

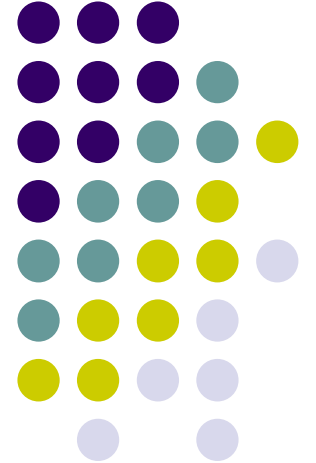
BETONARME-I

4. Hafta

‘KİRİŞLER’



Onur ONAT
Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli



Malzeme Katsayıları



- Beton ve çeliğin üretilirken, üretim aşamasında hedefi tutmama riskinin olduğundan geçen haftalarda behsedilmişti.
- Bu risk, karakteristik dayanımın hedeflenenden daha düşük kalma riskini doğuruyordu.
- Bu nedenle hesaplar, öngörülen karakteristik dayanım ile değil, tasarım dayanımları ile yapılmaktadır.
- Tasarım dayanımları ise karakteristik dayanımların, malzeme katsayılarına bölünmesiyle bulunur.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{mc}} \quad \begin{array}{l} f_{ck}: \text{betonun karakteristik basınç dayanımı} \\ f_{cd}: \text{betonun basınç tasarım dayanımı} \\ f_{ctk}: \text{betonun karakteristik çekme dayanımı} \\ f_{ctd}: \text{betonun çekme tasarım dayanımı} \end{array}$$
$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_{mc}} \quad \gamma_{mc}: \text{betonun malzeme katsayısı}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{ms}} \quad \begin{array}{l} f_{yk}: \text{çelik karakteristik dayanımı} \\ f_{yd}: \text{çelik tasarım dayanımı} \\ \gamma_{ms}: \text{çelik malzeme katsayısı} \\ \gamma_{ms}=1.15 \text{ (her tür çelik için)} \end{array}$$

$\gamma_{mc}=1.5$ yerinde dökülen ve iyi denetlenen betonlar için

$\gamma_{mc}=1.4$ öndöküm (prefabrik) betonlar için

$\gamma_{mc}=1.7$ denetimi iyi yapılamayan betonlar için

Neden Malzeme Katsayısı Kullanıyoruz?



- Bir yapısal sistem, servis ömrü boyunca tam olarak kestirilemeyen farklı yüklerin etkisi altında kalmaktadır.
- İnşaat Mühendislerinin de temel amacı, az ya da çok hasar alsa bile toptan göçmeyen güvenli yapılar inşa ederek, can ve mal güvenliği sağlamaktır.
- Güvenli Yapı Nasıl Oluşturulur?
 1. Doğru yapısal sistem seçilerek,
 2. Uygun malzeme ve malzeme katsayısı seçilerek,
 3. Yapıya etkiyecek yükler özenle belirlenerek,
 4. Karakteristik yükler yerine yük kombinasyonlarına göre hesap yaparak,
 5. Yönetmelik ve standartlara uyularak.
 6. Her bir elemanın taşıma gücü aşmaması sağlanarak,
 7. İnşaat esnasında kalite nitelik denetimi sıkı tutularak.

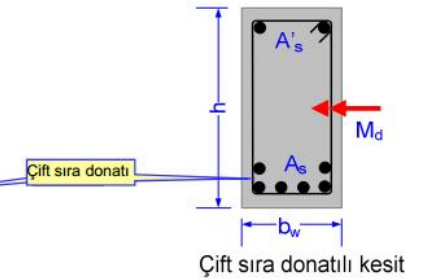
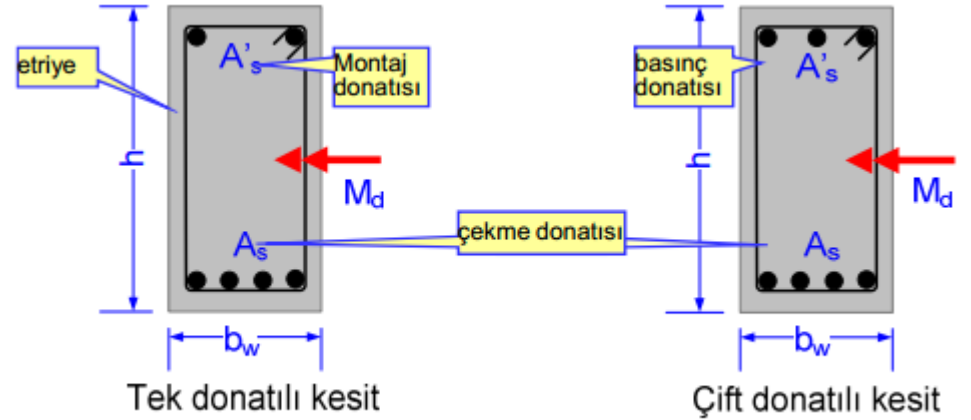
Kirişler

Kiriş Nedir?



