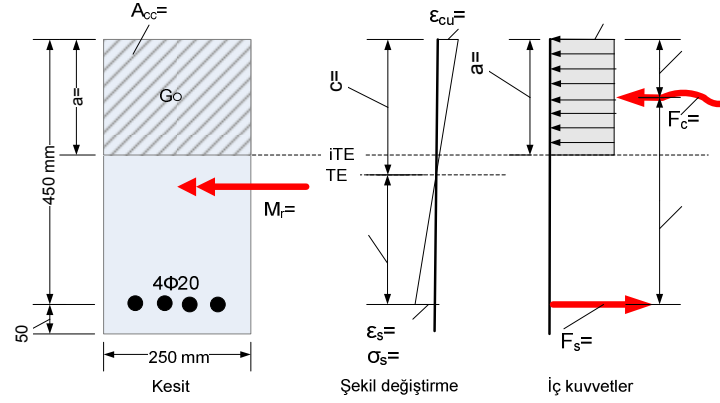
$$M_r = 2714 \cdot 434.78 (500 - 70.7) = 506570961 \text{ Nmm} = 506.6 \text{ kNm}$$

$$M_r = A_s f_{yd} (d - x)$$

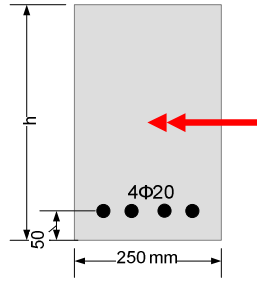
Tamamlayınız !



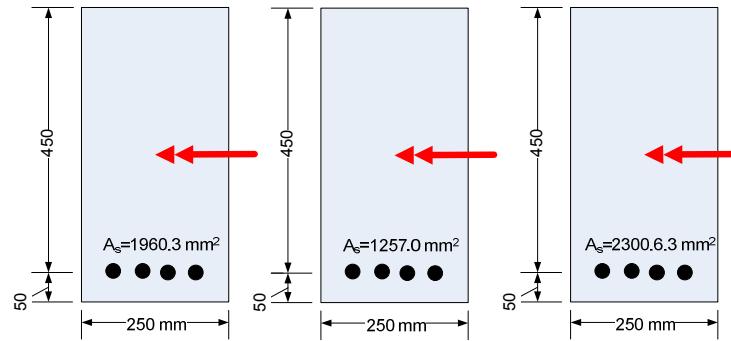
1. İyi denetimli bir şantiyede C25/30-B420C malzemesi ile üretilen bir kirişin kesiti verilmiştir. Şekil değiştirme ve iç kuvvet diyagramlarında bilinmeyen büyüklükleri belirleyerek şekil üzerine yazınız.



2. İyi denetimli bir şantiyede C30/37-B420C malzemesi ile üretilmek istenen bir kirişin kesiti verilmiştir. Kırılmanın sünek olması için h yüksekliği en az ne kadar olmalıdır?

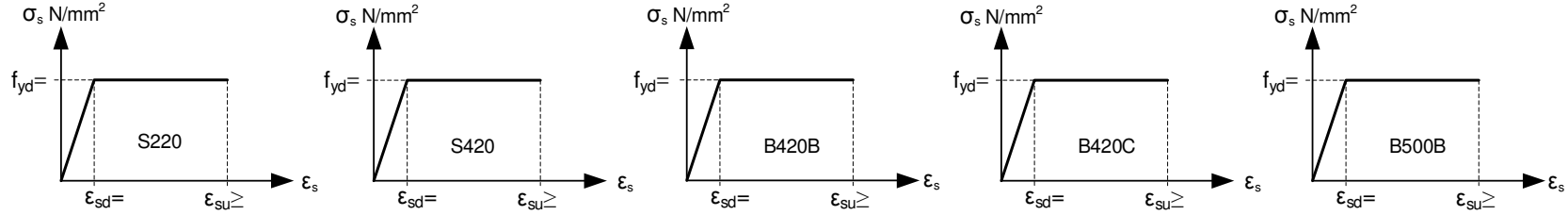


3. İyi denetimli bir şantiyede C25/30-B420C malzemesi ile üretilmek istenen kirişlerin kesitleri sağda verilmiştir. Kırılma türünü (çekme-sünek, basınç-gevrek, ... gibi) belirleyerek kesitlerin altına yazınız.

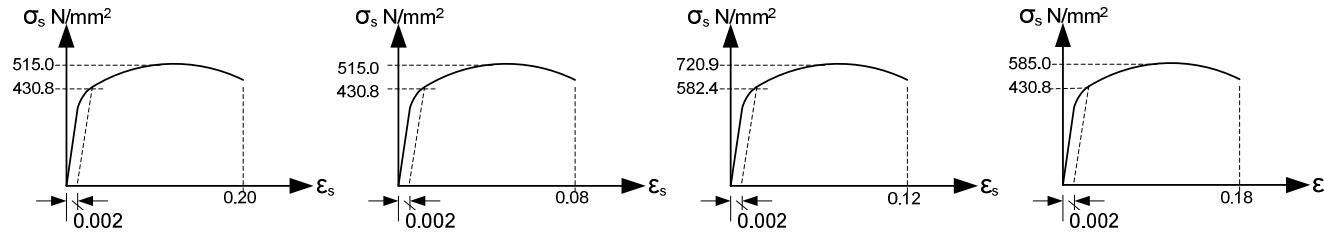


4. Standart bir silindirik beton numunesi 10 N/mm^2 yanal basınç altında basınç deneyine tabi tutulmuştur. Betonun dayanımı 70 N/mm^2 ve ezilme anındaki boyu 291.6 mm olarak ölçülmüştür. Bu betonun yanal gerilmesiz dayanımı ne kadardır? Gerilme-birim kısalma eksenlerinde tahmini grafiğini çiziniz.

5. TS 708:2010 da tanımlı bazı çeliklerin gerilme-şekil değiştirme modelleri aşağıda verilmiştir. f_{yd} , ϵ_{sd} , ϵ_{su} değerlerini şekil üzerine yazınız. Kiriş, kolon ve perdelerin uçlarında boyuna donatı olarak hangileri kullanılamaz?

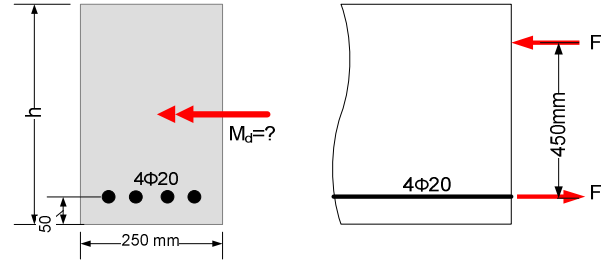


6. Farklı çelik üreticilerinden şantiyeye gelen nervürlü çeliklerin laboratuvar çekme deneyi sonucunda çizilen gerilme-birim uzama eğrileri aşağıda verilmiştir. Çeliklerin deprem yönetmeliği koşullarını sağlayıp-sağlamadığını şekillerin altına yazınız. Şantiye sorumlusu siz olduğunuzu varsayın. Sağlamıyorsa ne yaparsınız?

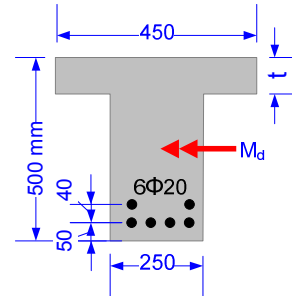


7. Bir kirişin boyuna kesiti sağda verilmiştir. F_s ve F_c kirişin kırıldığı andaki iç kuvvetlerdir. Malzeme C30/37-B420C, denetim iyidir.

a) Kirişi kıran moment ne kadardır? b) h ne kadardır? c) çelikteki birim uzama ne kadardır?