- Kendi yükü ile birlikte duvar ve döşeme gibi yükleri güvenle hem taşıyıp hem de bu gibi yüklerin ağırlıklarını kolonlara aktaran yapısal elemanlardır.
- Ayrıca deprem ve rüzgar gibi yüklerin yapısal sistem üzerine etkimesi sonucu döşeme ile monolitik çalışarak kolonlara aktarır.
- Kiriş elemanlar yatay elemanlardır.
- Bir elemanın teknik olarak kiriş olarak tasarlanabilmesi için en kesitine etkiyen eksenel kuvvetin, eksenel taşıma kapasitesinin % 10'unundan küçük olması lazım.
- Bu tanım hem TS500:2000'de hem de 2018 Bina Deprem Yönetmeliğinde bulunmaktadır ve aşağıdaki şekilde formülize edilmiştir.

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



b_w :genişlik

h : yükseklik

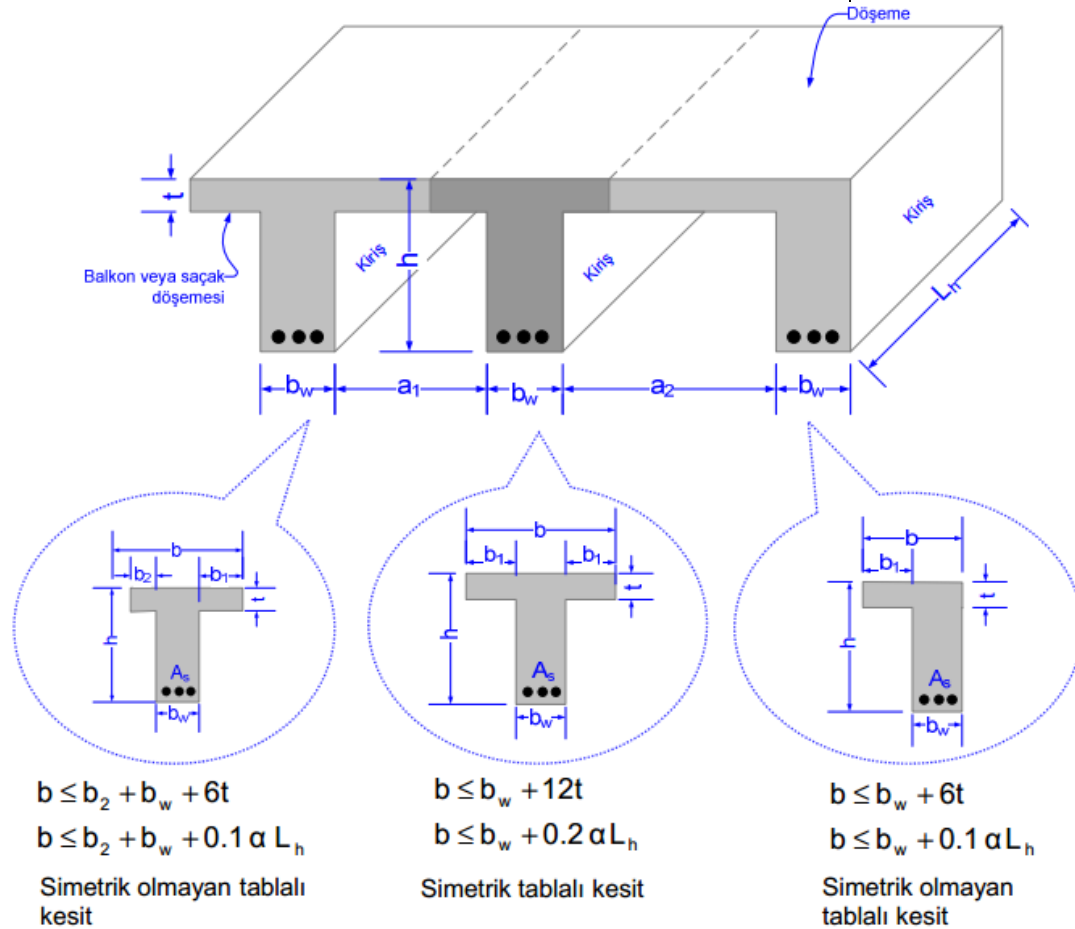
A_s : çekme donatısının toplam alanı

A'_s :montaj veya basınç donatısının toplam alanı

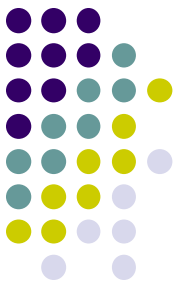
Kirişler Sürekli Aynı Geometriye mi Sahiptir?

- Kirişler bazen 'T' kesit de olabilir.
- Eğer kirişler son açıklık ise bazen 'L' şeklinde de olabilir.
- Farklı geometriye sahip kirişler yanda gösterilmiştir.
- 'T' ve 'L' şeklindeki kirişler, döşeme ve kirişin birlikte dökülmesiyle oluşur.
- Döşeme, kirişin basınç bölgesinin içinde kalır.
- Bir kirişin tablalı olması betonun basınç alanının büyümesine sebep olur.
- Tabladaki basınç gerilmeleri, kiriş gövdesinden uzaklaştıkça hızla azalır. Dolayısıyla tabla genişliği sınırlandırılmıştır.

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

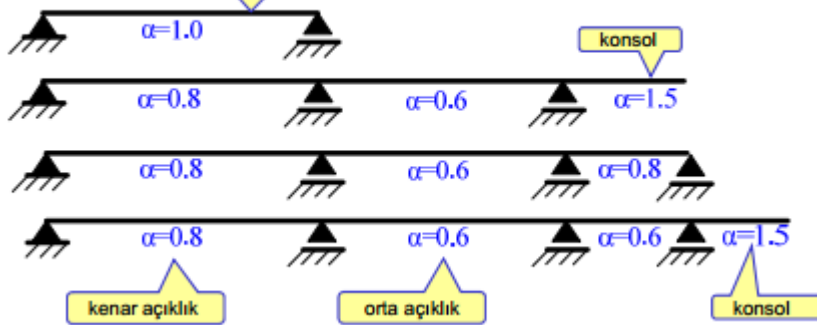


Kirişler Sürekli Aynı Geometriye mi Sahiptir?



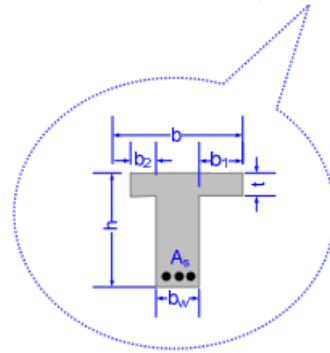
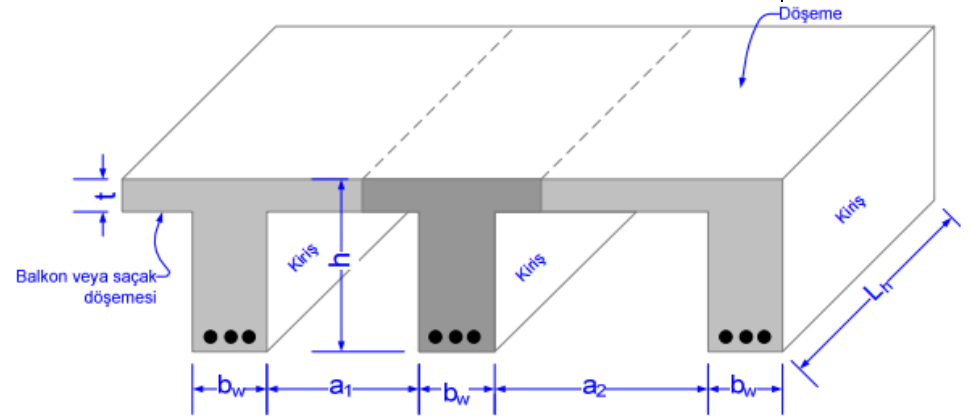
α sayıları:

Basit kiriş



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

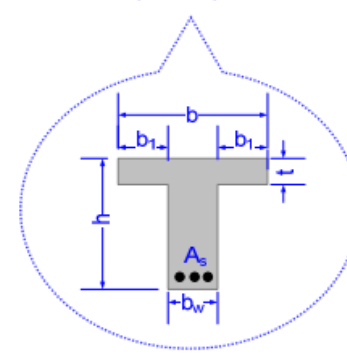
Kiriş tablalarına; etkili tabla genişliği ya da çalışan başlık genişliği denir.