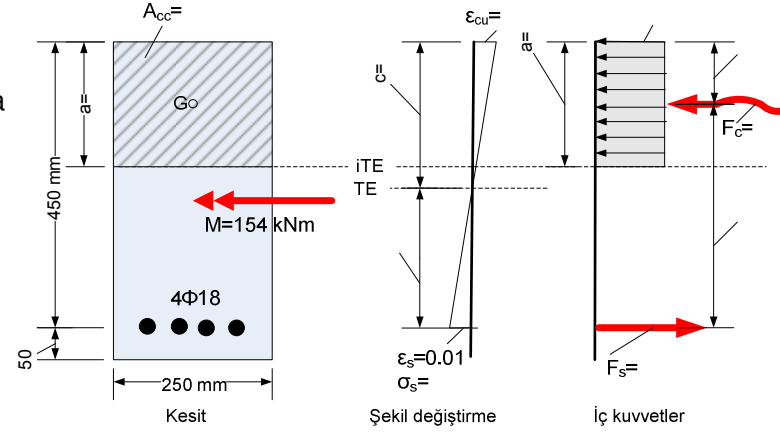


8. Prefabrik olarak üretilecek sağdaki kirişte basınç bloğunun tabla içinde kalması için t en az ne kadar olmalıdır? Malzeme C30/37-B420C.



9. İyi denetimli bir şantiyede C30/37-B420C malzemesi ile üretilmiştir. Yapılan deneyde kiriş yavaş yavaş yüklenmiş, moment $M=154$ kNm olunca çelik birim uzaması $\epsilon_s=0.01$ olarak ölçülmüştür.

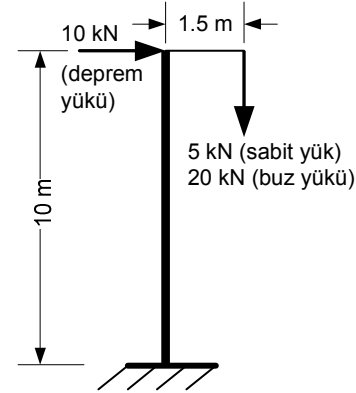
- a) Şekil değiştirme ve iç kuvvet diyagramlarında bilinmeyen büyüklükleri belirleyerek şekil üzerine yazınız.
b) Kiriş kırılmış mıdır? Neden?



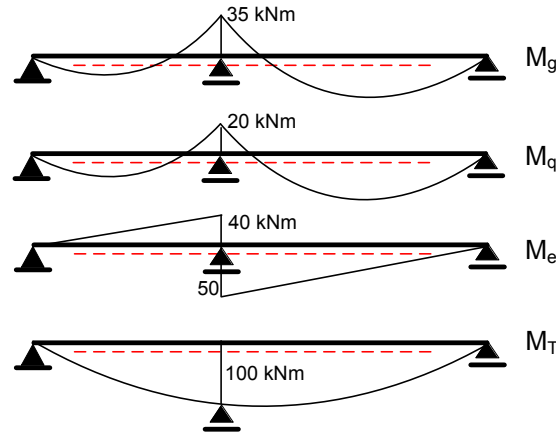
10. Sağdaki betonarme elektrik direğinin kesiti 300 mm çaplı dairedir. Direk deprem, sabit ve buz yükleri etkisindedir. Hareketli yük yoktur. Direğin kendi yükünü de dikkate alarak, direğin alt ucundaki:

- a) Tasarım eksenel kuvvetlerini b) Tasarım momentlerini c) Tasarım kesme kuvvetlerini hesaplayınız.

(Not: direğin alt ucundaki kendi yükünü=direğin hacmi(m^3) \times 25 kN alınız).



11. Sağdaki kirişin mesnet çökmesi ve sabit, hareketli ve deprem yüklerinden orta mesnedinde oluşan momentleri verilmiştir. Mesnetteki tasarım momentlerini hesaplayınız. Hangi moment için kirişin neresine donatı konulmalıdır.



12. Prefabrik olarak üretilcek bir kirişin kesiti solda verilmiştir. Malzeme C35/40-B420C dir. Dengeli donatı oranını ve dengeli kırılmaya neden olan momenti bulunuz. Montaj donatısı verilmemiştir, hesaplarda dikkate alınmayacaktır.

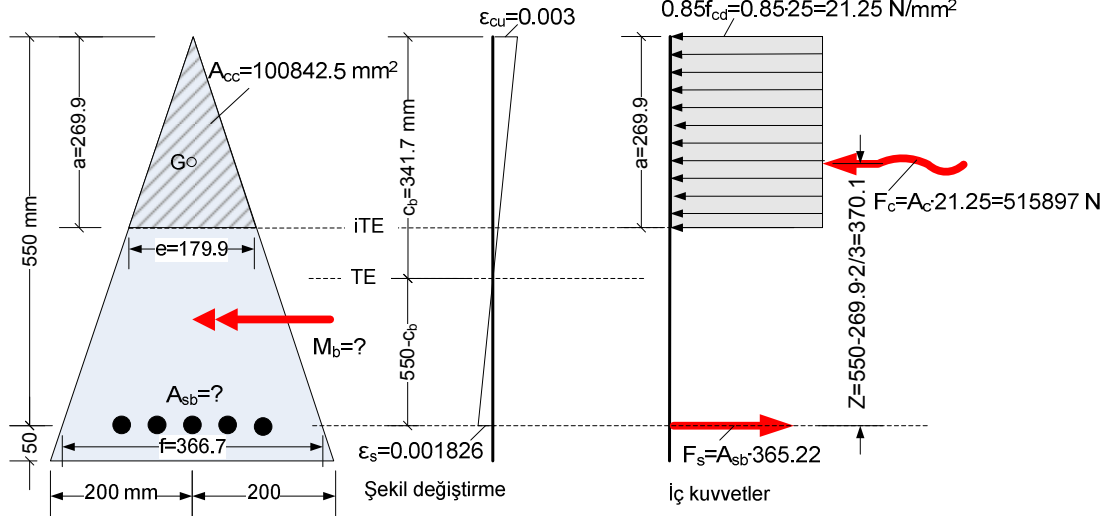
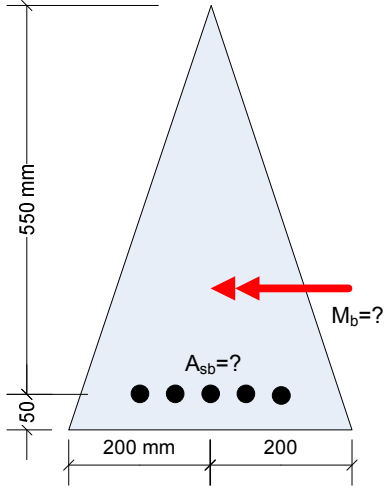
ÇÖZÜM:

$$\gamma_{mc}=1.4, \gamma_{ms}=1.15$$

$$f_{cd}=35/1.4=25.0 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=420/1.15=365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{cu}=0.003, \epsilon_s=\epsilon_{sd}=0.001826 \text{ (dengeli kırılma koşulu)}$$

$$k_1=0.79, k_3=0.85$$



$$\frac{c_b}{550 - c_b} = \frac{0.003}{0.001826} \rightarrow c_b = 341.7 \text{ mm (tarafsız eksenin derinliği)}$$

$$a = k_1 c = 0.79 \cdot 341.7 = 269.9 \text{ mm (basınç bloğu derinliği)}$$

$$\frac{e}{400} = \frac{269.9}{600} \rightarrow e = 179.9 \text{ mm}$$

$$A_{cc} = 179.9 \cdot 269.9 / 2 = 24277.5 \text{ mm}^2 \text{ (basınç alanı)}$$

$$F_c = A_{cc} \cdot 21.25 = 24277.5 \cdot 21.25 = 515897 \text{ N (basınç kuvveti)}$$

$$F_s = F_c \rightarrow A_{sb} \cdot 365.22 = 515897 \rightarrow A_{sb} = 1413 \text{ mm}^2 \text{ (dengeli donatı alanı)}$$

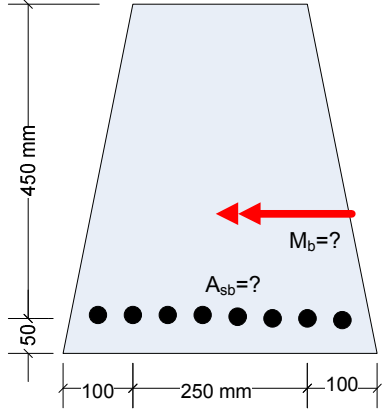
$$\frac{f}{400} = \frac{550}{600} \rightarrow f = 366.7 \text{ mm}$$

$$A_c = 366.7 \cdot 550 / 2 = 100842.5 \text{ mm}^2 \text{ (faydalı kesit alanı)}$$

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{A_c} = \frac{1413}{100842.5} = 0.0140 \text{ (dengeli donatı oranı)}$$

$$Z = 550 - 269.9 \cdot 2/3 = 370.1 \text{ mm (moment kolu)}$$

$$M_b = 515.9 \cdot 0.370 = 190.9 \text{ kNm (dengeli kırılmaya neden olan moment)}$$



14. Ankara'da üretilecek bir kirişin kesiti solda verilmiştir. Malzeme C25/30-B420C dir. Dengeli donatı oranını ve dengeli kırılmaya neden olan momenti bulunuz. Montaj donatısı verilmemiştir, hesaplarda dikkate alınmayacaktır.