$$b \leq b_2 + b_w + 6t$$

$$b \leq b_2 + b_w + 0.1 \alpha L_h$$

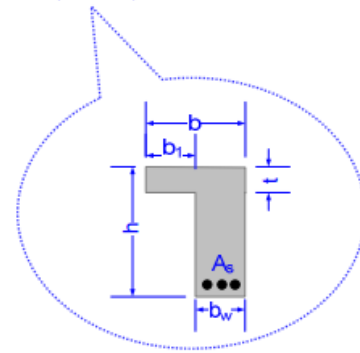
Simetrik olmayan tablalı kesit



$$b \leq b_w + 12t$$

$$b \leq b_w + 0.2 \alpha L_h$$

Simetrik tablalı kesit

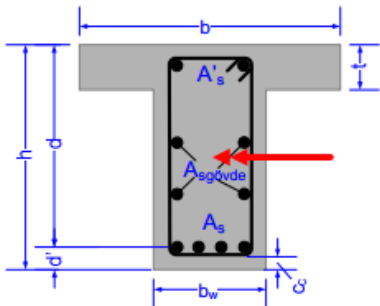
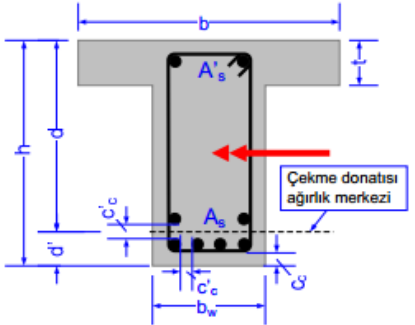
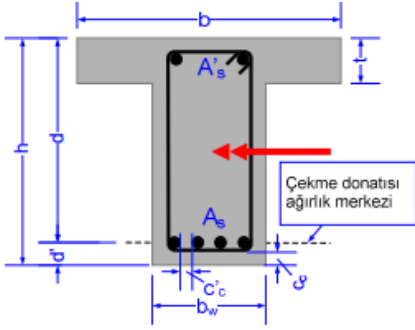


$$b \leq b_w + 6t$$

$$b \leq b_w + 0.1 \alpha L_h$$

Simetrik olmayan tablalı kesit

Kirişlere Ait 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 demektirler. Yani bir tanım kargaşası vardır. Bu ders notlarında pas payı= d' olarak kullanılacaktır.

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.

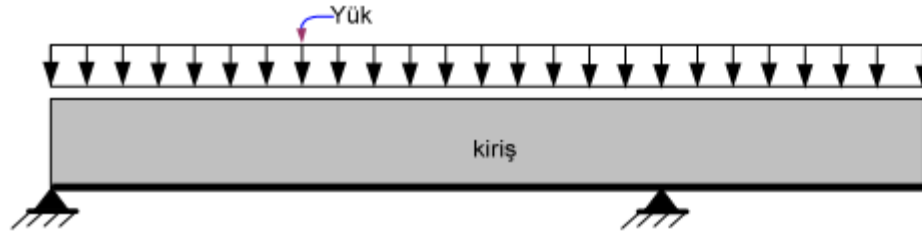
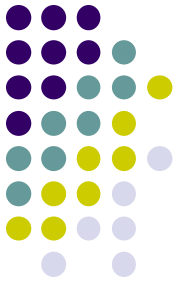
GÖVDE DONATISI: Yüksekliği fazla olan kirişlerin yan yüzlerine konulan donatıdır. Şekilde gövde donatısının toplam alanı $A_{sgövd}$ olarak gösterilmiştir.

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.

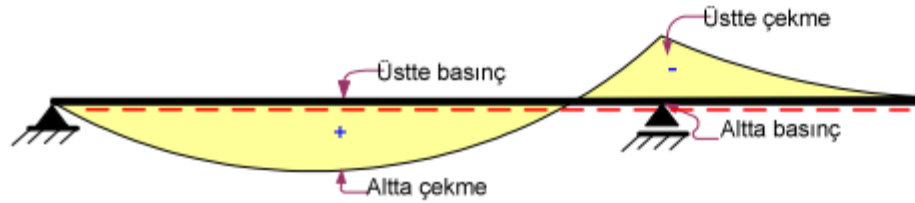
ENİNE DONATI: Boyuna donatılara dik olarak yerleştirilen ve boyuna donatıları saran donatıya verilen addır. Sargı donatısı veya etriye de denir. Açıklıklarda seyrek, mesnet bölgelerinde ve konsollarda sık yerleştirilir. Kesme, burulma kuvvetlerini karşılamak ve betonun şişmesini önlemek gibi çok önemli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

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

Kirişlerde Yükleme Durumları?