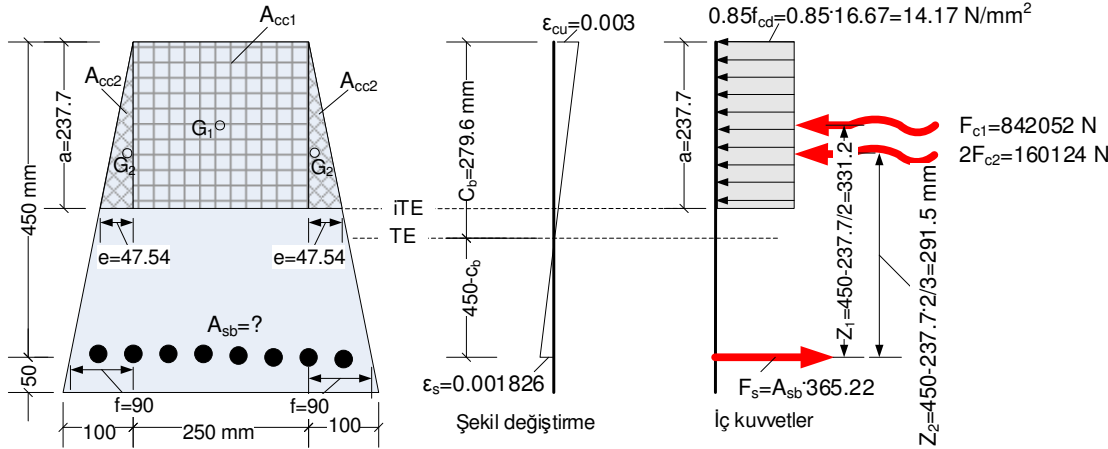
ÇÖZÜM:

$$\gamma_{mc}=1.5, \gamma_{ms}=1.15$$

$$f_{cd}=25/1.5=16.67 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=420/1.15=365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{cu}=0.003, \epsilon_s=\epsilon_{sd}=0.001826 \text{ (dengeli kırılma koşulu)}$$

$$k_1=0.85, k_3=0.85$$



Hesabı basitleştirmek için, basınç alanını ağırlık merkezini bildiğimiz bir dikdörtgen A_{cc1} ve iki üçgen A_{cc2} alana böldük. Bu alanların G_1 ve G_2 ağırlık merkezlerine etkiyen F_{c1} ve $2F_{c2}$ beton basınç kuvvetlerini ve bu kuvvetlerin moment kollarını hesaplamak basitleşmektedir.

$$\frac{c_b}{450 - c_b} = \frac{0.003}{0.001826} \rightarrow c = 279.6 \text{ mm}$$

$$a = k_1 c = 0.85 \cdot 279.6 = 237.7 \text{ mm (basınç boğu derinliği)}$$

$$A_{cc1} = 250 \cdot 237.7 = 59425 \text{ mm}^2$$

$$\frac{e}{100} = \frac{237.7}{500} \rightarrow e = 47.54 \text{ mm}$$

$$A_{cc2} = 47.54 \cdot \frac{237.7}{2} = 5650.1 \text{ mm}^2$$

$$F_{c1} = A_{cc1} \cdot 14.17 = 59425 \cdot 14.17 = 842052 \text{ N}$$

$$F_{c2} = A_{cc2} \cdot 14.17 = 5650.1 \cdot 14.17 = 80062 \text{ N}$$

$$F_c = F_{c1} + 2F_{c2} = 842052 + 2 \cdot 80062 = 1002176 \text{ N (toplam beton basınç kuvveti)}$$

$$F_s = F_c \rightarrow A_{sb} \cdot 365.22 = 1002176 \rightarrow A_{sb} = 2744 \text{ mm}^2 \text{ (denizeli donatı alanı)}$$

$$\frac{f}{100} = \frac{450}{500} \rightarrow f = 90 \text{ mm}$$

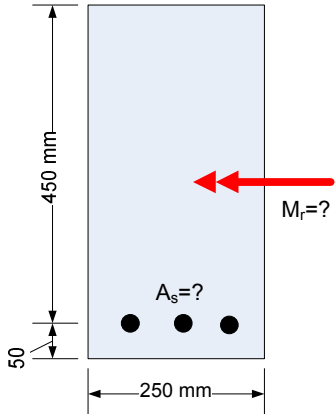
$$A_c = 250 \cdot 450 + \frac{2 \cdot 90 \cdot 450}{2} = 153000 \text{ mm}^2 \text{ (faydalı kesit alanı)}$$

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{A_c} = \frac{2744}{153000} = 0.0179 \text{ (denizeli donatı oranı)}$$

$$Z_1 = 450 - \frac{237.7}{2} = 331.2 \text{ mm (} F_{c1} \text{ kuvvetinin moment kolu)}$$

$$Z_2 = 450 - 237.7 \cdot \frac{2}{3} = 291.5 \text{ mm (} F_{c2} \text{ kuvvetinin moment kolu)}$$

$$M_b = 842.05 \cdot 0.331 + 2 \cdot 80.06 \cdot 0.292 = 325.5 \text{ kNm (kırılma momenti)}$$



15. Denetimin iyi olmayacağı düşünülen bir şantiyede üretilecek bir kirişin kesiti solda verilmiştir. Malzeme C20/25-B420C dir. Kiriş minimum donatı konulacak ve kirişin moment taşıma gücü hesaplanacaktır. Montaj donatısı verilmemiştir, hesaplarda dikkate alınmayacaktır.

- Min A_s yi bulunuz, uygun çap ve çubuk sayısına dönüştürünüz. Çubuk sayısı en az 3 olmalıdır.
- M_r yi bulunuz
- Çelik birim uzamasını bulunuz
- Belirlediğiniz her büyüklüğü; kesit, şekil değiştirme ve iç kuvvet diyagramları üzerinde gösteriniz

ÇÖZÜM:

$$\gamma_{mc}=1.7, \gamma_{ms}=1.15$$

$$f_{cd}=20/1.7=11.76 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.6/1.7=0.94 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=420/1.15=365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{cu}=0.003, \epsilon_s > \epsilon_{sd}=0.001826 \text{ (denge altı kırılma koşulu)}$$

$$k_1=0.85, k_3=0.85$$

Konulacak donatı minimum civarında olacağından kırılma sünek olacaktır, donatı oranının üst sınırını kontrol etmeğe gerek yoktur.