Şekil değiştirmeden önce



Moment



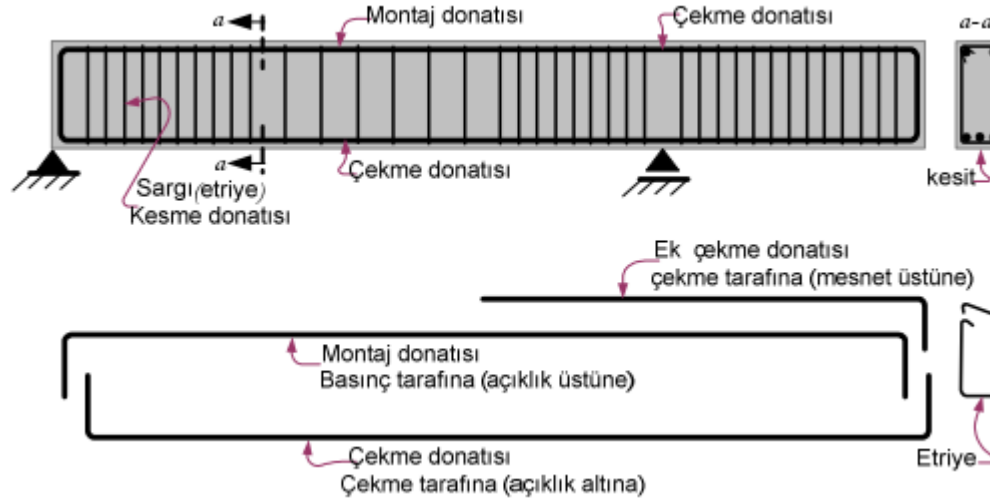
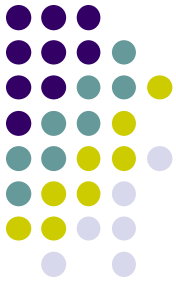
Kesme



Şekil değiştirdikten sonra:

- Çekme bölgeleri çatlar
- Basınç bölgeleri ezilir
- Kiriş göçer

Peki ya çatlakları önlemenin yolu nedir?



- Çekme kuvvetlerini karşılamak ve çatlakları sınırlamak için çekme bölgelerine **boyuna donatı** konur.
- Kesme çatlaklarını sınırlamak için **sargı donatısı (etriye)** konur. Etriye mesnetlere yakın bölgelerde ve konsollarda sıklaştırılır.
- Basınç bölgelerine teorik olarak donatı gerekmez. Ancak, etriyeyi sarabilmek için, **montaj donatısı** konur.
- Mesnetlere, açıklıklardan gelen donatılar yeterli olmazsa, **ek donatı** konur.
- **Oluşması beklenen çatlaklara donatı ile önceden “dikiş atılmaktadır” denilebilir.**

Kirişlerde Donatı Oranı Nasıl Hesaplanır?



- Betonarme elemanlarda donatı oranı, donatıların en kesit alanlarının toplamının, betonun brüt en kesit alanına oranıdır.
- Brüt beton alanı hesabında kiriş yüksekliği olarak 'h' değil 'd' alınır.
- Yani etkili derinlik alınır.
- Genel itibariyle betonarme kesitlerde donatı alanı aşağıdaki formüldeki gibidir.

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

- Sargı etriyesinin hesabı biraz değişiklik göstermektedir. Bu da;

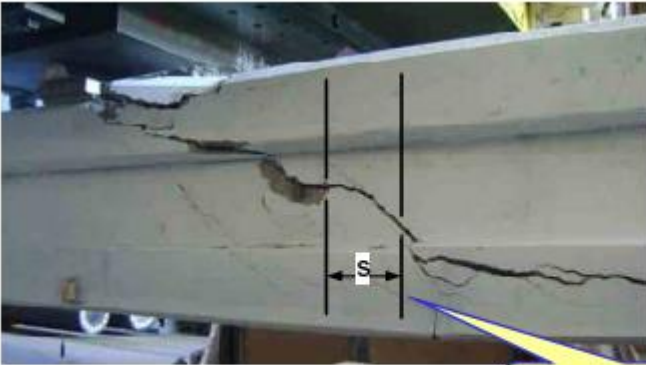
$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w s}$$

- Yukarıdaki formülde ρ_w sargı etriyesinin yoğunluğunu göstermektedir.
- A_{sw} etriye düşey kollarının toplam kesit alanıdır.
- 's' ise etriye aralığını temsil etmektedir.

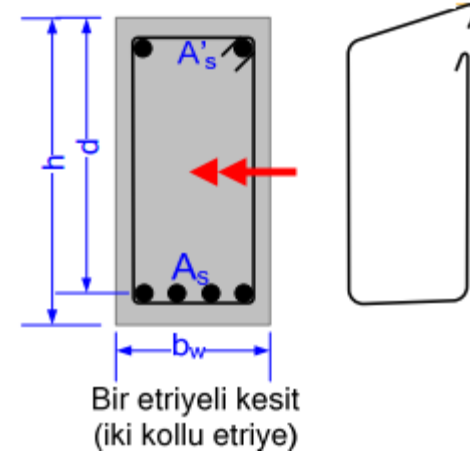
Kirişlerde Donatı Oranı Nasıl Hesaplanır?



- Betonarme kesitlerde etriye yoğunluğu hesaplanırken, A_{sw} düşey kolların toplam en kesit alanı olarak hesaplanır.
- A_{sw} 'nin sadece düşey kolların toplam alanı olarak hesaplanmasının sebebi, kiriş elemanlarda kesme kuvvetini düşey elemanların karşılıyor olmasıdır.
- Yatay elemanların kesme kuvvetine karşı bir durumu söz konusu değildir.
- Bu durum aşağıdaki şekilde çok net bir şekilde açıklanmaktadır.



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



Bir etriyeli kesit
(iki kollu etriye)

- A_{sw} hesaplanırken, bir kolun kesit alanı ile düşey kol sayısının çarpımı olarak hesaplanır.

Kesitlerde Dengeli, Denge Üstü ve Denge Altı Donatılı Durumlar



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

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

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

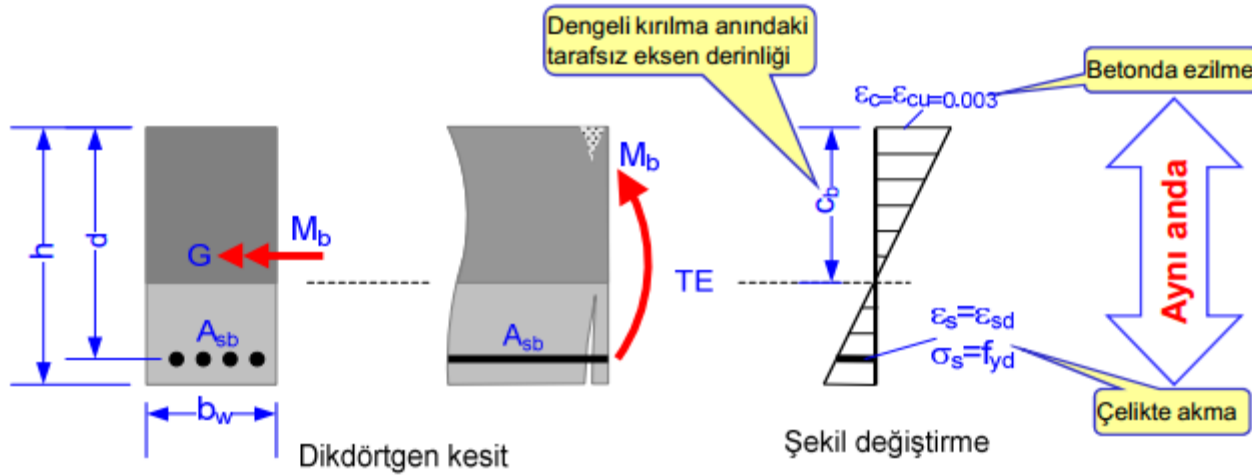
Kırılma türleri donatı oranlarına göre de sınıflandırılabilir:

- 1.Dengeli donatılı kesit ($\rho = \rho_b$) gevrek kırılır. **Malzeme ekonomik kullanılır ama tehlikelidir.**
- 2.Denge üstü donatılı kesit ($\rho > \rho_b$) gevrek kırılır. **Tehlikelidir !!**
- 3.Denge altı donatılı kesit ($\rho < \rho_b$) sünek kırılır. **İstenen durumdur**

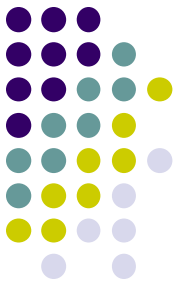
Kirişlerde Dengeli Donatı Tanımı Nedir?



- Donatının aktığı anda betonda ezilmenin gerçekleşmesi durumudur.
- Betonarme kiriş kesitlerde dengeli kırılma malzeme verimliliği sağlar fakat tehlikeli bir durumdur.
- Aşağıdaki şekilde benzetim yapılabilir.



Taşıma Gücü Hesabı: Hesap Esasları



1

Eksenel denge koşulu :

$$F_c - F_s = 0 \rightarrow 0.85 f_{cd} a b_w - A_{sb} f_{yd} = 0 \rightarrow A_{sb} = 0.85 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} a b_w$$

2

Her iki taraf $b_w d$ ye bölünürse:

$$\frac{A_{sb}}{b_w d} = 0.85 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{a}{d}$$

3

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

$$\rho_b = 0.85 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{k_1 c_b}{d}$$

4

c_b değeri yerine yazılırsa:

$$\rho_b = 0.85 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} k_1 \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_{sd}}$$

5

Moment moment taşıma gücü:

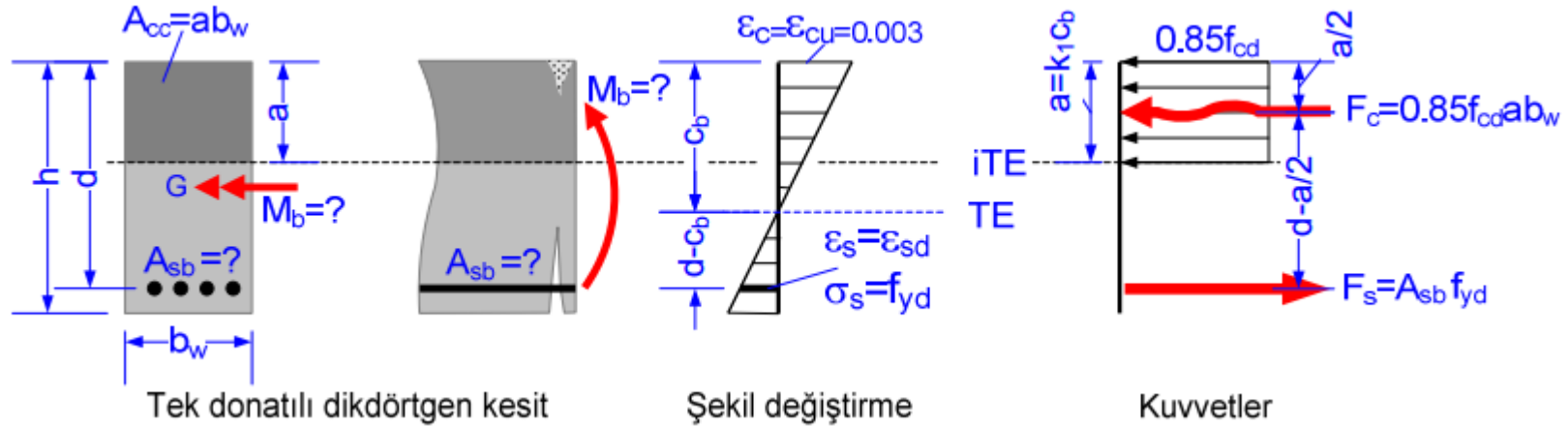
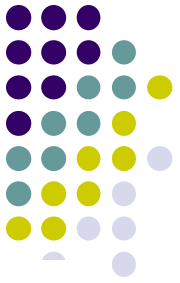
$$M_b = A_{sb} f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right)$$



Taşıma Gücü Hesabı: Notlar

- Kirişlerde dengeli donatı oranının bilinmesi, bu orana göre tasarım yapılması gerektiği için önemlidir.
- Sebep: Çünkü kirişlerde hasar ve/veya göçme mekanizmalarının bilinmesi için önemlidir.
- Kiriş eğer; dengeli veya denge üstü donatısına göre tasarlanmışsa gevrek kırılma olur.
- Gevrek kırılmalar çok tehlikeli durumlardır.
- Denge altı duruma göre donatılmışsa sünek kırılma olur.
- İstenen sünek kırılmadır.
- Kirişlerin tasarımı daima $\rho < \rho_b$ olacak şekilde tasarlanmalıdır.
- SORU: Çok donatılı kiriş istenir mi?
- CEVAP: Hayır istenmez çünkü gevrek kırılma olur.

Taşıma Gücü Hesabı, Adım 1: Dengeli Durum



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

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

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

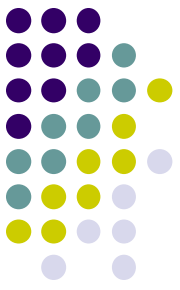
Dengeli donatı oranı (tanım):

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

Çelik akma anında ϵ_{sd} değerleri

Çelik sınıfı	$\epsilon_{sd} = f_{yd} / E_s$
S 220	0.000957
S 420, B 420B, B 420C	0.001826
B 500A, B 500B, B 500C	0.002174

220 ve 500 çelikleri Kiriş ve kolonlarda kullanılmaz !



Kirişlerde Donatı Üst ve Alt Limitleri

- Kirişlerde dengeli donatı oranı teorik olarak üst limit değeridir.
- Güvenli tarafta kalabilmek için donatı oranı, üst limitin biraz altı alınır.
- Unutulmamalıdır ki donatı oranı sıfır olamaz.
- Donatı limitleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.
- Aşağıdaki şartları TS500:2000'de sayfa 23-30 arasında bulabilirsiniz.

Çekme donatısı oranının üst sınırı:

$$\rho \leq 0.02$$

Sargı(etriye) donatısı oranının alt sınırı:

$$\rho_w \geq 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} \quad \frac{A_{sw}}{b_w s} \geq 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}}$$

Çekme donatısı oranının alt sınırı:

$$\rho \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$$

Gövde donatısı oranının alt sınırı:

$$\rho_{gövde} \geq 0.001$$

- Kirişlerde boyuna donatı olarak 12 mm'den küçük çaplı çubuklar bulunamaz.
- Eğer kiriş yüksekliği 600 mm'den fazla ise aşağıdaki formülden hesaplanan miktar kadar gövde donatısı bulundurulur.