$$\min \rho = 0.8 \frac{0.94}{365.22} = 0.0021$$

$$A_c = 250 \cdot 450 = 112500 \text{ mm}^2 \text{ (faydalı kesit alanı)}$$

$$\min A_s = 0.0021 \cdot 112500 = 239 \text{ mm}^2$$

Konulacak çubukların toplam alanı bu değer altında kalmamalı

$$\text{Seçilen : } 3\phi 12 (339 \text{ mm}^2)$$

Ek6 tablosundan

$$A_s = 339 \text{ mm}^2 \text{ (kesite konulacak donatı alanı)}$$

$$F_c = 250a \cdot 10.0 = 2500a \text{ (beton basınç kuvveti)}$$

$$F_s = 339 \cdot 365.22 = 123809.6 \text{ N (çelik çekme kuvveti)}$$

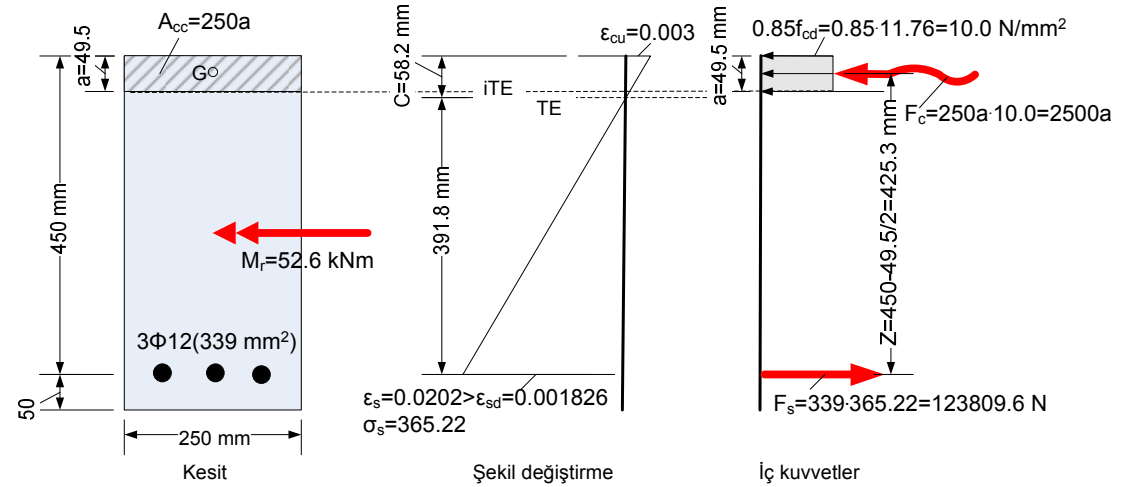
$$2500a = 123809.6 \rightarrow a = 49.5 \text{ mm (basınç bloğu derinliği)}$$

$$z = 450 - 49.5/2 = 425.3 \text{ mm (moment kolu)}$$

$$M_r = 123.8 \cdot 0.425 = 52.6 \text{ kNm (Moment taşıma gücü)}$$

$$c = 49.5/0.85 = 58.2 \text{ mm (tarafsız eksenin derinliği)}$$

$$\frac{\epsilon_s}{0.003} = \frac{391.8}{58.2} \rightarrow \epsilon_s = 0.0202 \text{ (çelik birim uzaması)}$$



16. Denetimin iyi olacağı düşünölen bir şantiyede üretilecek bir kirişin kesiti solda verilmiştir. Malzeme C20/25-B420C dir. Kirişe maksimum donatı konulacak ve kirişin moment taşıma gücü hesaplanacaktır. Montaj donatısı verilmemiştir, hesaplarda dikkate alınmayacaktır.

- Max A_s yi bulunuz, uygun çap ve çubuk sayısına dönüştürünüz. Çubuk sayısı en az 3 olmalıdır.
- M_r yi bulunuz
- Çelik birim uzamasını bulunuz
- Belirlediğiniz her büyüklüğü; kesit, şekil değıştirme ve iç kuvvet diyagramları üzerinde gösteriniz

ÇÖZÜM:

$$\gamma_{mc}=1.5, \gamma_{ms}=1.15$$

$$f_{cd}=20/1.5=13.33 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=420/1.15=365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{cu}=0.003, \epsilon_s > \epsilon_{sd}=0.001826 \text{ (denge altı kırılma koşulu)}$$

$$k_1=0.85, k_3=0.85, \rho_b=0.0164$$

Konulacak donatının oranı denge altı koşullarını sağlamalıdır: $\rho \leq 0.85 \rho_b = 0.85 \cdot 0.0164 = 0.01394$ ve $\rho \leq 0.02$. Buna göre max $\rho = 0.01394$ alınmalıdır.

Konulacak donatı maksimumun biraz altında olacağından kırılma sünek olacaktır, donatı oranının alt sınırını kontrol etmeğe gerek yoktur.

$$\max \rho = 0.01394$$

$$A_c = 250 \cdot 450 = 112500 \text{ mm}^2 \text{ (faydalı kesit alanı)}$$

$$\max A_s = 0.01394 \cdot 112500 = 1568 \text{ mm}^2$$

Konulacak çubukların alanı bu değeri aşmamalı

$$\text{Seçilen: } 4\phi 22 (1520 \text{ mm}^2)$$

Ek6 tablosundan

$$A_s = 1520 \text{ mm}^2 \text{ (kesite konulacak donatı alanı)}$$

$$F_c = 250a \cdot 11.33 = 2832.5a \text{ (beton basınç kuvveti)}$$

$$F_s = 1520 \cdot 365.22 = 555134.4 \text{ N (çelik çekme kuvveti)}$$

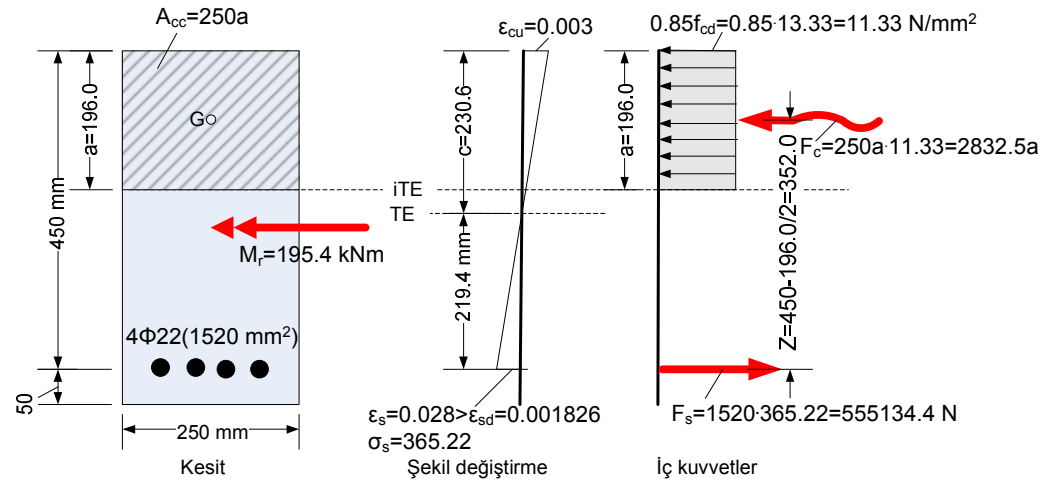
$$2832.5a = 555134.4 \rightarrow a = 196.0 \text{ mm (basınç bloğu derinliği)}$$

$$z = 450 - 196.0/2 = 352.0 \text{ mm (moment kolu)}$$

$$M_r = 555.1 \cdot 0.352 = 195.4 \text{ kNm (Moment taşıma gücü)}$$

$$c = 196.0/0.85 = 230.6 \text{ mm (tarafsız eksenin derinliği)}$$

$$\frac{\epsilon_s}{0.003} = \frac{219.4}{230.6} \rightarrow \epsilon_s = 0.0028 \text{ (çelik birim uzaması)}$$



17. Prefabrik olarak üretilecek bir kirişin kesiti solda verilmiştir. Malzeme C35/40-B420C dir. Kirişe maksimum donatı konulacak ve kirişin moment taşıma gücü hesaplanacaktır. Montaj donatısı verilmemiştir, hesaplarda dikkate alınmayacaktır.

- a) Max A_s yi bulunuz, uygun çap ve çubuk sayısına dönüştürünüz. Çubuk sayısı en az 3 olmalıdır.
 b) M_r yi bulunuz
 c) Çelik birim uzamasını bulunuz
 d) Belirlediğiniz her büyüklüğü; kesit, şekil değiştirme ve iç kuvvet diyagramları üzerinde gösteriniz

ÇÖZÜM:

$$\gamma_{mc}=1.4, \gamma_{ms}=1.15$$

$$f_{cd}=35/1.4=25.0 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=420/1.15=365.22 \text{ N/mm}^2 \cdot k_1=0.79, k_3=0.85$$

$$\epsilon_{cu}=0.003, \epsilon_s > \epsilon_{sd}=0.001826 \text{ (denge altı kırılma koşulu)}$$

Bu kesitin dengeli donatı oranı önceki sayfalarda hesaplanmıştı: $\rho_b=0.0140$

Konulacak donatının oranı denge altı koşullarını sağlamalıdır: $\rho \leq 0.85 \rho_b = 0.85 \cdot 0.0140 = 0.0119$ ve $\rho \leq 0.02$. Buna göre max $\rho = 0.0119$ alınmalıdır.

Konulacak donatı maksimumun biraz altında olacağından kırılma sünek olacaktır, donatı oranının alt sınırını kontrol etmeğe gerek yoktur.

$$\rho_b = 0.0119$$

$$A_{cc} = 100842.5 \text{ mm}^2$$

$$\max A_s = 0.0119 \cdot 1008842.5 = 1200 \text{ mm}^2$$

Konulacak çubukların alanı bu değeri aşmamalı

$$\text{Seçilen : } 3\phi 22 (1140 \text{ mm}^2) \quad \text{Ek6 tablosundan}$$

$$A_s = 1140 \text{ mm}^2$$

$$F_s = 1140 \cdot 365.22 = 416350.8 \text{ N (çelik çekme kuvveti)}$$

$$\frac{e}{400} = \frac{a}{600} \rightarrow e = 2a/3$$

$$A_{cc} = 2a/3 \cdot a/2 = a^2/3 \text{ (faydalı kesit alanı)}$$

$$F_c = a^2/3 \cdot 21.25 = 7.083a^2 \text{ (beton basınç kuvveti)}$$

$$F_c = F_s \rightarrow 7.083a^2 = 416350.8 \rightarrow a = \pm 242.4 \text{ mm}$$

$a < 0$ olamaz, $a = -242.4$ mm nin fiziksel bir anlamı yoktur.

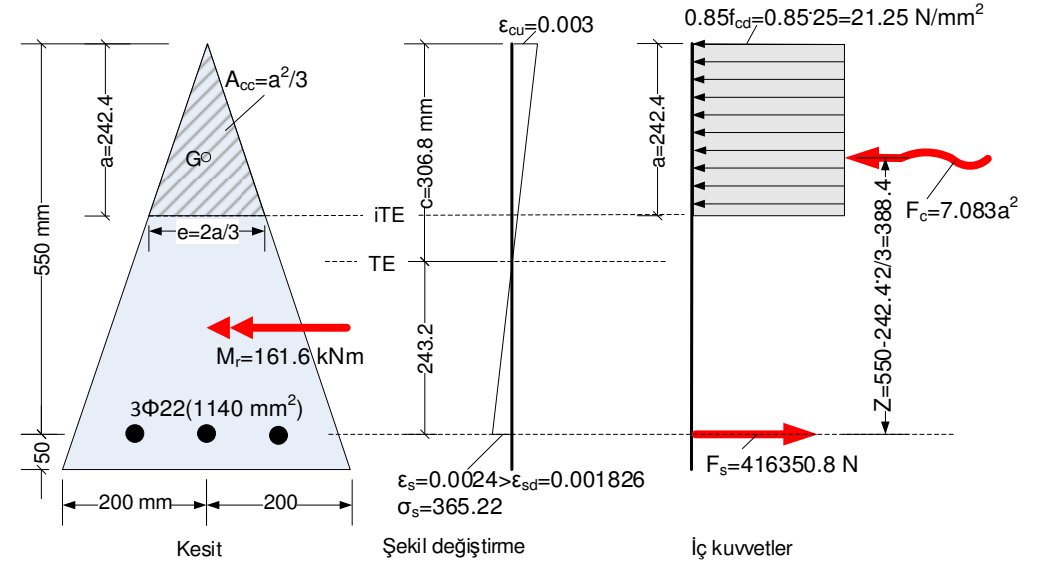
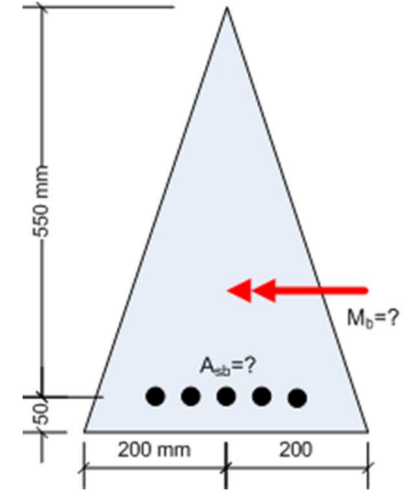
Dolayısıyla $a = +242.4$ mm dir (basınç bloğu derinliği)

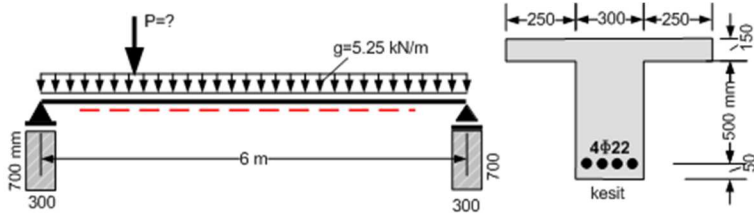
$$Z = 550 - 242.4 \cdot 2/3 = 388.4 \text{ mm (} F_c \text{ kuvvetinin moment kolu)}$$

$$M_r = 416.4 \cdot 0.388 = 161.6 \text{ kNm (moment taşıma gücü)}$$

$$c = 242.4/0.79 = 306.8 \text{ mm (tarafsız eksenin derinliği)}$$

$$\frac{\epsilon_s}{0.003} = \frac{243.2}{306.8} \rightarrow \epsilon_s = 0.0024 \text{ (çelik birim uzaması)}$$





20. Yukarıda görülen basit kiriş; genişliği 300 mm , yüksekliği 700 mm olan kirişlere oturmaktadır(saplama). P hareketli ve g sabit karakteristik yüküdür. Bu yüklerden oluşan momentin güvenle taşınabilmesi için P en fazla ne olabilir? Çelik birim uzamasını bulunuz. Malzeme: C30/37 ve B420C, Şantiye: iyi denetimli

ÇÖZÜM:

$$f_{cd}=20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.27 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2, k_1=0.82, k_3=0.85$$

$$\rho_b=0.0237, 0.85\rho_b=0.020$$

$$\min \rho=0.8 \cdot 1.27/365.22=0.0028, \max \rho=0.020$$

Çekme donatısı oranı kontrol:

$$A_s=1520 \text{ mm}^2, \rho=1520/300/650=0.0078$$

$$\min \rho < \rho < \max \rho \text{ (denge altı) } \checkmark$$

Karakteristik etkiler:

$$M_g=5.25 \cdot 6^2/8=23.6 \text{ kNm}, \text{Max } M_q=P \cdot 6/4=1.5P \text{ (Hareketli yük kiriş ortasında iken)}$$

$$\text{Tasarım Momenti: } M_d=1.4 \cdot 23.6 + 1.6 \cdot 1.5P=33.04+2.4P \text{ (kNm biriminde)}$$

Çalışan tabla genişliği: $b > 800 \text{ mm}$ olamaz!

$$b \leq 300 + 12 \cdot 150 = 2100 \text{ mm}, b \leq 300 + 0.2 \cdot 1 \cdot 5700 = 1440 \text{ mm}, b=800 \text{ mm alınacak}$$

Kesitin moment taşıma gücü:

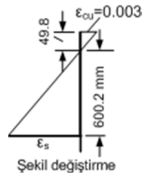
$$a = \frac{A_s f_{yd}}{0.85 f_{cd} b}$$

$$a = 1520 \cdot 365.22 / (0.85 \cdot 20 / 800) = 40.8 \text{ mm} < 150 \text{ mm (basınç bloğu tabla içinde)}$$

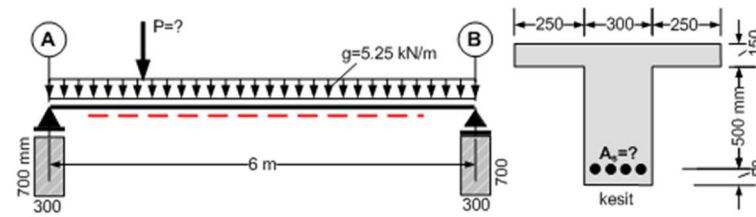
$$M_r = 1520 \cdot 365.22 \cdot (650 - 40.8/2) = 349512.6 \text{ Nmm} = 349.5 \text{ kNm} \text{ (} M_r = A_s f_{yd} (d - \frac{a}{2}) \text{)}$$

$$M_d \leq M_r \text{ olmalı: } 33.04 + 2.4P \leq 349.5 \rightarrow P \leq 131.9 \text{ kN olabilir.}$$

Çelik birim uzaması: $c = a/k_1 = 40.8/0.82 = 49.8 \text{ mm}$



$$\epsilon_s/0.003 = 600.2/49.8 \rightarrow \epsilon_s = 0.0362 > \epsilon_{sd} = 0.001826 \text{ (sünek kırılma) } \checkmark$$



21. Yukarıda görülen basit kiriş; genişliği 300 mm , yüksekliği 700 mm olan kirişlere oturmaktadır(saplama). P hareketli ve g sabit karakteristik yüküdür. Kırılma çelik 0.05 birim uzamasına ulaşınca olsun isteniyor. A_s alanını belirleyiniz, çubuk çap ve sayısını veriniz. Bu yüklerden oluşan momentin güvenle taşınabilmesi için P en fazla ne olabilir? Malzeme: C30/37 ve B420C, Şantiye: iyi denetimli

ÇÖZÜM:

$$f_{cd}=20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.27 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2, k_1=0.82, k_3=0.85$$

$$\rho_b=0.0237, 0.85\rho_b=0.020$$

$$\min \rho=0.8 \cdot 1.27/365.22=0.0028, \max \rho=0.020$$

$$\epsilon_s=0.05 > \epsilon_{sd}=0.001826 \text{ (sünek kırılma) } \checkmark$$

$$c/(650-c)=0.003/0.05 \rightarrow c=36.8 \text{ mm (tarafsız eksen derinliği)}$$

$$a=k_1 c=0.82 \cdot 36.8=30.2 \text{ mm (basınç bloğu derinliği)}$$

$$b=800 \text{ mm (çalışan tabla genişliği, soldaki örnekten)}$$

$$F_c=800 \cdot 30.2 \cdot 17=410720 \text{ N}$$

$$A_s \cdot 365.22=410720 \rightarrow A_s=1125 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seç: } 3\phi 22 (1140 \text{ mm}^2)$$

$$\rho = 1140/300/650 = 0.0058$$

$$\min \rho < \rho < \max \rho \text{ (denge altı) } \checkmark$$

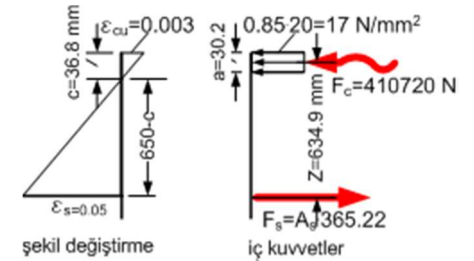
$$Z=650-30.2/2=634.2 \text{ mm (moment kolu)}$$

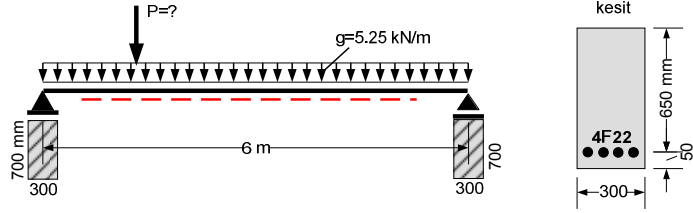
$$M_r=410.72 \cdot 0.635=260.8 \text{ kNm}$$

$$M_d=33.04+2.4P \text{ (soldaki örnekten)}$$

$M_d \leq M_r$ olmalı:

$$33.04+2.4P \leq 260.8 \rightarrow P \leq 94.9 \text{ kN olabilir.}$$





22. Yukarıda görülen basit kiriş; genişliği 300 mm , yüksekliği 700 mm olan kirişlere oturmaktadır(saplama). P hareketli ve g sabit karakteristik yüküdür. Bu yüklerden oluşan momentin güvenle taşınabilmesi için P en fazla ne olabilir? Çelik birim uzamasını bulunuz. Malzeme: C30/37 ve B420C, Şantiye: iyi denetimli

ÇÖZÜM:

$$f_{cd}=20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.27 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2, k_1=0.82, k_3=0.85$$

$$\rho_b=0.0237, 0.85\rho_b=0.020$$

$$\min \rho=0.8 \cdot 1.27/365.22=0.0028, \max \rho=0.020$$

Çekme donatısı oranı kontrol:

$$A_s=1520 \text{ mm}^2, \rho=1520/300/650=0.0078$$

$$\min \rho < \rho < \max \rho \text{ (denge altı) } \checkmark$$

Hareketli yük kiriş ortasında iken

Karakteristik etkiler:

$$M_g=5.25 \cdot 6^2/8=23.6 \text{ kNm}, \text{Max } M_d=P \cdot 6/4=1.5P$$

$$\text{Tasarım Momenti: } M_d=1.4 \cdot 23.6 + 1.6 \cdot 1.5P=33.04+2.4P \text{ (kNm biriminde)}$$

Kesitin moment taşıma gücü:

$$a=1520 \cdot 365.22 / (0.85 \cdot 20 / 300) = 108.8 \text{ mm}$$

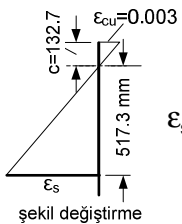
$$a = \frac{A_s f_{yd}}{0.85 f_{cd} b_w}$$

$$M_r=1520 \cdot 365.22 (650 - 108.8/2) = 330638 \text{ Nmm} = 330.6 \text{ kNm}$$

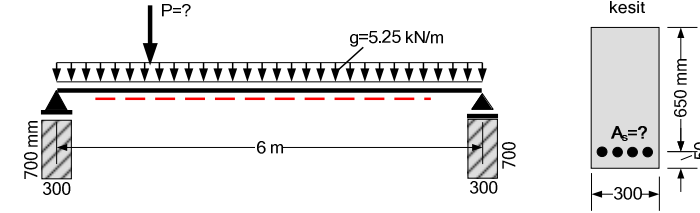
$$M_r = A_s f_{yd} (d - \frac{a}{2})$$

$$M_d \leq M_r \text{ olmalı: } 33.04 + 2.4P \leq 330.6 \rightarrow P \leq 124 \text{ kN olabilir.}$$

$$\text{Çelik birim uzaması: } c = a/k_1 = 108.8/0.82 = 132.7 \text{ mm}$$



$$\epsilon_s/0.003 = 517.3/132.7 \rightarrow \epsilon_s = 0.0117 > \epsilon_{sd} = 0.001826 \text{ (sünek kırılma) } \checkmark$$



23. Yukarıda görülen basit kiriş; genişliği 300 mm , yüksekliği 700 mm olan kirişlere oturmaktadır(saplama). P hareketli ve g sabit karakteristik yüküdür. Kırılma çelik 0.05 birim uzamasına ulaşınca olsun isteniyor. As alanını belirleyiniz, çubuk çap ve sayısını veriniz. Bu yüklerden oluşan momentin güvenle taşınabilmesi için P en fazla ne olabilir? Malzeme: C30/37 ve B420C, Şantiye: iyi denetimli

ÇÖZÜM:

$$f_{cd}=20 \text{ N/mm}^2, f_{ctd}=1.27 \text{ N/mm}^2, f_{yd}=365.22 \text{ N/mm}^2$$

$$k_1=0.82, k_3=0.85$$

$$\rho_b=0.0237, 0.85\rho_b=0.020$$

$$\min \rho=0.8 \cdot 1.27/365.22=0.0028, \max \rho=0.020$$

$$\epsilon_s=0.05 > \epsilon_{sd}=0.001826 \text{ (sünek kırılma) } \checkmark$$

$$c/(650-c)=0.003/0.05 \rightarrow c=36.8 \text{ mm (tarafsız eksen derinliği)}$$

$$a=k_1 c=0.82 \cdot 36.8=30.2 \text{ mm (basınç bloğu derinliği)}$$

$$F_c=300 \cdot 30.2 \cdot 17=154020 \text{ N}$$

$$A_s \cdot 365.22=154020 \rightarrow A_s=422 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seç: } 4\phi 14 (616 \text{ mm}^2)$$

$$\rho=616/300/650=0.0032$$

$$\min \rho < \rho < \max \rho \text{ (denge altı) } \checkmark$$

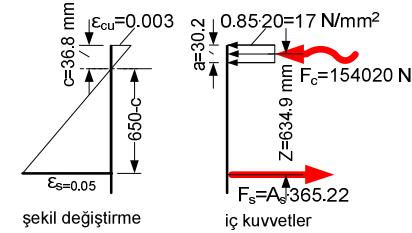
$$Z=650-30.2/2=634.9 \text{ mm (moment kolu)}$$

$$M_r=154.02 \cdot 0.635=97.8 \text{ kNm}$$

$$M_d=33.04+2.4P \text{ (soldaki örnekten)}$$

$$M_d \leq M_r \text{ olmalı:}$$

$$33.04+2.4P \leq 97.8 \rightarrow P \leq 27.0 \text{ kN olabilir.}$$

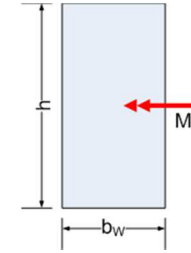


3φ14(462 mm²) yeterli, fakat min As=0.0028·300·650=546 mm² olduğundan 4φ14(616 mm²) seçildi

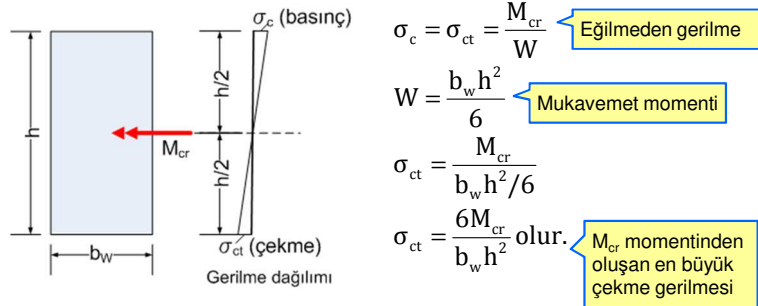
24. Sağda kesiti görülen **donatısız beton** kirişin çatlamaması için M_{cr} momentinin üst sınırını belirleyiniz.

ÇÖZÜM:

Donatı olmadığı için beton kesit homojen kabul edilebilir. Betonun çekme dayanımı çok düşük olduğu için, çatlama olmaksızın, oluşacak gerilme de çok düşük kalacaktır. Dolayısıyla, gerilme dağılımı kesit yüksekliğince doğrusal alınabilir. Bu nedenle, gerilme hesabı için mukavemet derslerinden bilinen bağıntılar geçerlidir. Aşağıdaki şekilde gerilme dağılımı gösterilmiştir.



Mukavemetten bilindiği üzere:

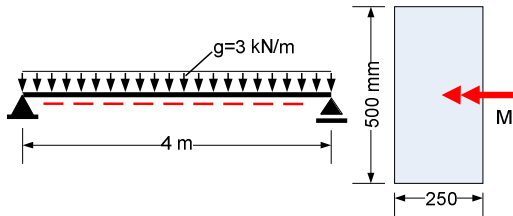


Betonun çatlamaması için $\sigma_{ct} < 2f_{ctk}$ olmalı:

$$\frac{6M_{cr}}{b_w h^2} < 2f_{ctk} \text{ olmalı, buradan } M_{cr} < \frac{b_w h^2 f_{ctk}}{3} \text{ bulunur.}$$

Eksenel basınç karakteristik dayanımı f_{ck} olan bir betonun **eksenel çekme karakteristik dayanımı** $f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}}$ N/mm² dir. Beton sınıfları için f_{ck} değerleri TS 500:2000 sayfa 11, çizelge 3.2 den veya bu ders notlarının arkasındaki EK1 den alınabilir yada $f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}}$ N/mm² bağıntısından hesaplanabilir.

Burada ele alınan problem eksenel çekme değil, eğilme çekmesidir. **Eğilme çekme karakteristik dayanımı** eksenel çekme karakteristik dayanımının yaklaşık iki katıdır. Yani, eğilme problemlerinde **çekme karakteristik dayanımı** $2f_{ctk} = 2 \cdot 0.35\sqrt{f_{ck}}$ N/mm² alınmalıdır. Örnekleyelim. C25/30 betonu için **eksenel çekme karakteristik dayanımı** $f_{ctk} = 0.35\sqrt{25} = 1.75$ N/mm² olur. TS 500:2000 Çizelge 3.2 de veya EK1 de bu değer yuvarlatılarak 1.8 olarak verilmiştir. Bu betonun **Eğilme çekme karakteristik dayanımı** $= 2f_{ctk} = 2 \cdot 1.8 = 3.6$ N/mm² alınır.

**ÇÖZÜM:**

25. C30/37 betonu ile üretilen soldaki **beton** kirişte g kendi yüküdür. Kendi yükünden oluşan M momenti kirişi çatlatır mı?

$$f_{ctk} = 1.9 \text{ N/mm}^2$$

$$C30/37 \text{ betonunun eksenel çekme dayanımı. TS 500:2000, Çizelge 3.2 den veya Ek1 den veya } f_{ctk} = 0.35\sqrt{30} \approx 1.9 \text{ N/mm}^2$$

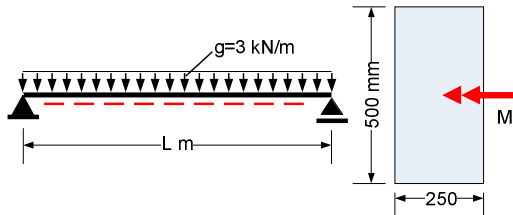
$$g = 1 \cdot 0.25 \cdot 0.50 \cdot 24 = 3 \text{ kN/m}$$

$$M = 3 \cdot 4^2 / 8 = 6 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = 250 \cdot 500^2 \cdot 1.9 / 3 = 39583333 \text{ Nmm} = 39.6 \text{ kNm}$$

$M_{cr} > M$ olduğundan kiriş kendi yükü altında çatlamamıştır.

Kendi yükü her metrede aynıdır. **Beton** birim hacim ağırlığı 24 kN/m³ dur. 1 m lik kiriş parçasının ağırlığı $= 1 \cdot b_w \cdot h \cdot 24 = 1 \cdot 0.25 \cdot 0.50 \cdot 24 = 3 \text{ kN/m}$ olur.

**ÇÖZÜM:**

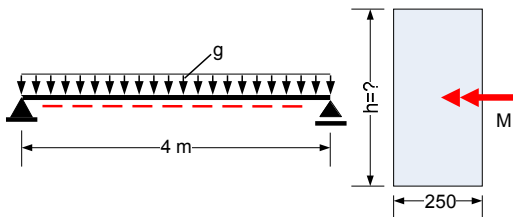
26. C30/37 betonu ile üretilecek olan soldaki **beton** kirişte g kendi yüküdür. Oluşacak M momentinin kirişi çatlatmaması için L en çok ne olabilir.

$$f_{ctk} = 1.9 \text{ N/mm}^2, g = 1 \cdot 0.25 \cdot 0.50 \cdot 24 = 3 \text{ kN/m}$$

$$M = 3 \cdot L^2 / 8 = 0.375L^2 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = 250 \cdot 500^2 \cdot 1.9 / 3 = 39583333 \text{ Nmm} = 39.6 \text{ kNm}$$

$$M < M_{cr} \text{ olmalı} \rightarrow 0.375L^2 < 39.6 \rightarrow L < 10.3 \text{ m}$$

**ÇÖZÜM:**

27. C30/37 betonu ile üretilecek olan soldaki **beton** kirişte g kendi yüküdür. Kendi yükünden oluşan M momentinin kirişi çatlatmaması için h ne olmalıdır.

$$f_{ctk} = 1.9 \text{ N/mm}^2 = 1900 \text{ kN/m}^2$$

$$g = 1 \cdot 0.25 \cdot h \cdot 24 = 6h \text{ kN/m}$$

$$M = 6h \cdot 4^2 / 8 = 0.75h^2 = 12h \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = 0.250 h^2 \cdot 1900 / 3 = 158.3h^2 \text{ kNm}$$

$$M = M_{cr} \rightarrow 12h = 158.3h^2 \rightarrow h = 0.0758 \text{ m} = 76 \text{ mm}$$

28. Sağda verilen **beton** kafes kirişin, betonda ezilme veya çatlak olmaksızın, taşıyabileceği en büyük P karakteristik yükünü belirleyiniz. Malzeme :C30/37. Elemanların kendi yükü ihmal edilecektir.

ÇÖZÜM:

Elemanlarda sadece aksel kuvvet oluşur.

Eğik elemanlarda $N_1 = P/1.4142$ kN(basınç)

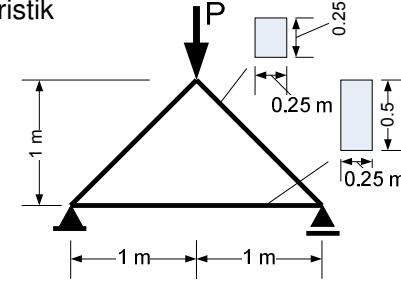
Yatay elemenda $N_2 = 0.5P$ (çekme) olarak hesaplandı.

C30/37 betonunda $f_{ck} = 30$ N/mm² = 30000 kN/m², $f_{ctk} = 1.9$ N/mm² = 1900 kN/m² dir.

Yatay elemenda çatlama olmaması için: $\sigma_{ct} = N_2/A_{cc} < f_{ctk}$ olmalı. $0.5P/0.25/0.50 \leq 1900 \rightarrow P \leq 475$ kN

Eğik elemanlarda ezilme olmaması için: $\sigma_c = N_1/A_{cc} < f_{ck}$ olmalı. $(P/1.4142)/0.25/0.25 \leq 30000 \rightarrow P \leq 2651.6$ kN

O halde $P < 475$ kN olmalıdır.



29. Sağda verilen **beton** çerçeve sistemin, betonda ezilme veya çatlak olmaksızın, taşıyabileceği en büyük P karakteristik yükünü belirleyiniz. Malzeme: C30/37. Elemanların kendi yükü ihmal edilecektir. Kesme kuvveti dikkate alınmayacaktır.

ÇÖZÜM:

Soldaki kolonda sadece aksel kuvvet oluşur: $N_1 = 0.5P$ kN(Çekme)

Sağdaki kolonda sadece aksel kuvvet oluşur: $N_2 = 1.5P$ kN(basınç)

Kirişte kesme ve moment oluşur. Kesme dikkate alınmıyor. Max moment $M = 2P$

C30/37 betonunda $f_{ck} = 30$ N/mm² = 30000 kN/m², $f_{ctk} = 1.9$ N/mm² = 1900 kN/m² dir.

Kirişin çatlama olmaması için:

$M < M_{cr}$ olmalı.

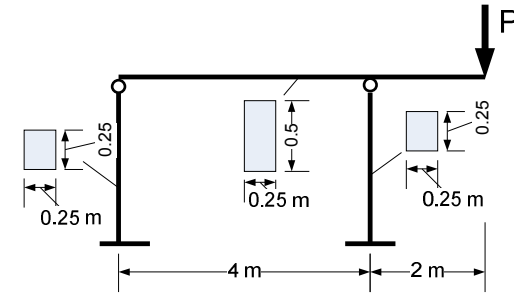
$M = 2P$, $M_{cr} = b_w h^2 f_{ctk} / 3 = 0.25 \cdot 0.5^2 \cdot 1900 / 3 = 39.6$ kNm

$2P < 39.6 \rightarrow P < 19.8$ kN

Soldaki kolonda çatlama olmaması için: $\sigma_{ct} = N_1/A_{cc} < f_{ctk}$ olmalı $\rightarrow 0.5P/0.25/0.25 \leq 1900 \rightarrow P < 237.5$ kN

Sağdaki kolonda ezilme olmaması için: $\sigma_c = N_2/A_{cc} < f_{ck}$ olmalı $\rightarrow 1.5P/0.25/0.25 \leq 30000 \rightarrow P < 1250$ kN

O halde $P < 19.8$ kN olmalıdır.



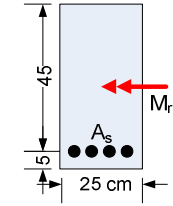
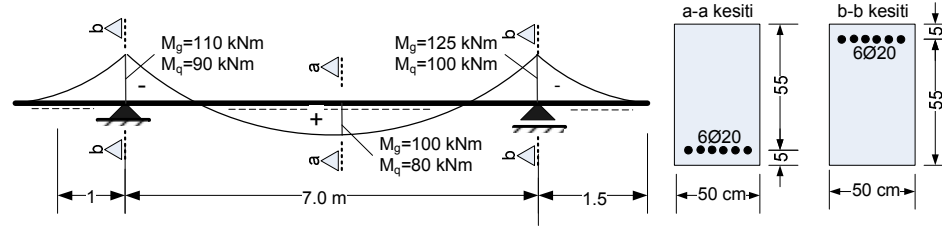
30. Kirişlerde $\rho - \rho' \leq 0.85\rho_b$ olmalıdır, neden?

Etriye donatı oranının üst sınırı yoktur, neden?

Gövde donatı oranının üst sınırı yoktur, neden?

Etriye kancaları 135° kıvrılarak betona saplanmalıdır, neden?

31. Sağdaki kiriş Eskişehir merkezde C30/37 betonu ve B420C çeliği ile inşa edilmiştir. a-a ve b-b kesitleri ile karakteristik yük etkileri şekilde gösterilmiştir. Kiriş moment açısından güvenli midir? Kırılma türü nedir?



32. C30/37-B420C malzemesi ile Eskişehir'de öndöküm olarak üretilecek bir kirişin kesiti solda verilmiştir.

a) Min A_s ile taşıyabileceği M_r momentini (Cevap: $M_r=53.8$ kNm)

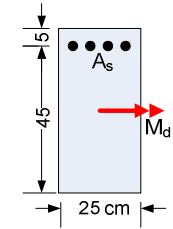
b) Maks A_s ile taşıyabileceği M_r momentini (Cevap: $M_r=295.8$ kNm)

bulunuz.

c) $M_g=+60$ kNm, $M_q=+30$ kNm, $M_e=+54$ kNm, $M_w=+40$ kNm karakteristik yük etkilerinden oluşan M_d tasarım momentini hesaplayınız(+ moment altta çekme anlamındadır). (Cevap: $M_d=151$ kNm)

d) Kiriş Min A_s ile donatılırsa M_d momentini taşır mı? (Cevap: Taşımaz)

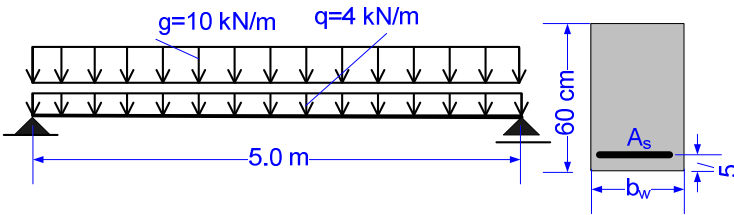
e) Kiriş Maks A_s ile donatılırsa M_d momentini taşır mı? (Cevap: Taşır)



33. C30/37-B420C malzemesi ile Kütahya'da öndöküm olarak üretilecek bir kirişin kesiti solda verilmiştir.

$M_g = -60$ kNm, $M_q = -30$ kNm, $M_e = -54$ kNm, $M_w = -40$ kNm karakteristik yük etkilerinden oluşan M_d tasarım momentini hesaplayınız(- moment üstte çekme anlamındadır).

Kiriş Min A_s ile donatılırsa M_d momentini taşır mı?



34. Soldaki kiriş Eskişehir merkezde C30/37-B420C malzemesi ile inşa edilecektir. g ve q karakteristik sabit ve hareketli yüküdür. Donatı alanının olabildiğince az olması istenmektedir. Kiriş genişliği b_w ne olmalıdır?