$$A_{sf} = 0,001 b_w d$$

ρ : çekme donatısının oranı

ρ' : basınç veya montaj donatısının oranı

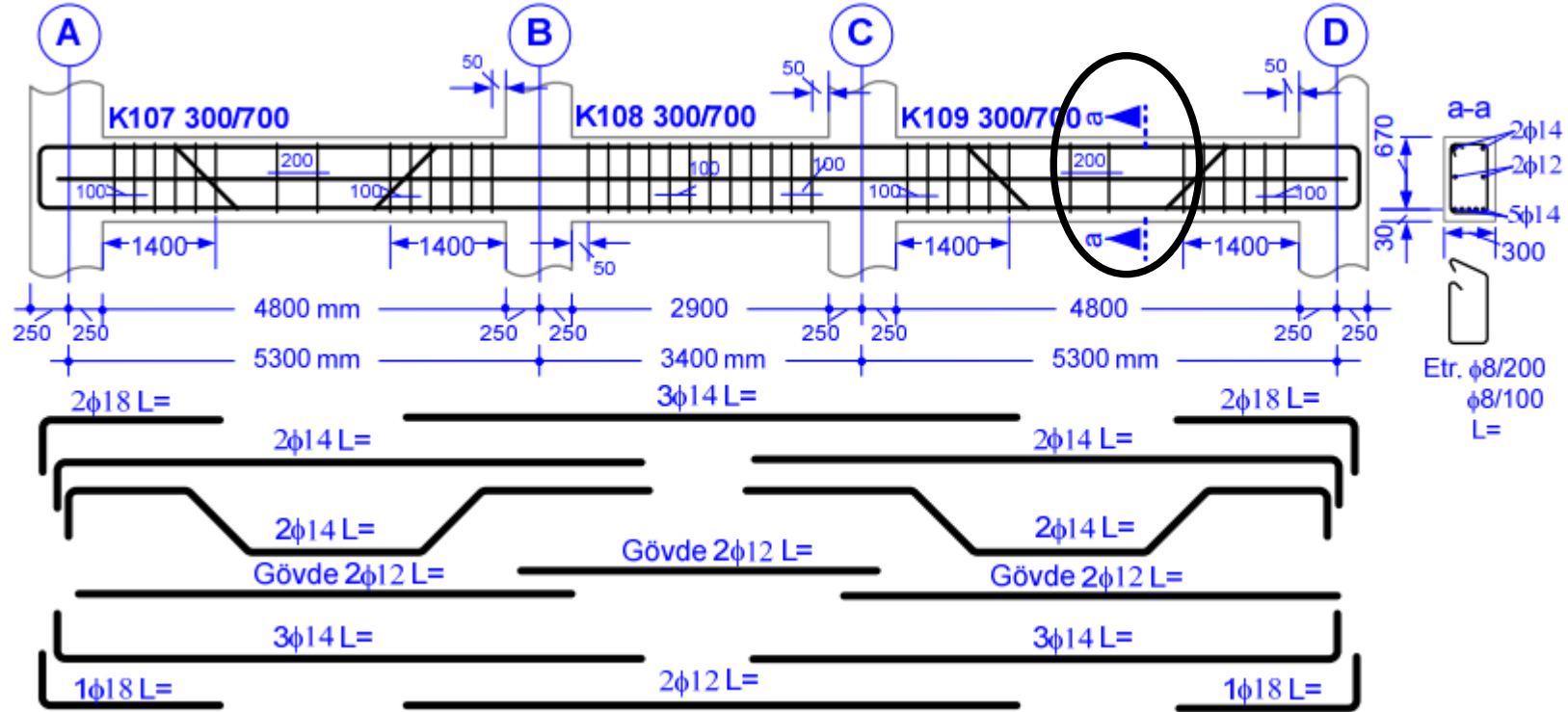
ρ_b : dengeli donatı oranı

f_{ctd} : betonun çekme tasarım dayanımı

f_{yd} : boyuna donatı çeliğinin çekme tasarım dayanımı

f_{ywd} : sargı donatı çeliğinin çekme tasarım dayanımı

Tasarım Kuralları ile İlgili bir Soru



C25/30
B 420C

SORU: a-a kesitindeki donatı oranlarının yönetmeliğe uygun olup olmadığını kontrol ediniz



Kaynaklar

- Topçu, A., Betonarme-I, Ders notları, Eskişehir, OGU (mmf2.ogu.edu.tr/atopcu)
- Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, 2011
- Celep, Z., Betonarme Yapılar, Beşinci Baskı, 2009
- Kaplan, S. A., Betonarme, Bilbeyki Yayınları, 2003
- Ersoy, U., Özcebe, G., Betonarme, Evrim Yayınları, 2013
- TS500:2000, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Deprem Yönetmeliği 2007, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara