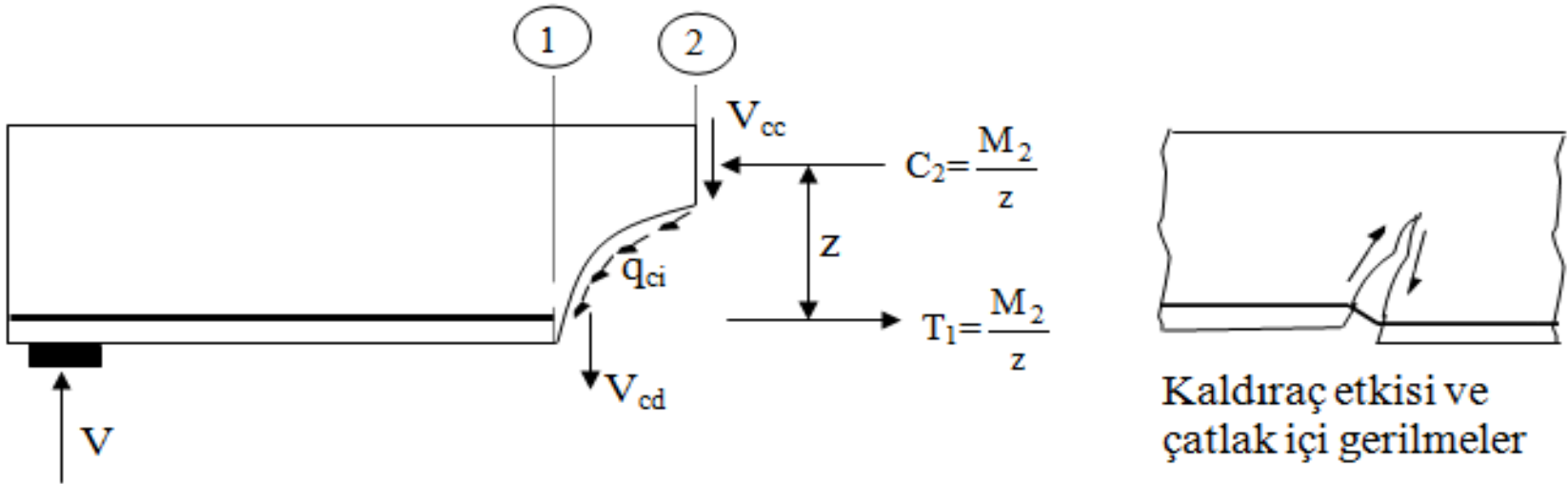
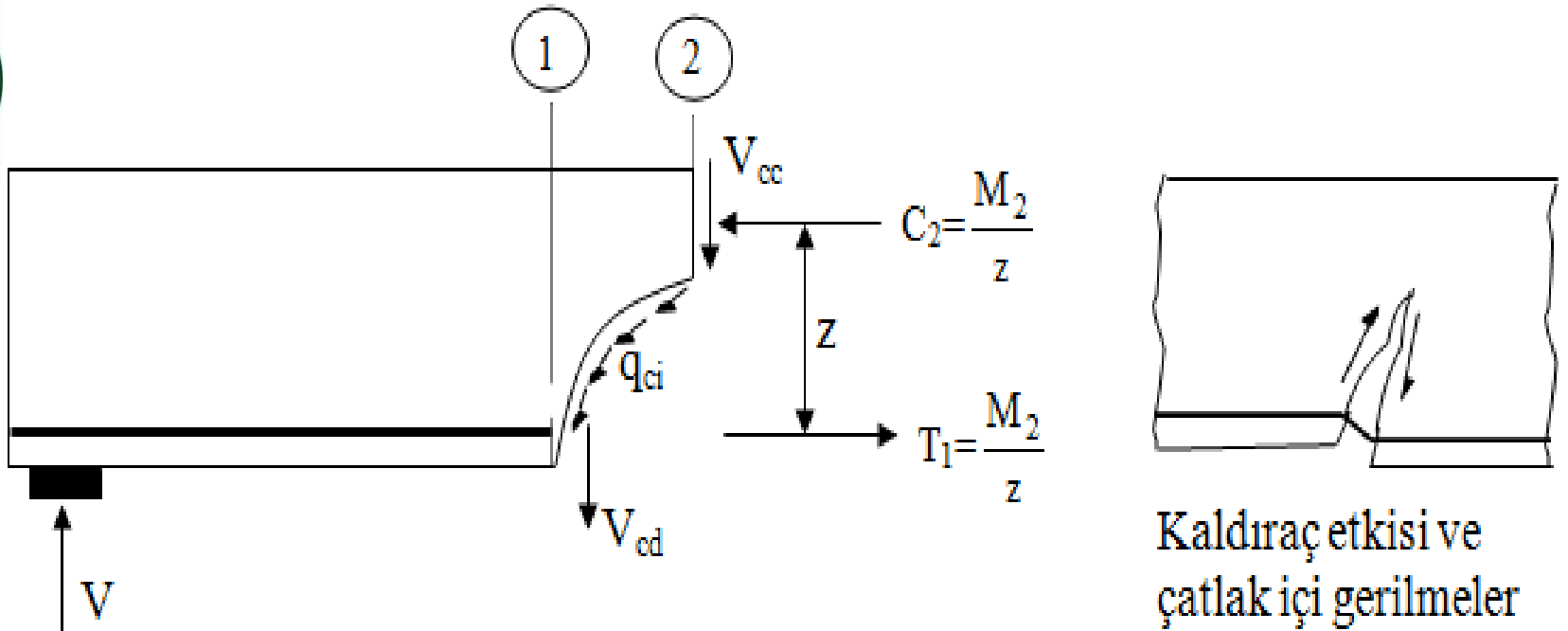


Kesme Kuvvetinin Taşınması ile İlgili Mekanizmalar/Kesme Kuvvetini Dengeleyen İç kuvvetler

İki simetrik noktasal yük altında kirişte, eğik çatlakların oluşması ile gerilmelerde önemli değişimler olur. Bu değişimleri görebilmek için ve kirişin çatlak oluşuktan sonra nasıl yük taşıdığını anlayabilmek için kirişin çatlak boyunca kesilmesi ile elde edilen serbest cisim diyagramı aşağıda verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi eğik çatlağın olduğu bir kirişte uygulanan kesme kuvveti, üç ayrı iç kuvvetle dengelenmektedir.

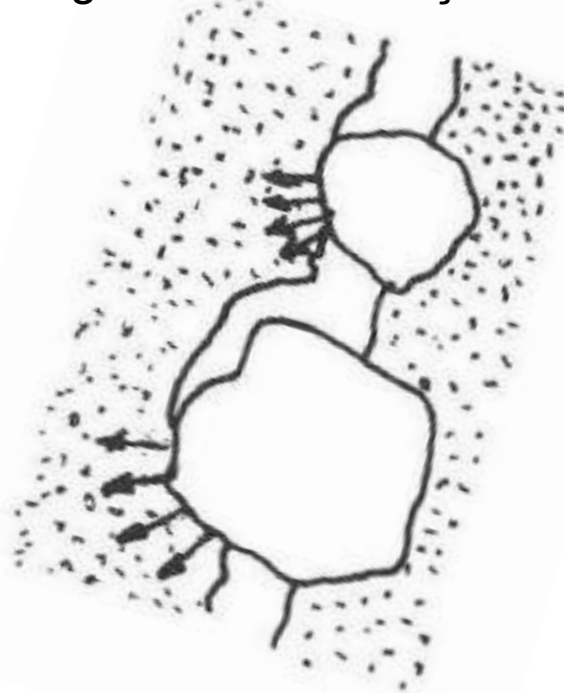




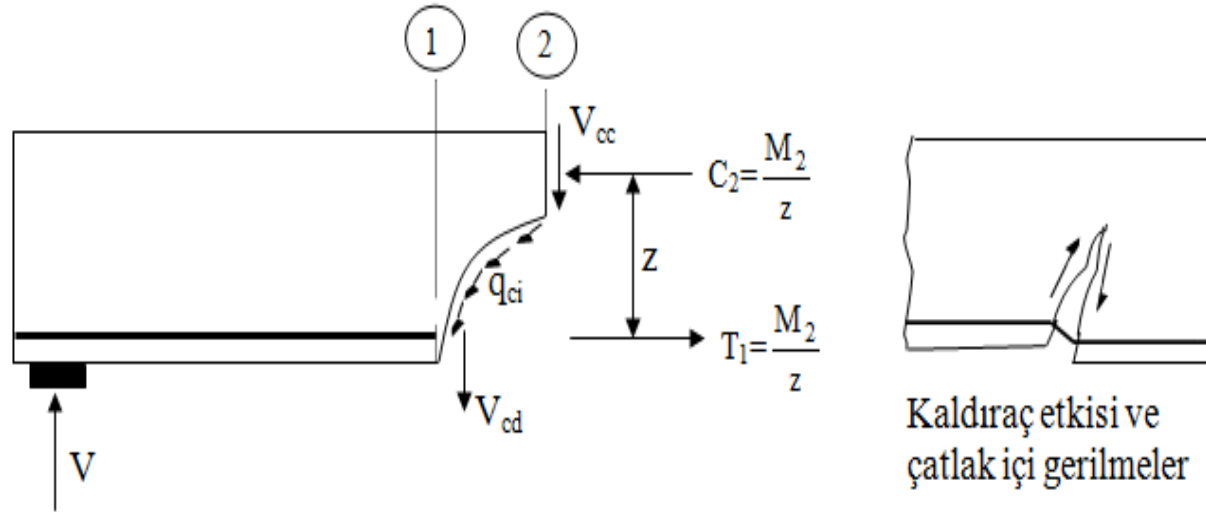
- Çatlamamış basınç bölgesinde taşınan kesme kuvveti (V_{cc}),
- Çekme donatısınca taşınan kesme kuvveti (V_{cd}), eğik çatlak oluşuktan sonra çatlağın sağında kalan kiriş parçası yük etkisi ile aşağı doğru yer değiştirmeye çalışacak, donatı ise bunu engelleyecektir. Bu durumda donatı zorlanacak ve solda kalan kiriş parçasını donatı boyunca yırtmaya çalışacaktır. Bu etki kaldıraç etkisi olarak adlandırılacaktır.

- Çatlak yüzeyinde oluşan "çatlak içi kayma gerilmeleri" (q_{ci}). Bu gerilmelerin toplamının düşey bileşkesi (V_{ci}) uygulanan kesme kuvvetinin taşınmasına katkıda bulunacaktır.

Çatlak içi kayma gerilmelerinin oluşumunda agreganın kilit etkisi



Agrega kilit etkisi: agreganın partikülleri, genişleyen çatlak yüzlerinden birinden, karşı yüzle "kilitlenir" ve kayma yer değiştirmelerine direnerek karşı koyar.



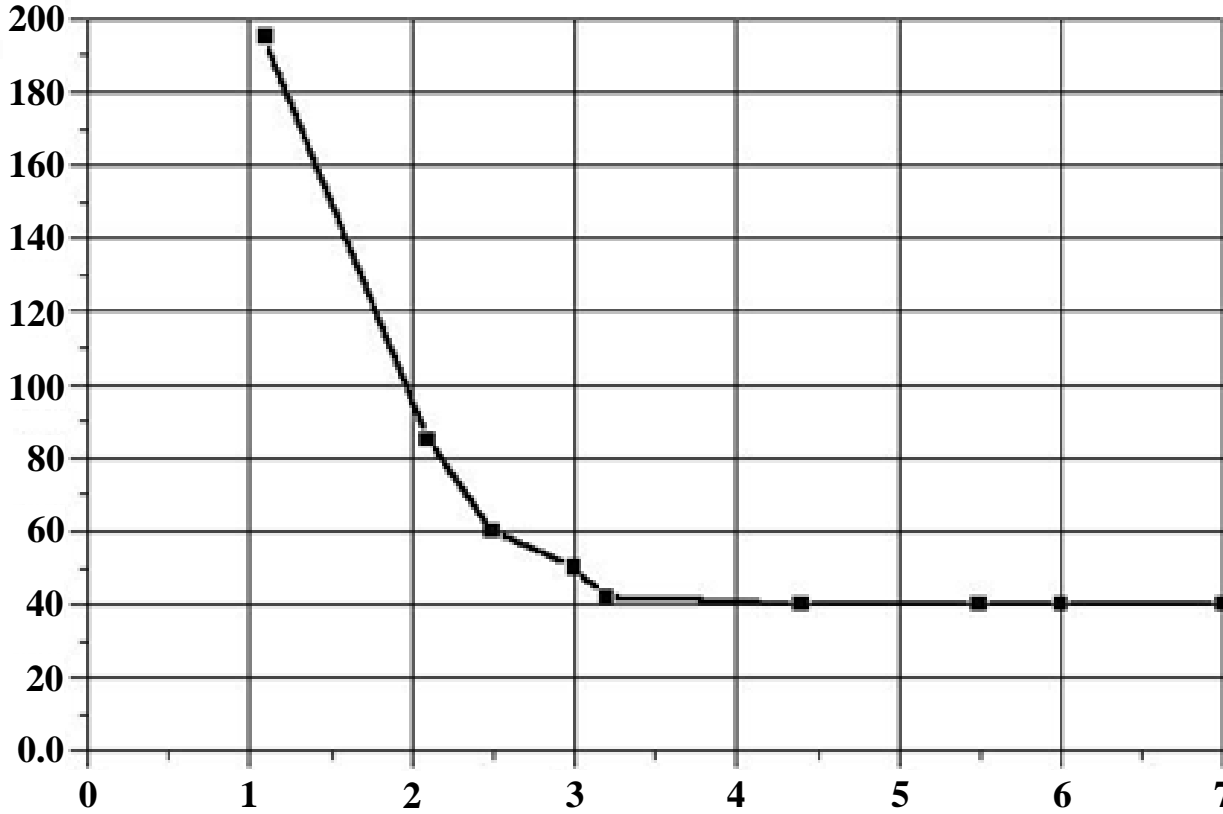
Eğik çatlakın oluşturduğu kirişte düşey kuvvetler dengesi yazılırsa

$$V = V_{cc} + V_{cd} + V_{ci}$$

Çatlak oluştuğunda iç kuvvetlerin toplamı, uygulanan kesme kuvvetini taşımaya yeterli ise kiriş yük taşımaya devam eder ($\frac{M}{Vd} < 3$).

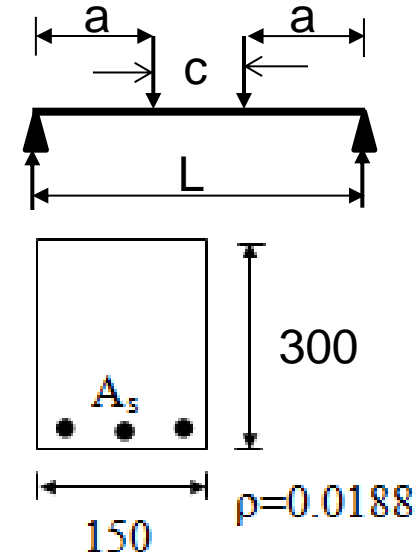
Tersi durumda ($3 < \frac{M}{Vd} < 7$) ilk çatlamanın oluşması ile denge sağlanmadığından kiriş aniden kırılır.

V_u (kN)



$$\frac{a}{d} = \frac{M}{Vd}$$

Kesme dayanımının $\frac{M}{Vd}$ oranına göre değişimi



[Kani Deneyleri](#)

$f_{ck} = 26$ Mpa
 $f_{yk} = 390$ Mpa

KANI DENEYLERİ 1966

kiriş tanımlama ($f'_c - p - t P$) sistemi kullanılarak aşağıdaki seriler test edilmiştir. (P noktasal yükü göstermektedir.)

2.5-0.50-12P

3.8-0.50-12P

5.0-0.50-12P

2.5-0.80-12P

3.8-0.80-12P

5.0-0.80-12P

2.5-1.88-12P

3.8-1.88-12P

5.0-1.88-12P

—

3.8-2.80-12P

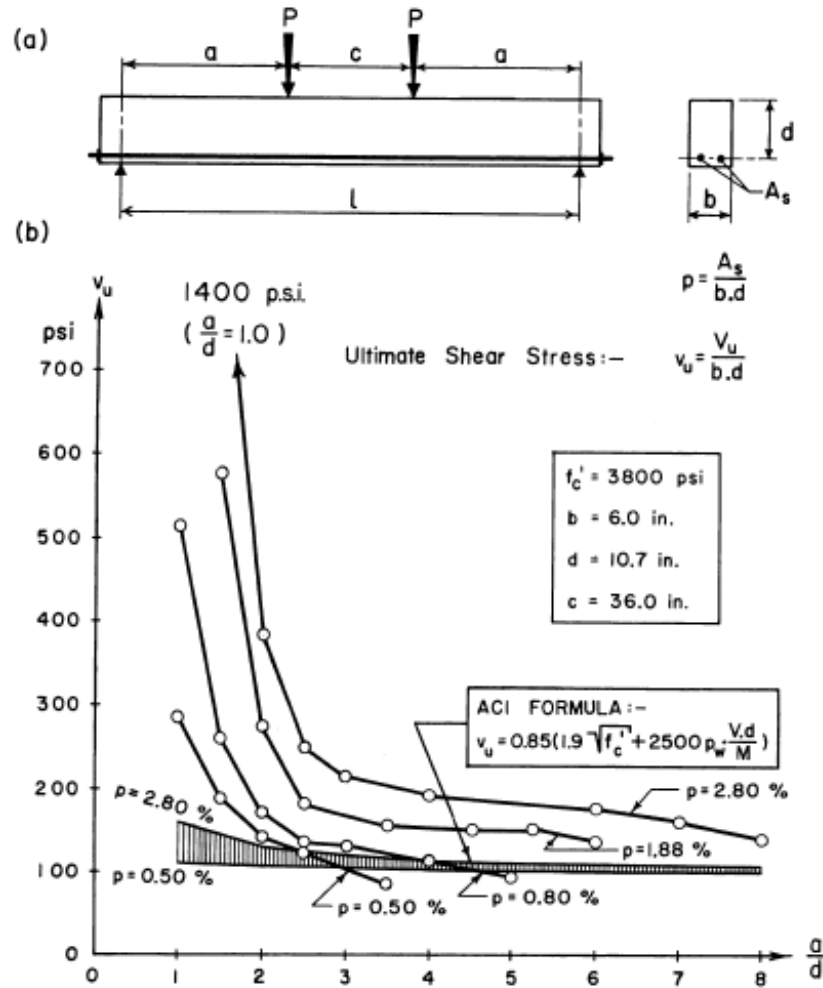
5.0-2.80-12P

Kani yukarıda tanımlanan 11 test serisi ile 133 kiriş numunesi test ederek 3 farklı beton basınç dayanımının (f'_c), 4 farklı çekme donatı yüzdesinin (ρ) ve 1 den 7 değerine kadar değişen a/d oranlarının, etriyesiz kirişlerin kesme davranışı üzerine etkisini araştırmıştır.

Beton Basınç Dayanımları $f'_c = 17.24, 26$ ve 34.5 N/mm^2

Çekme Donatısı Yüzdeleri $\rho = \%0.50, \%0.88, \%1.88$ ve $\%2.88$

Kesme açıklığı/faydalı yükseklik, $a/d = 1-7$



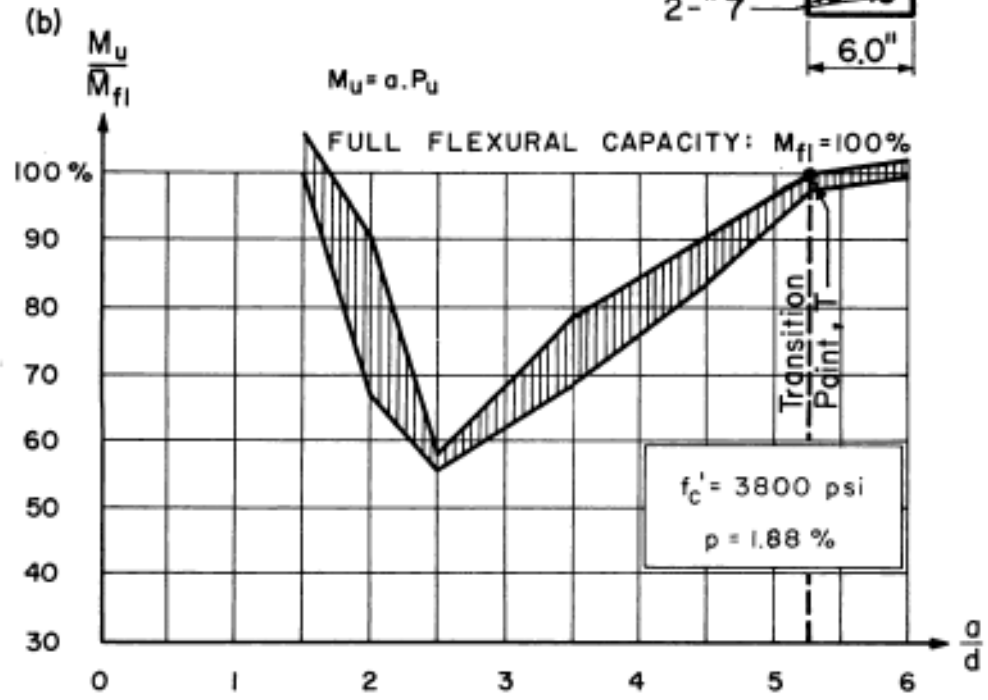
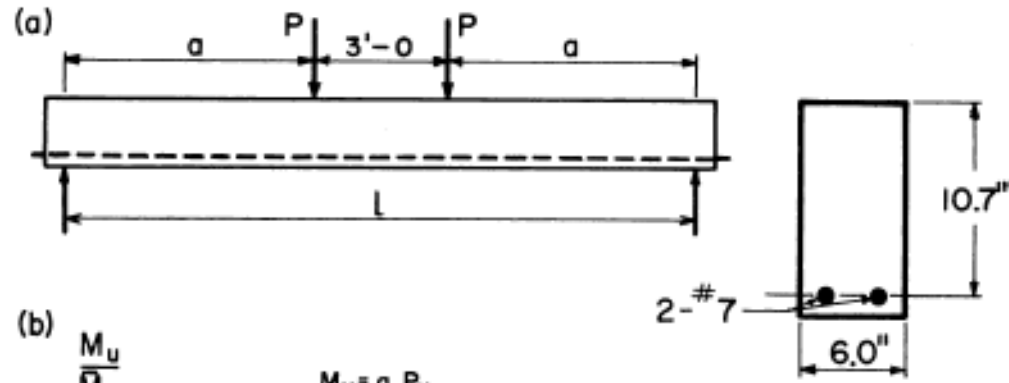
$b_w = 150$ mm
 $d = 270$ mm
Kani Deneyleeri

$f_{ck} = 26$ Mpa
 $f_{yk} = 390$ Mpa

$100 \text{ psi} = 0.6895476 \text{ N/mm}^2$

Fig. 2 — Shear stress at failure versus a/d

*Kani, G.N.J., Basic Facts Concerning Shear Failure, Journal of ACI, Vol 63, Issue 6, 675-692, 1966.

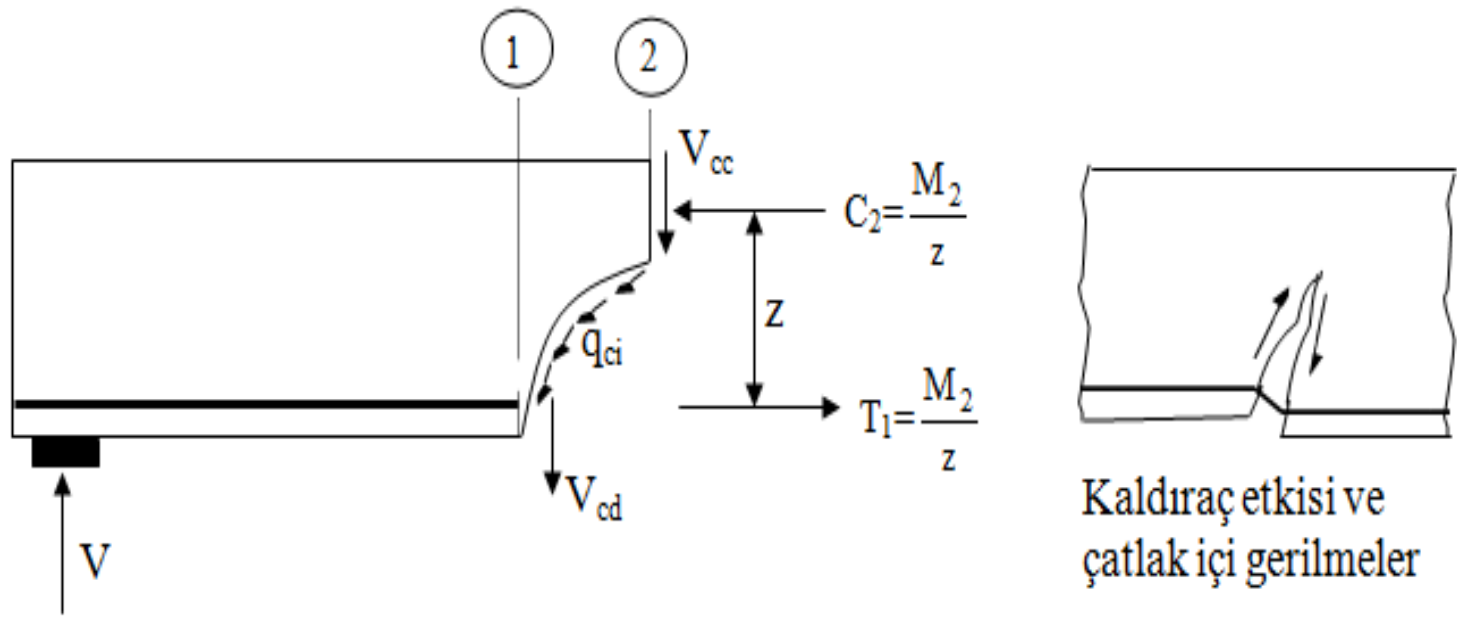


$b_w = 150 \text{ mm}$
 $d = 270 \text{ mm}$
[Kani Deneyleri](#)

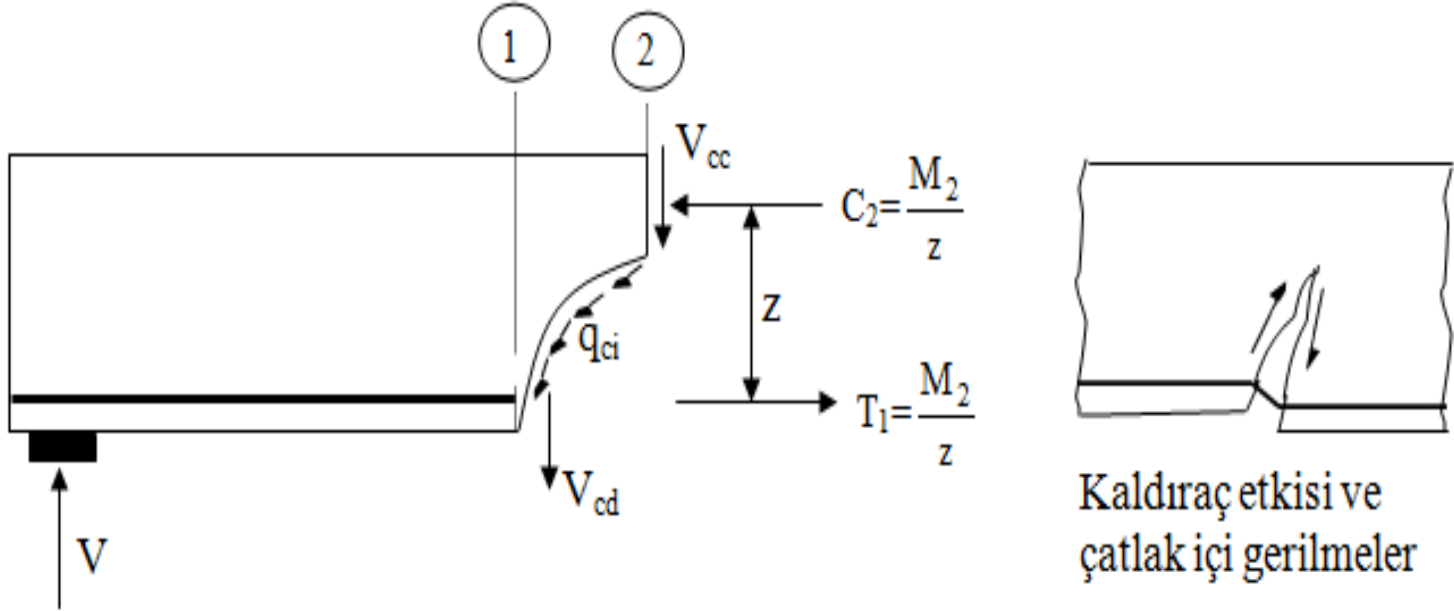
$f_{ck} = 26 \text{ Mpa}$
 $f_{yk} = 390 \text{ Mpa}$

Fig. 3 — Relative beam strength M_u/\bar{M}_{fl} versus a/d

*Kani, G.N.J., Basic Facts Concerning Shear Failure, Journal of ACI, Vol 63, Issue 6, 675-692, 1966.



Şekilden, eğik çatlamanın oluşması ile çekme donatısında gözlenen ani gerilme sıçramasının nedeni de kolayca görülebilir. Donatıdaki T_1 kuvveti çatlak oluşmadan önce 1 ile gösterilen moment ile orantılıdır ($T_1 = \frac{M_1}{z}$). Çatlağın oluşması ile $T_1 = C_2$ olması



gerektiğinden T_1 , 2 nolu kesitteki moment ile orantılı olmak durumundadır ($T_1 = \frac{M_2}{z}$). $M_2 > M_1$, T_1 kuvvetinin dolayısıyla donatıdaki gerilmenin önemli ölçüde artması gerekir.

EĞİK ÇATLAMA DAYANIMI

Kesme açıklığı büyük olduğu durumlarda (yaklaşık $3 < \frac{M}{Vd} < 7$) eğik çekme dayanımının kırılma yükü ile aynı olduğu $V_{cr} = V_u$, kesme açıklığı küçük olduğu durumlarda ise ($\frac{M}{Vd} < 3$) kırılma yükü eğik çekme dayanımından yüksek çıkmaktadır. ($V_u > V_{cr}$)



Yapılan deneysel ve analitik çalışmalar, kırılmayı tanımlayan kesme dayanımının belirlenmesinin zor ve karmaşık olduğunu, buna karşın eğik çatlama dayanımının daha kolay belirlenebileceğini göstermiştir. Kiriş davranışını önemli ölçüde etkileyen ve gerilme uyumuna neden olan eğik çekme çatlağının oluştuğu andaki kesme kuvvetinin (eğik çekme dayanımı) belirlenmesi yararlı ve gereklidir.

Prof. Viest klasik mukavemet denklemleri aracılığı ile hesapladığı asal çekme gerilmesini, betonun çekme dayanımına eşitleyerek eğik çekme dayanımını saptamaya çalışmıştır. Elde ettiği denklemlerdeki sabitleri deneysel verilerden faydalanarak belirleyen Viest, çekme dayanımı için aşağıdaki ifadeyi elde etmiştir.



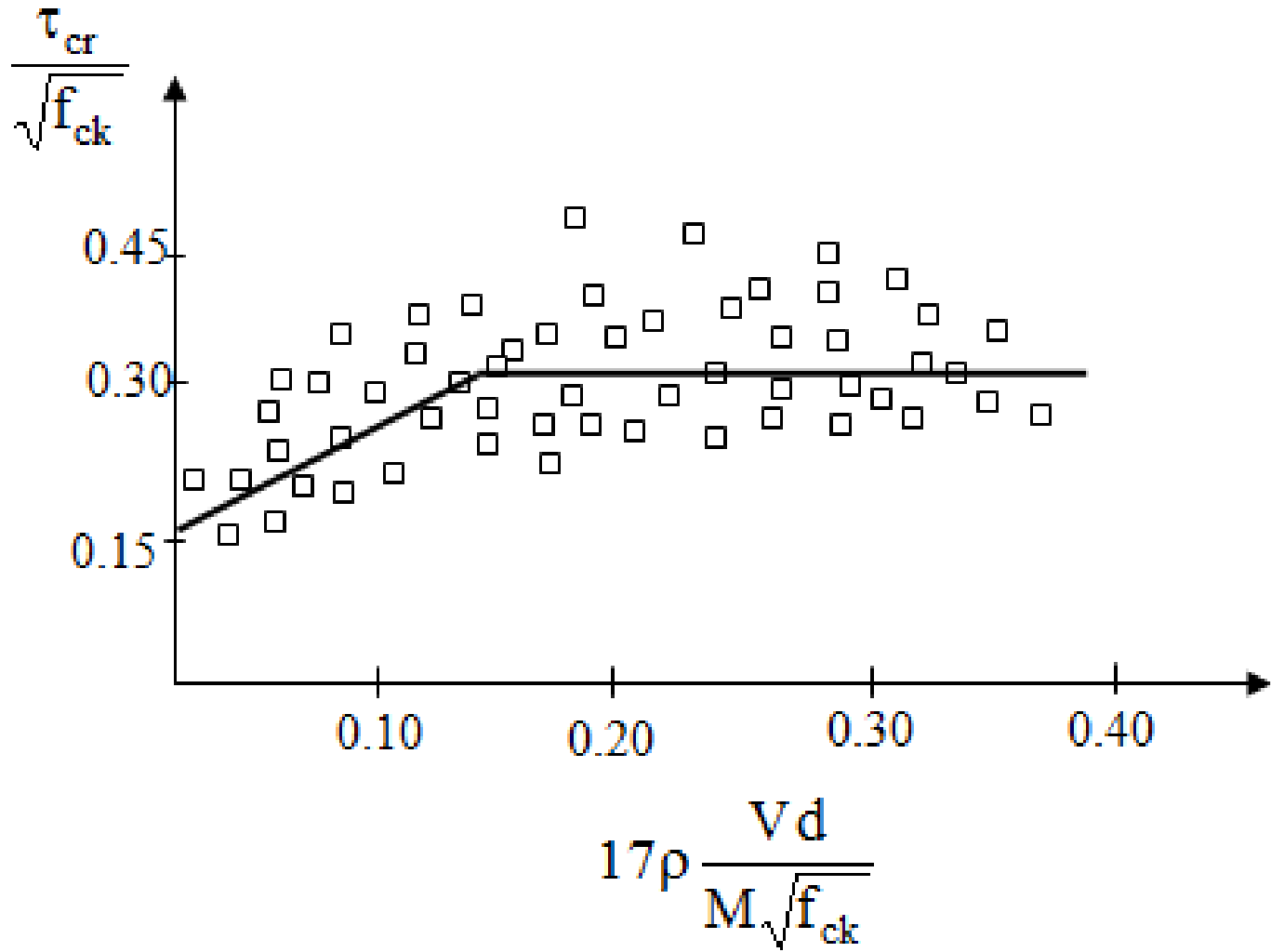
$$V_{cr} = \left[0.52 \sqrt{f_{ck}} + 175 \rho \frac{Vd}{M} \right] b_w d \leq 0.93 \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (\text{metrik})$$

$$V_{cr} = \left[0.16 \sqrt{f_{ck}} + 17 \rho \frac{Vd}{M} \right] b_w d \leq 0.3 \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (\text{SI})$$

TS500-2000 ve tüm çağdaş yönetmeliklerde ortalama kayma gerilmesi;

$$\tau_s = \frac{V}{b_w d} \quad \text{Olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda denklem;}$$

$$\frac{\tau_{cr}}{\sqrt{f_{ck}}} = \left[0.16 + 17 \rho \frac{Vd}{M} \frac{1}{\sqrt{f_{ck}}} \right] \leq 0.3 \quad (\text{SI})$$





ACI yönetmeliğinde;

$$V_{cr}=0.16 \sqrt{f_{ck}} b_w d$$

kullanılabileceği belirtilmiştir. $0.16 \sqrt{f_{ck}}$ çok emniyetli yönde bir alt sınır oluşturmaktadır. Hesaplarda kullanılırken bu değer ACI güvenlik katsayısı $\phi=0.85$ ile çarpılmalıdır.

TS500-2000'de eğik çekme dayanımı;

$V_{cr}=0.65 f_{ctd} b_w d$ olarak tanımlanır. Bu ifade ACI tarafından önerilen ifade ile uyumludur.

TS500 de ACI daki alt sınır olan;

$$0.85 * 0.16 * \sqrt{f_{ck}} \cong 0.14 \sqrt{f_{ck}} = 0.4 f_{ctk} = 0.6 f_{ctd} \text{ temel alınmıştır.}$$

$$f_{ctk} = 0.35 \sqrt{f_{ck}}$$



ACI yönetmeliğinde eğik çekme dayanımını belirleyen ifade;

$(V_{cr} = \phi \cdot 0.16 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d)$, aksenal yükü içeren bir faktörle

çarpılarak değiştirilmelidir.

$$N_d = \text{çekme ise, } V_{cr} = \phi \cdot 0.16 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d \left\{ 1 - 0.3 \frac{N_d}{A_c} \right\}$$

$$N_d = \text{basınç ise, } V_{cr} = \phi \cdot 0.16 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d \left\{ 1 + 0.07 \frac{N_d}{A_c} \right\}$$

Denklemdaki N_d hesap aksenal yükü, A_c ise brüt beton alanıdır.

TS500 de ACI da izlenen yol tercih edilmiştir.

$$N_d = \text{çekme ise, } V_{cr} = 0.65 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \left(1 - 0.3 \frac{N_d}{A_c} \right)$$

TS 500 (8.1)

$$N_d = \text{basınç ise, } V_{cr} = 0.65 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \left(1 + 0.07 \frac{N_d}{A_c} \right)$$

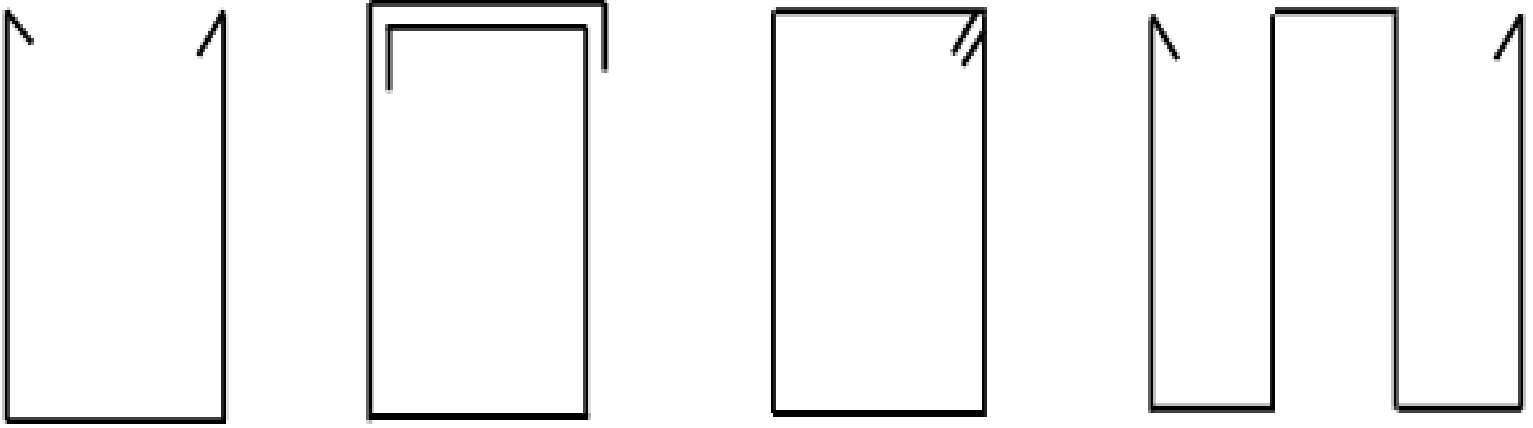


KAYMA DONATILI ELEMANLAR

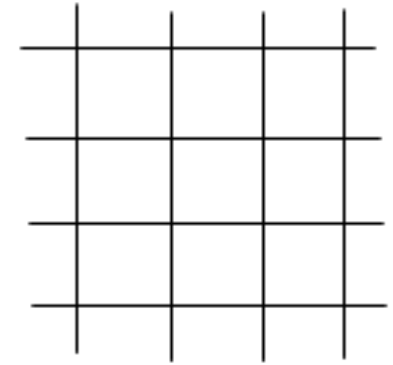
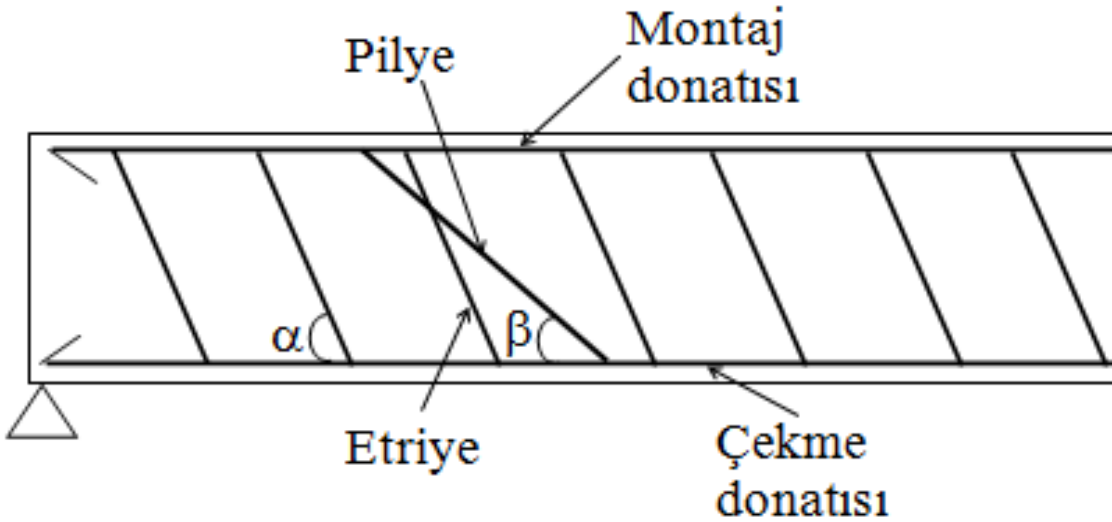
Kesme gerilmelerinden oluşan eğik çekme gerilmelerini salt betonla karşılamak güvenli ve ekonomik değildir. Ülkemizde kullanılan yönetmeliğe göre, kesme gerilmelerinin düzeyi ne olursa olsun eleman boyunca kesme donatısı bulundurulması zorunlu kılınmıştır.

Kayma donatısı genellikle üç türlü olabilir. Bu üç tür ayrı veya birlikte kullanılabilir.

- * Etriyeler
- * Pilyeler
- * Hasır donatı



Etriyeler



Hasır donatı

$$45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ, \quad \text{genellikle } \alpha = 90^\circ$$



Etriyeler bireysel çubuklardır. Bunlar boyuna donatıya 45° veya daha büyük açı yapacak şekilde belirli (s) aralıkları ile yerleştirilir. Genellikle bu açı 90° olur.

Pilyeler çekme donatısının kiriş eksenine bir β açısı ile bükülmesiyle yapılır. Genellikle bu açı 45° dir. Yapılan çalışmalar pilyelerin kesme açısından etriyeler kadar etkili olmadığını kanıtlamıştır.

Pilyeler kullanıldığında çatlak genişliğinin etriyelere oranla çok daha büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca deprem etkisi altında bir tersinme söz konusu olduğundan asal çekme gerilmeleri pilyeye dik yönde oluşur ve pilyeler tamamen etkisiz kalır.



Tablalı kirişlerde oluşan eğik çatlakların, tabla düzeyine ulaştıklarında yatay bir yön izleyerek tablayı gövdeden ayırdıkları gözlenmiştir. Bu gibi durumlarda etriye adeta bir dikiş donatısı gibi davranarak, tablanın gövdeden ayrılmasına engel olur. Pilyeler bu konuda etriyeler kadar etkili değildir.

Hasır donatı karesel bir ağ oluşturduğundan, asal çekme gerilmelerinin yönü ne olursa olsun etkili olabilmektedirler.

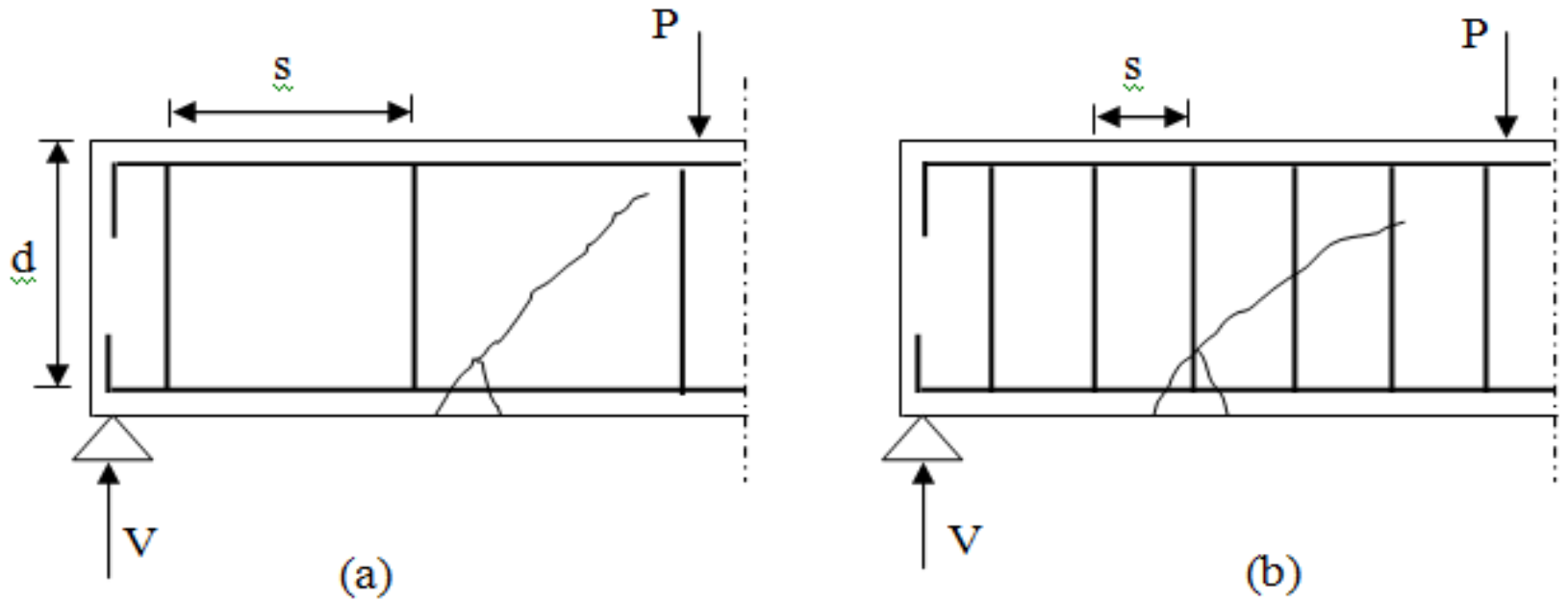


Kayma Donatılı Elemanların Davranışı:

Kayma donatısının temel işlevi elemanın kesmeden kırılmasını önleyerek, eğilme kapasitesine ulaşmasını sağlamaktır ($M_u > M_{rf}$).

Yapılan deneyler kayma donatılı bir kirişin, eğik çatlama oluşuncaya kadar kayma donatısız bir kiriş gibi davrandığını göstermiştir. Eğik çatlağın oluşması ile çatlakla kesişen etriyelerde büyük gerilmeler oluşmaktadır. Dolayısıyla bu aşamadan sonra etriyeler etkili olmaya başlamıştır. Etriyeler çok seyrek yerleştirildiği takdirde oluşacak çatlaklar çok az sayıda etriye ile kesişeceğinden etriyelerin hiçbir yararı olmayacaktır

(Şekil (a)). Sık etriye yerleştirildiğinde oluşacak çatlaklar birden fazla etriye ile kesişeceğinden bu etriyeler daha etkili olacaktır (Şekil (b)).



Etriye çubuğunun taşıyabileceği çekme kuvveti, etriye alanı ve akma gerilmesi ile orantılı olduğundan yerleştirilecek etriyenin çapıda önemlidir. .

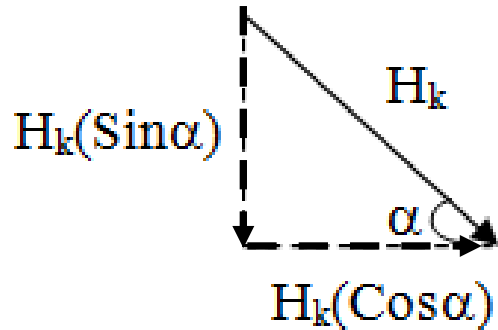
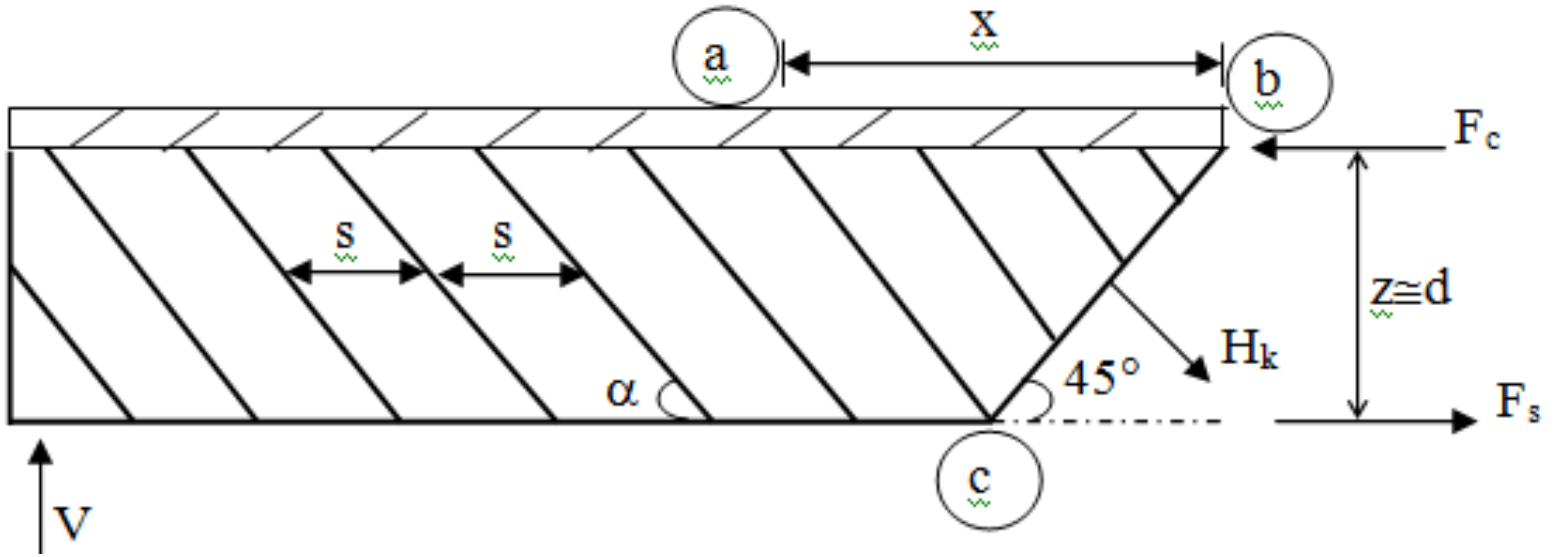
Buradaki bütün olumsuzlukları önleyebilmek için; etriye olabildiğince sık yerleştirilmeli ($s \leq d/2$) ve birim boyda oluşacak kuvvetleri karşılamaya yeterli etriye alanı bulundurulmalıdır. Yönetmeliklerde öngörülen min. etriye ve max. aralık koşuluna uyulmalıdır



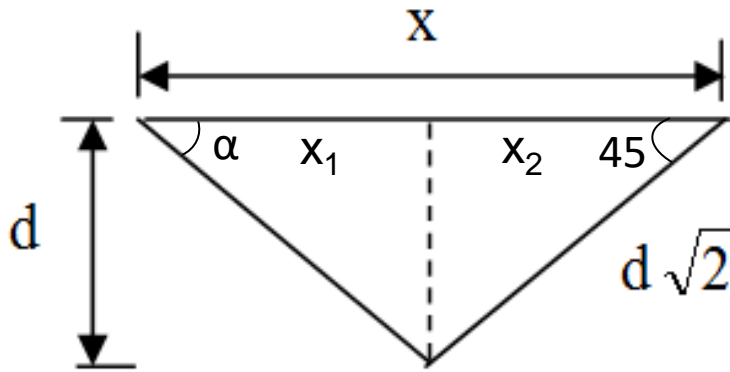
Etriyeleri gereğinden fazla kullanmak yararlı değildir. Yerleştirilen kayma donatısı ile kiriş kapasitesi arttırıldığında gövdede oluşacak asal basınç gerilmeleride büyür. Bu basınç dayanımı betonun basınç dayanımını aşabilir. Bu nedenle yönetmeliklerde kesme kuvveti için bir sınır konmuştur ($V_d \leq V_{max}$).

KAYMA DONATISI HESABI

Kayma donatısı hesabı için aşağıdaki kiriş modeli kullanılır.



H_k : Etriyelerin bileşke kuvveti



$$\tan \alpha = \frac{d}{x_1}, \quad x_1 = \frac{d}{\tan \alpha}$$

$$x_2 = \frac{d}{\tan 45}, \quad x = x_1 + x_2$$

$$d \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} + \frac{\cos 45}{\sin 45} d$$

$$x = d \left(\frac{\cos \alpha + \sin \alpha}{\sin \alpha} \right)$$

$$n = \frac{x}{s} = \frac{d (\cos \alpha + \sin \alpha)}{s \sin \alpha}, \quad n: (c-b) \text{ üzerindeki etriye sayısı}$$

$H_k = (n) A_{sw} f_{ywd}$ n sayıda donatı tarafından taşınan çekme kuvveti

$$H_k = \frac{d (\cos \alpha + \sin \alpha)}{s \sin \alpha} (A_{sw} f_{ywd})$$

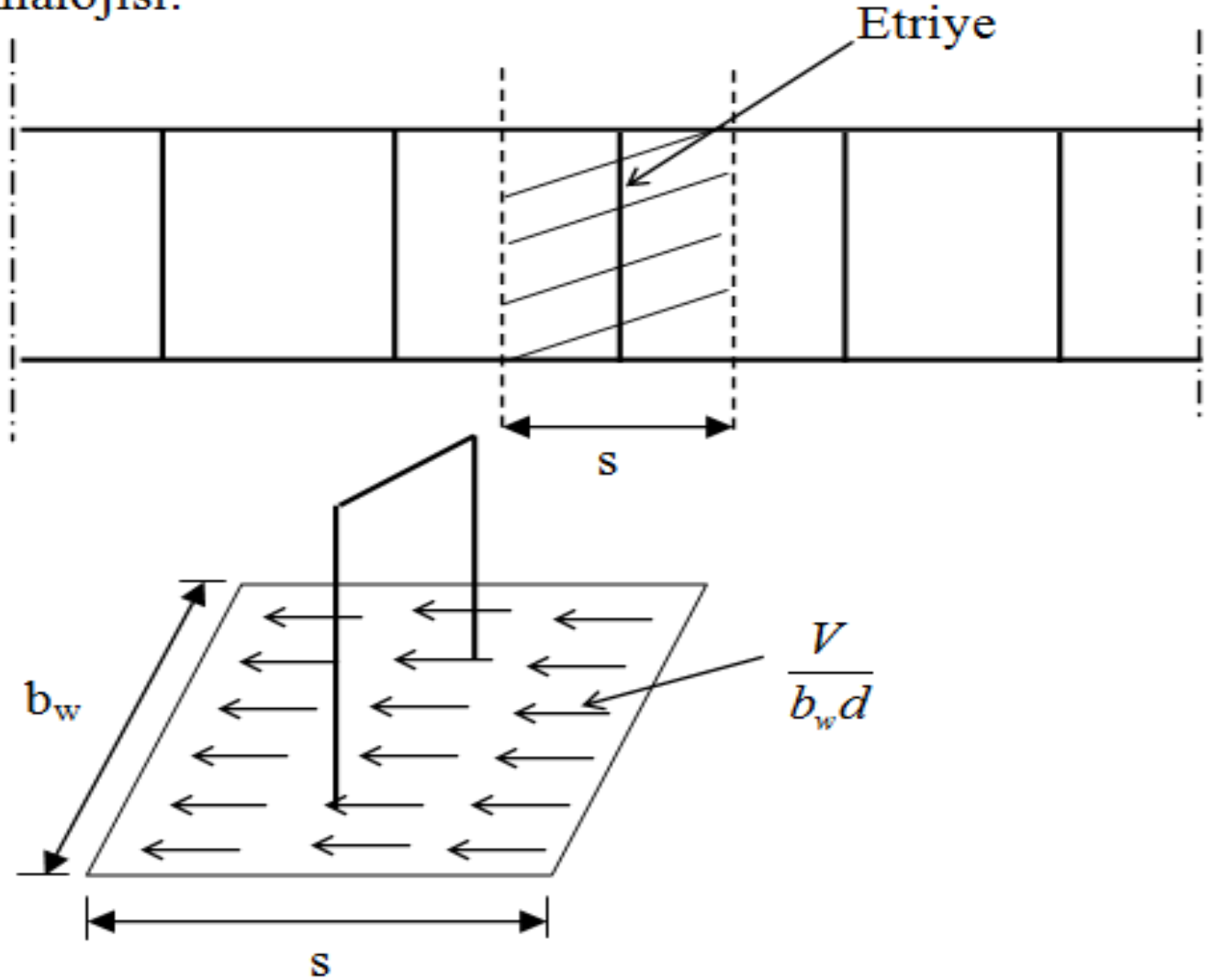
$H_k \sin \alpha = V$ dersek;

$$V = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) d f_{ywd} (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad \text{olarak elde edilir.}$$

$\alpha=90^\circ$ olması halinde;

$$V = \frac{A_{sw}}{s} d f_{ywd} \text{ olur.}$$

Perçin Analojisi:

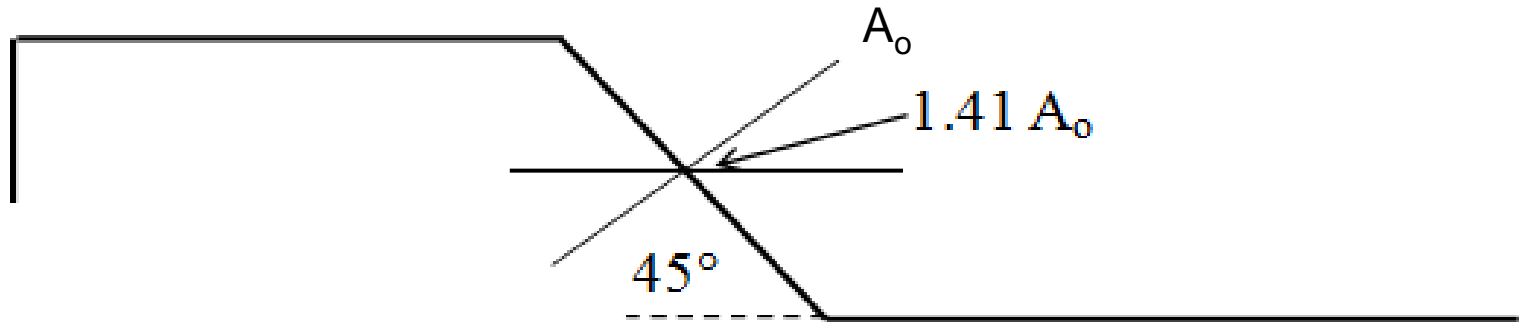


Perçin Alanı=Etriye Alanı=2(A_o)

$$A_{sw}=2(A_o) , \quad A_o=\frac{\pi\phi^2}{4} , \quad A_o: \text{Etriyenin tek kolunun alanı}$$

$$\frac{V}{b_w d} b_w s = A_{sw} f_{ywd} , \quad V_w = \frac{A_{sw}}{s} d f_{ywd} \text{ elde edilir.}$$

Pilye Çeliği: Perçin Analojisi



$$V_{(Pilye)}=1.41 A_o f_{ywd}$$



Kesme Tasarımı:

$$V_d = V_r$$

$$V_r = V_w + V_c$$

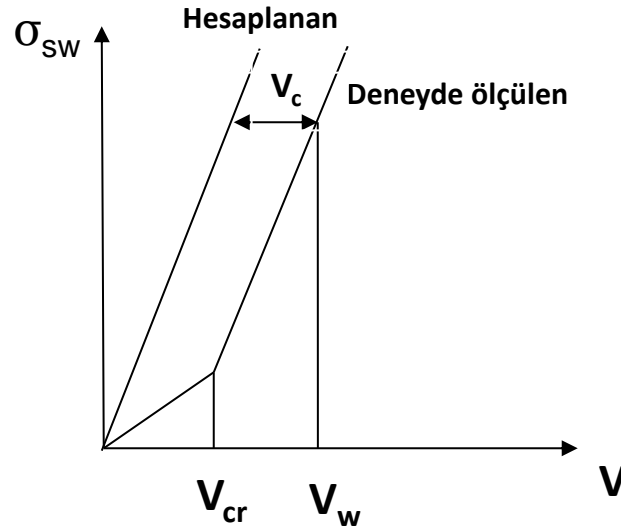
V_d : Hesap kesme kuvveti

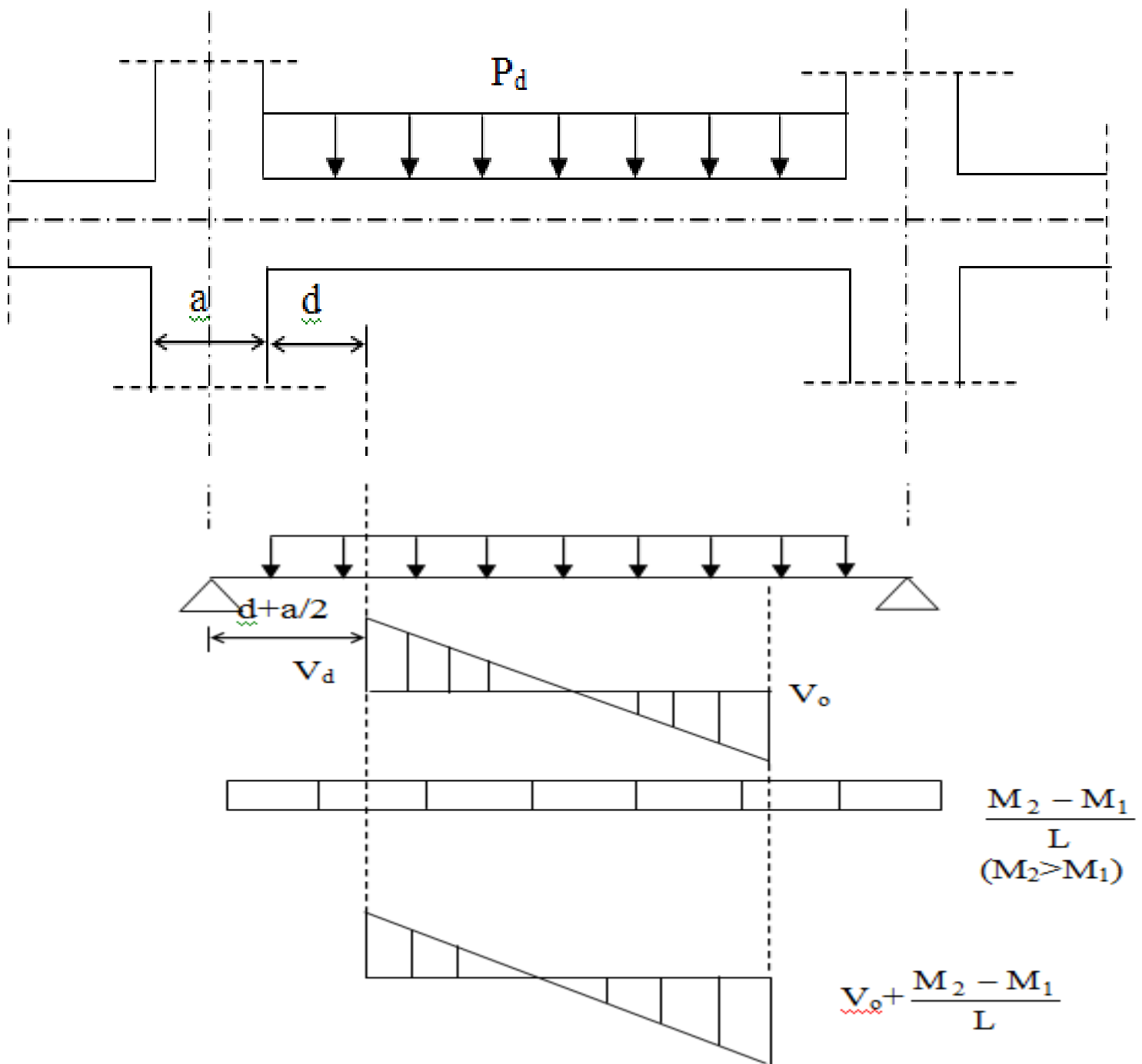
V_w : Kayma donatısı tarafından taşınan kesme kuvveti.

V_c : Düzeltme terimidir ve yaklaşık olarak eğik çatlama dayanımına (V_{cr}) eşittir.

Kirişlerde kırılmaya yol açan çatlak genelde mesnet civarında değil, mesnetten (d) kadar uzaklıkta meydana gelmektedir. Bu nedenle hesap yapılırken mesnet yüzündeki kesme kuvveti değil, mesnetten (d) kadar uzaklıktaki kesme kuvveti alınır. Dolaylı mesnetlerde ise mesnet yüzündeki kesme kuvveti hesap kesme kuvveti olarak alınır.

Deneysel olarak yapılan ölçümler kesme donatısında oluşan gerilmelerin hesaplanan gerilmelerden daha küçük olduğunu göstermiştir. Deneysel olarak ilginç olan kafes kiriş analojisi ile hesaplanan donatının % 50 sine sahip olan kirişlerin bile sağlıklı davranış göstererek eğilme kapasitelerine ulaştığını göstermiştir. Bu sonuçlar klasik kafes kiriş analojisinin bazı durumlarda gerçekçi sonuç vermediğini göstermiştir.





Klasik kafes kiriş analojisinden, gerekli kayma donatısı alanının (A_{sw}) hesaplanması öngörülmektedir.

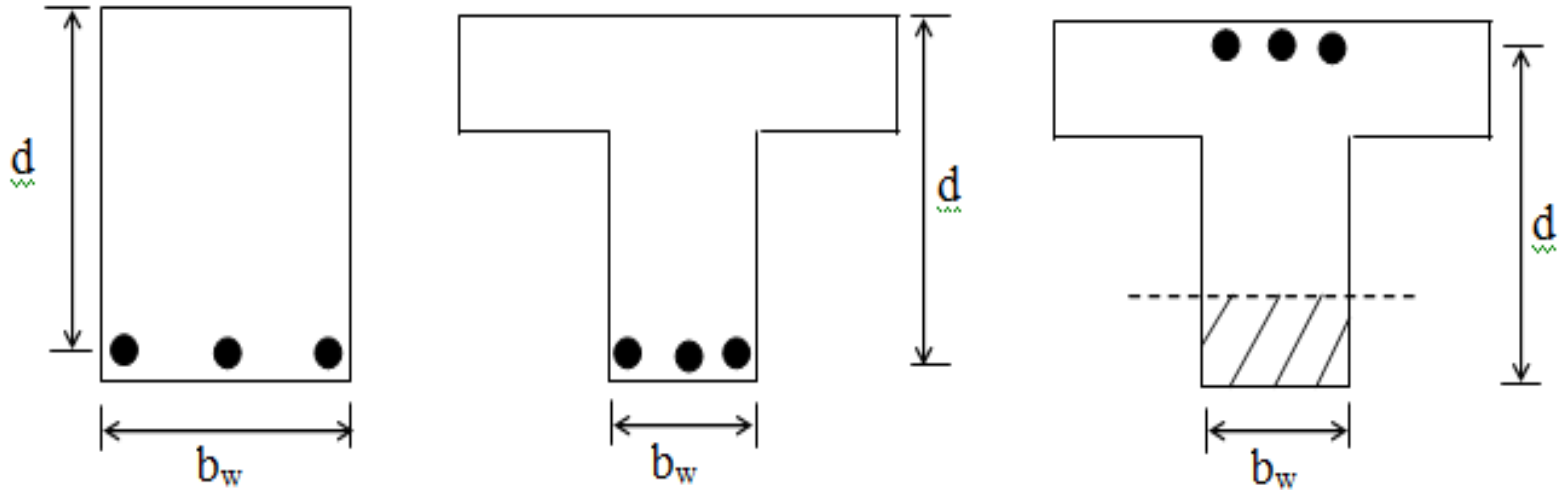
Beton Tarafından Taşınan Kesme Kuvveti (V_c):

$V_c = 0.8 V_{cr}$ olarak alınır.

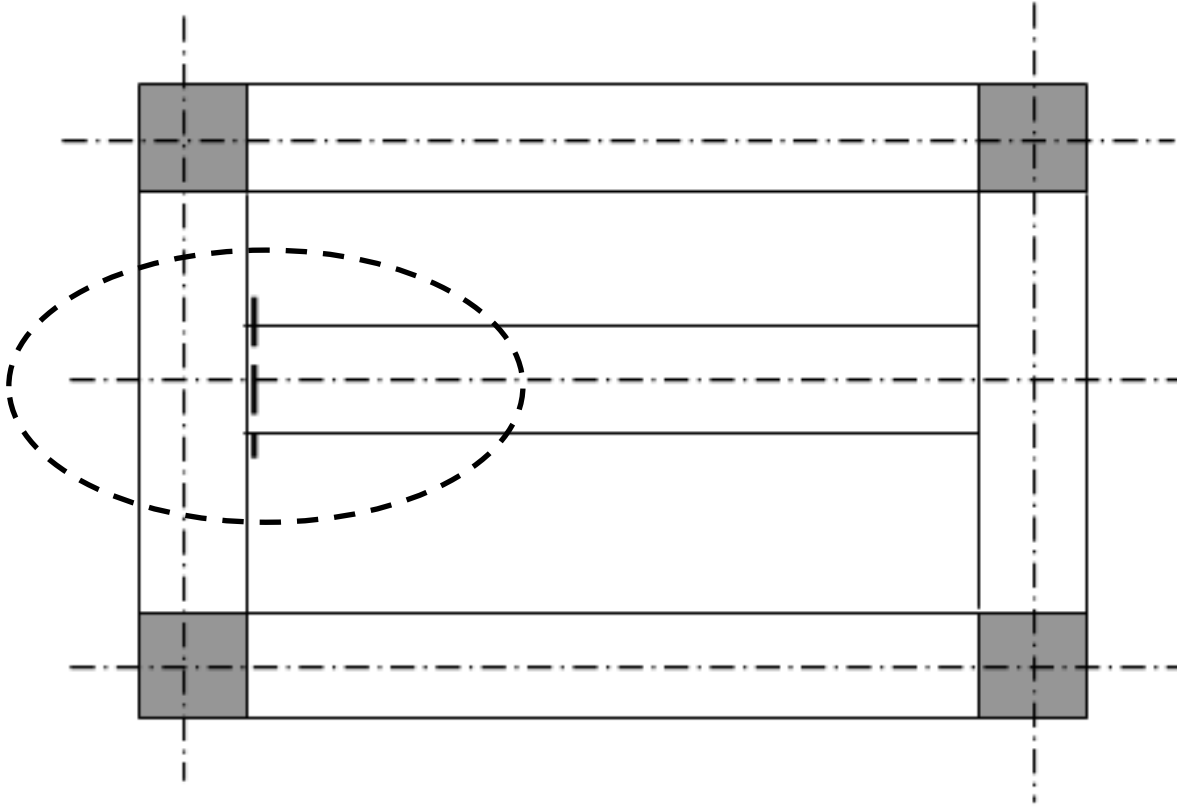
TS 500 (8.4)

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d$$

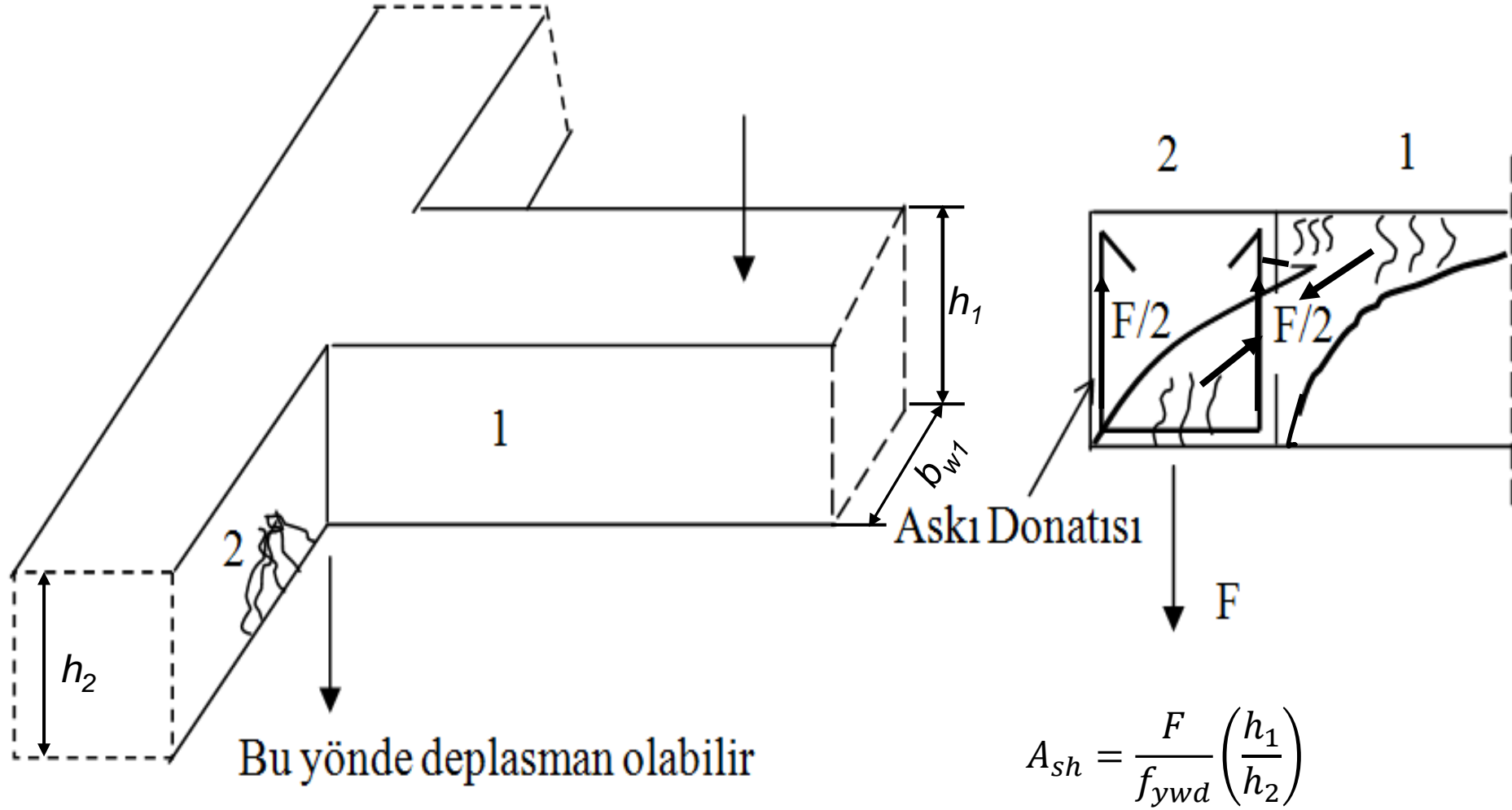
Bu ifadelerde b_w genişliği, kesitin gövde genişliği olarak alınır.



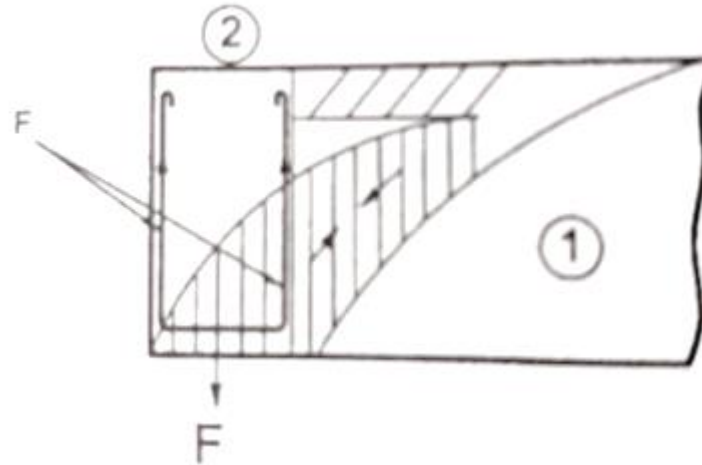
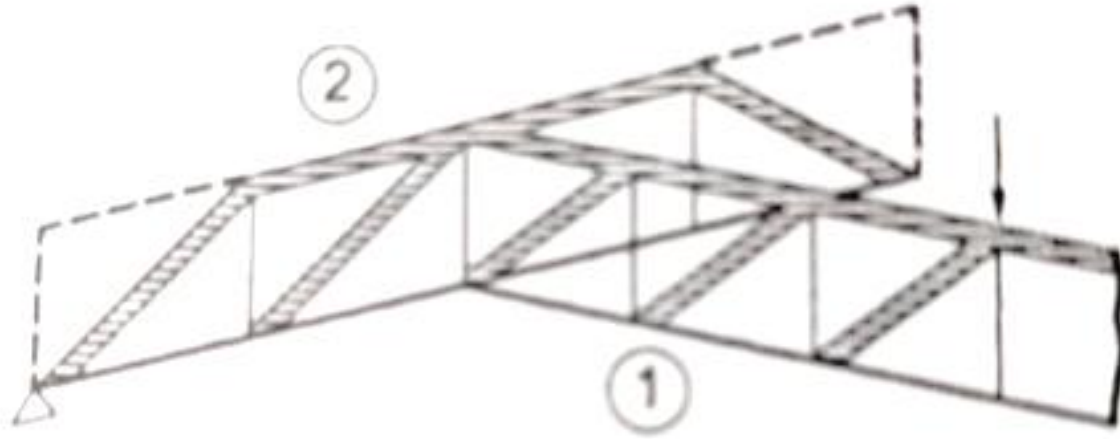
Dolaylı Mesnetler:



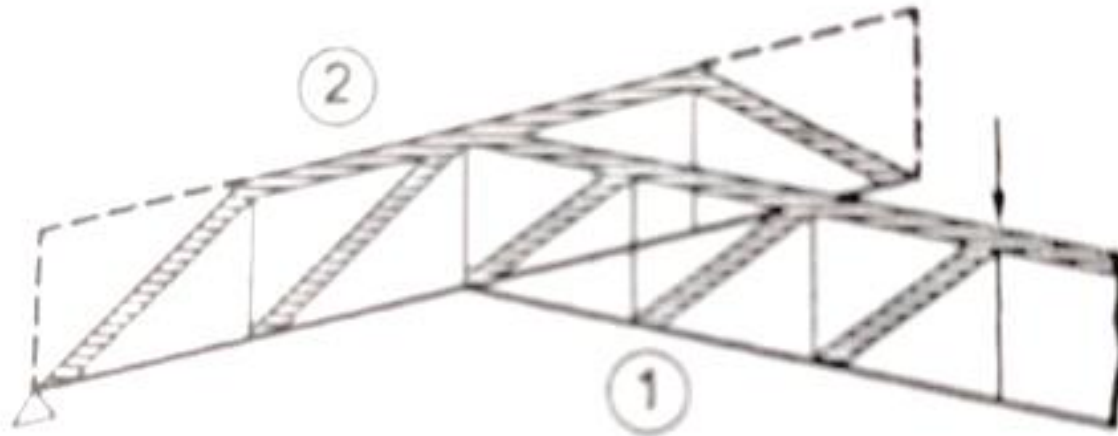
Bazı durumlarda kiriş kolon yerine diğer bir kirişe bağlanabilir. Bu durumdaki mesnetlenmeye dolaylı mesnet denir. Bu tür yapı sisteminde çatlamaaya karşı mutlaka önlem alınmalıdır. Hesap kesme kuvveti olarak mesnet yüzündeki değer alınır.



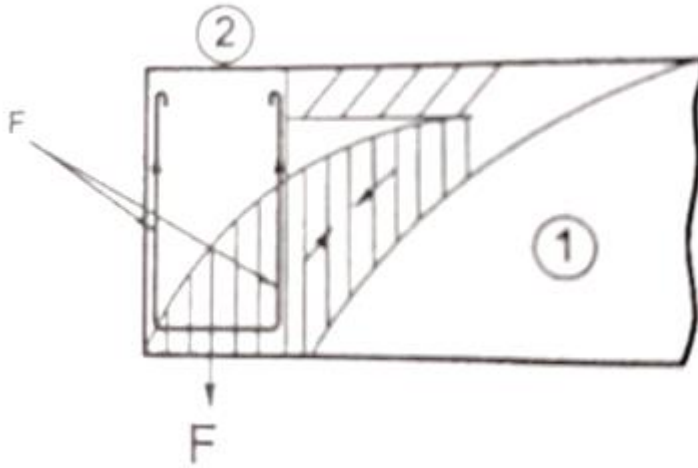
1 nolu kirişteki yük **2** nolu kirişe kiriş gövdesinde oluşan basınç diyagonalleri ile aktarılır.



1 nolu kirişteki yük **2** nolu kirişe kiriş gövdesinde oluşan basınç diyagonalleri ile aktarılır. Bu nedenle **1** nolu kirişin mesnet kuvveti **F**, **2** nolu kirişin alt yüzüne uygulanmış olur. Yani çekme bölgesine uygulanan bu kuvvet uygun bir şekilde basınç bölgesine aktarılmadığı takdirde, birleşim noktasına yakın yerde **2** nolu kirişte önemli eğik çatlaklar oluşur ve alttaki donatının kaldıraç etkisi ile yırtılmalar olur.



Bu gibi durumlarda alınabilecek en etkili önlem, **2** nolu kirişin birleşim bölgesine yerleştirilecek askı donatısı ile, **F** kuvvetini basınç bölgesine aktarmaktır. Askı donatısı olarak düşey etriye kullanılır.



$$A_{sh} = \frac{F}{f_{ywd}} \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

Askı donatısı olarak kullanılacak etriyelerin F kuvvetinin tümünü taşıyabilecek kapasiteye sahip olmaları gerekir. Bu tür donatının, 2 numaralı kirişte $(b_{w1} + h_2)$ uzunluğuna yayılması uygun olur. b_{w1} , 1 nolu kirişin gövde genişliği, h_2 ise 2 nolu kirişin yüksekliğidir. Gerekli etriye alanı aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$A_{sh} = \frac{F}{f_{ywd}} \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

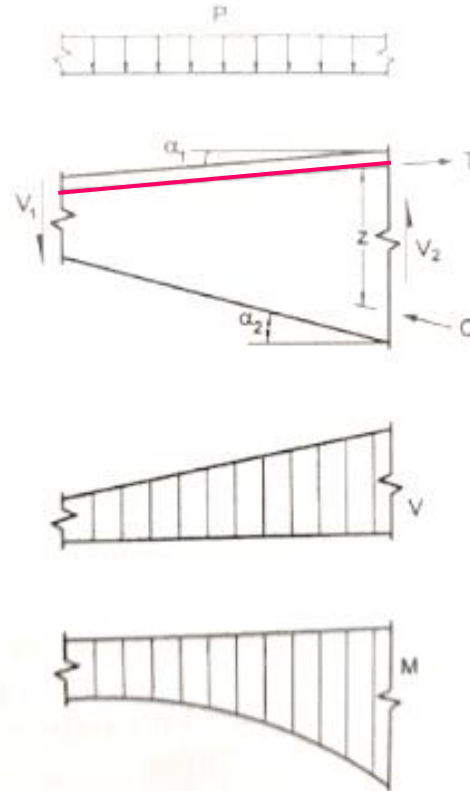
F : 1 nolu kirişin mesnet kuvveti (öbür taraftan saplanan başka kiriş varsa, iki kirişin mesnet kuvvetleri toplamı)

f_{ywd} : Askı donatısı olarak kullanılan donatının hesap akma dayanımı

A_{sh} : Askı donatısı alanı (etriye). Askı donatısı alanı hesaplanırken her bir etriyenin iki kolu olduğu unutulmamalıdır.

Yükseklği Değişken Kirişler

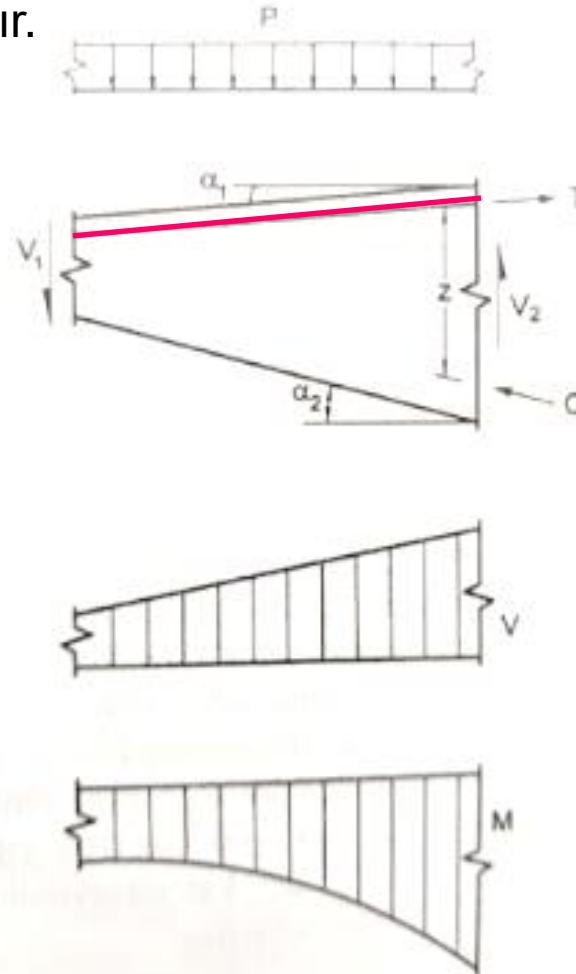
Yükseklği değişken kirişlerde şekilde C ve T olarak gösterilen iç kuvvetler eğik olacağından, bunların düşey bileşenleri hesaplanan kesme kuvvetinin değiştirecektir. Etriye hesabında temel alınacak kesme kuvveti belirlenirken, eğim nedeni ile kesme kuvvetindeki değişim dikkate alınmalıdır



$$V'_d = V_d + \frac{M}{z} (\tan\alpha_1 + \tan\alpha_2)$$

Bu amaçla daha kesin hesaba gerek görülmediği durumlarda, yukarıdaki bağıntı kullanılabilir.

Momentin eksildiği yönde kiriş derinliğinin de azaldığı durumlarda, $\tan\alpha_2(-)$ olmalıdır.





Gevrek Kırılmanın Önlenmesi:

Asal çekme gerilmeleri nedeni ile oluşacak gevrek kırılmayı önlemek amacı ile etriye oranı için bir alt sınır konulması zorunludur. Gerekli min. etriye, kayma donatısız kirişin dayanımını, donatılı kiriş dayanımına eşitleyerek bulunur.

Kayma donatısız kiriş taşıma gücü:

$$V_r = V_{cr} = 0.16 \sqrt{f_{ck}} b_w d$$

Kayma donatılı kiriş taşıma gücü:

$$V_r = V_w + \frac{V_c}{2} = \frac{A_{sw}}{s} f_{yw} (d) + \frac{0.16 \sqrt{f_{ck}}}{2} b_w d$$



Bu iki denklem eşitlendiğinde, $\min \rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w (s)}$ olarak bulunur.

$$\min \rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w (s)} = \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}}}{f_{ywk}}, \quad f_{ctk} = 0.35 \sqrt{f_{ck}} \text{ olduğundan;}$$

$$\min \rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w s} = 0.23 \frac{f_{ctk}}{f_{ywk}}$$

Asal çekme gerilmeleri nedeni ile oluşacak gevrek kırılma;

$\rho_w \geq \min \rho_w$ koşulu sağlanarak önlenabilir.

TS500-2000'deki min. donatı koşulu f_{ctk} yerine $1.5 f_{ctd}$ ve f_{ywk} yerine $1.15 f_{ywd}$ konularak bulunmuştur.

$$\min \rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w s} = 0.30 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}}$$



ACI da min. kayma donatısı yüzdesi, beton çekme dayanımından bağımsız olarak ifade edilmiştir.

$$\min \rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w s} = \frac{1}{3(f_{ywk})}$$

CEB, ACI dakine benzer olarak, min. donatı çekme dayanımından bağımsız olarak ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned} \min \rho_w &= \frac{A_{sw}}{b_w d} = 0.0025 \text{ (S220)} \\ &= 0.0015 \text{ (S500)} \end{aligned}$$

Kiriş gövdesindeki asal basınç gerilmeleri betonun basınç dayanımını aştığı takdirde, gövde betonunun ezilmesi ile gevrek kırılma oluşur. Bu kırılma hesap kesme kuvvetine bir üst sınır konarak önlenabilir ($V_d \leq V_{max}$).



Deneysel verilerden yararlanarak, max. kesme kuvveti için aşağıdaki bağıntı verilmektedir.

$$V_{\max} = C_1 f_{ck} b_w d ,$$

C_1 katsayısı, 0.2 ile 0.35 arasında değişmektedir.

TS500-2000'de C_1 katsayısı 0.22 kabul edilmiş ve yeterli yapı güvenliği sağlamak için f_{ck} yerine f_{cd} alınmıştır.

$$V_{\max} = 0.22 f_{cd} b_w d \quad \text{TS 500 (8.7)}$$



Ön Tasarım:

Kesme güvenliği saptanırken, pilyelerin kesme hesabına alınmasına yönetmeliğimizce izin verilmemektedir. Ön tasarım aşamasında kiriş boyutları belirlenirken, yalnız eğilmeye göre değil kesme güvenliğini de sağlayacak şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Kesmeye göre kiriş boyutları belirlenmesinde aşağıdaki yol izlenebilir;

$$V_d = V_w + V_c$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} (d) = \frac{A_{sw}}{s b_w} f_{ywd} (d) b_w$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s b_w} \quad \text{ise};$$



$$V_w = \rho_w f_{ywd} b_w d$$

$$V_c = 0.52 f_{ctd} b_w d$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d$$
$$V_c = 0.8 V_{cr} = 0.52 f_{ctd} b_w d$$

$$V_d = V_w + V_c = \rho_w f_{ywd} b_w d + 0.52 f_{ctd} b_w d$$

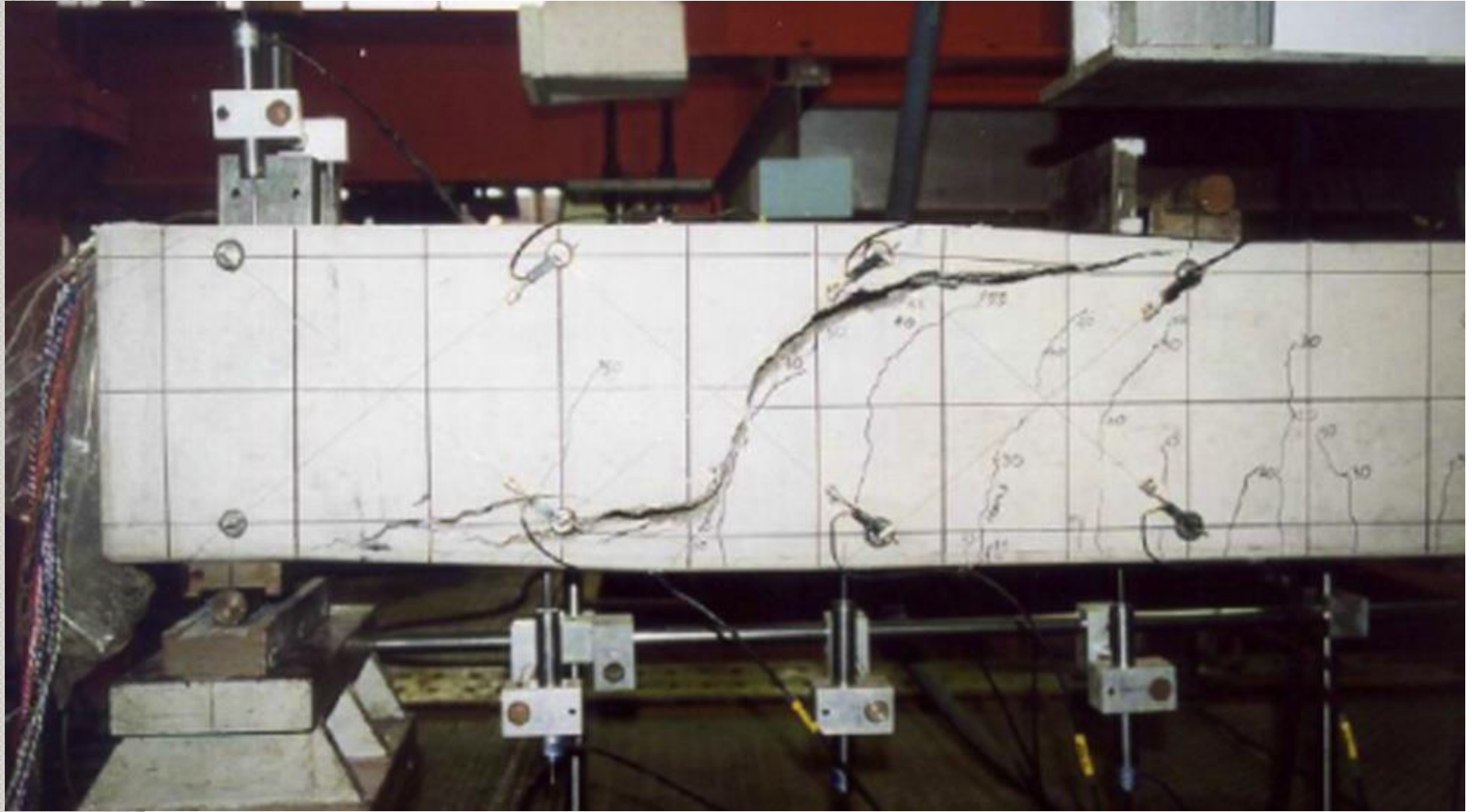
Eğer $\rho_w = 2(\min \rho_w)$ varsayılırsa,

$$\min \rho_w = 0.3 \left(\frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} \right)$$

$$\rho_w = 0.6 \left(\frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} \right)$$

$$V_d = 0.6 \left(\frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} \right) f_{ywd} b_w d + 0.52 f_{ctd} b_w d$$

$$b_w d = \frac{0.9 V_d}{f_{ctd}}$$





Deprem Etkisi

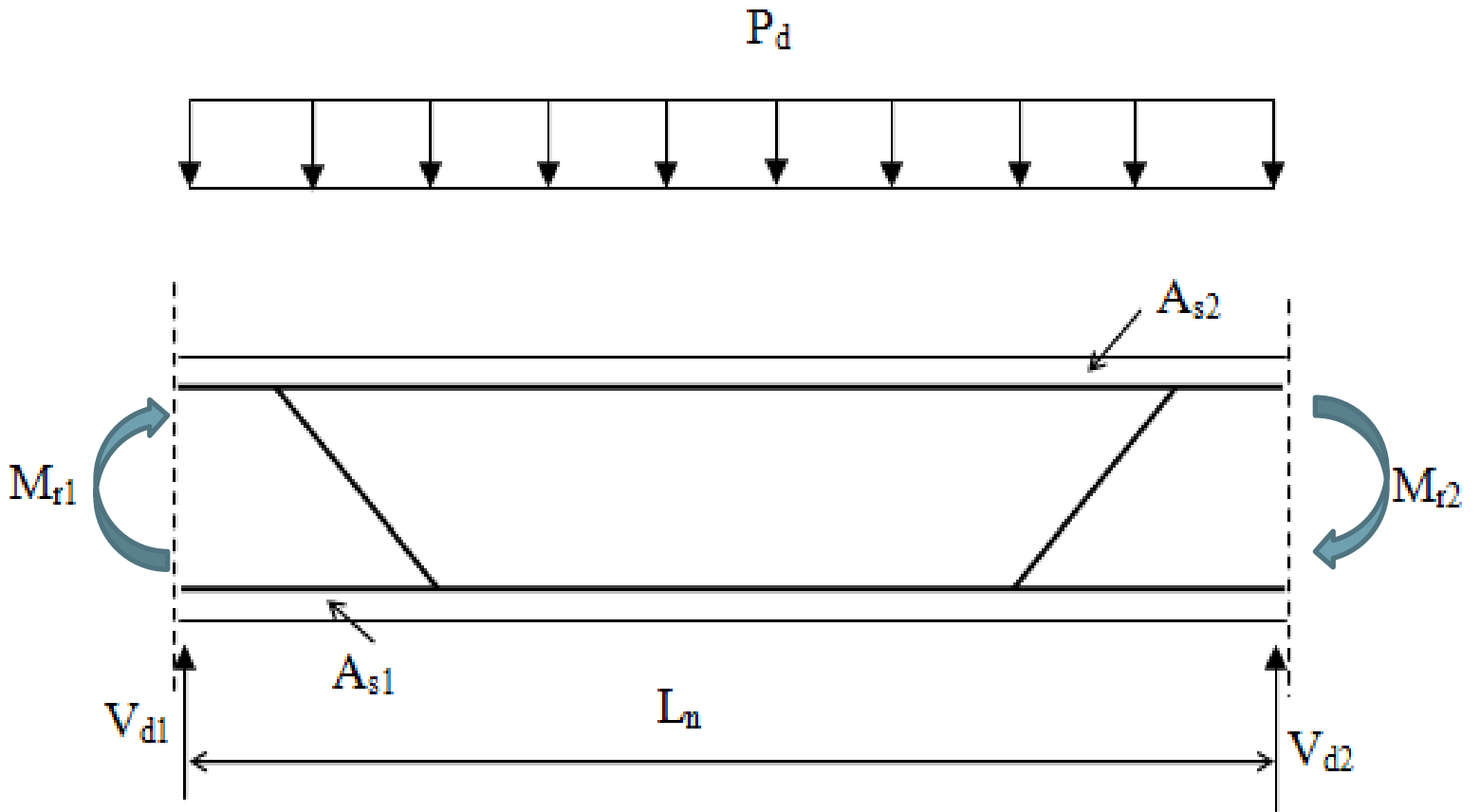
Depremi önemli olduğu durumlarda kiriş momentlerinde ve kesme kuvvetlerinde tersinmeler olur. Bunun sonucu olarak kiriş gövdesinde oluşan asal çekme gerilmelerinin yönü büyük çapta değişir.

Deprem etkisi ile boyuna donatıdaki gerilmeler önemli ölçüde artar. Bu nedenle alt ve üstteki çekme donatısı, mesnet yüzünde değil, $(d-1.5d)$ kadar uzaklıkta akma konumuna gelir. Akmanın belirli bir kiriş boyuna yayılması, plastik mafsallık uzunluğunun artması anlamına gelir. Bu durumda mesnetlerde oluşan plastik mafsalların dönme kapasitesi artacağından moment uyumu daha kolay oluşabilecektir.



Mafsal oluşan yöredeki sünekliliği ve kesme dayanımını arttırmak için, bu bölgenin sık yerleştirilmiş kapalı etriyelerle sarılması çok önemlidir. Deprem yönetmeliklerinde, mesnetten (2d) uzaklığına kadar olan kiriş parçasının $d/4$ ü geçmeyen etriyelerle sarılması önerilir.

Deprem etkisinin çok önemli olduğu durumlarda, kayma donatısının hesabında temel alınacak kesme kuvvetini, kiriş mesnetlerindeki moment kapasitelerini temel alarak hesaplamak daha doğru olur.



$$V_d = \frac{M_{r1} + M_{r2}}{L_n} + \frac{P_d L_n}{2}$$

TBDY 2018 (7.9)

$$M_{r1} \cong A_{s1} f_{yk}(0.9) d$$

$$M_{r2} \cong A_{s2} f_{yk}(0.9) d \quad (\text{Emniyetli olması açısından } f_{yd} \text{ yerine } f_{yk} \text{ alınmıştır})$$



Eğik Çekmeye Karşı Güvenliğin Sağlanması:

- Hesap kesme kuvveti V_d hesaplanır.
- $V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d$ hesaplanır.
- Eğer $V_d \leq V_{cr}$ ise kayma donatısının hesaplanması gerekmez. Ancak min. kayma donatısı bulundurulması zorunludur.

$$\min \rho_w = 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} \quad \text{TS500 (8.6)}$$

Min. donatı kullanıldığında, etriye aralığı $d/2$ yi geçmemeli ve mesnetlerde $d/4$ e indirilmelidir.

- Eğer $V_d > V_{max}$ ise giriş boyutları değiştirilmelidir.

$$V_{max} = 0.22 f_{cd} b_w d$$

- $V_{max} \geq V_d \geq V_{cr}$ ise kayma donatısı hesaplanmalıdır.

Depremin önemli olmadığı durumlarda;



$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d - V_c}{f_{ywd} d} \geq \min \rho_w(b_w)$$

Beton kalitesi ile ilgili ciddi kuşku varsa $V_c=0$ alınmalıdır.
Depremi önemli olduğu durumlarda;

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d - 0.5 V_c}{f_{ywd} d} \geq \min \rho_w(b_w)$$

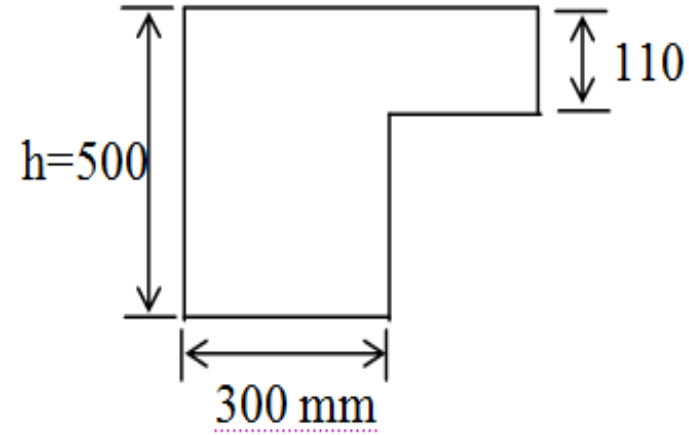
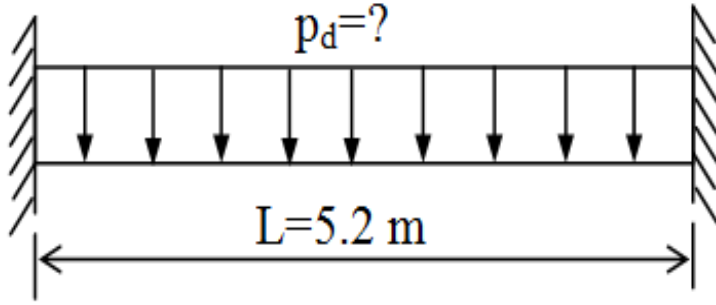
$s \leq d/2$ (mesnet yüzünden 2d uzaklığına kadar $s \leq d/4$)

Depremi çok önemli olduğu durumlarda;

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d}{f_{ywd} d}$$

$s \leq d/2$ (mesnet yüzünden 2d uzaklığına kadar $s \leq d/4$).

Örnek 1:



Şekilde verilen ankastre kirişte minimum etriye bulundurulması durumunda kirişin taşıyabileceği yükü bulunuz ve eğilme hesabını yapınız. Malzeme C20, S420, etriyeler S220, paspayı=35 mm ve mesnet genişliği $a=30\text{ cm}$. Beton katkısı %50 alınacak.

Çözüm:

$$\min \frac{A_{sw}}{s} = 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w, \quad \min \frac{A_{sw}}{s} = 0.3 \times \frac{1}{191} \times 300 = 0.471 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

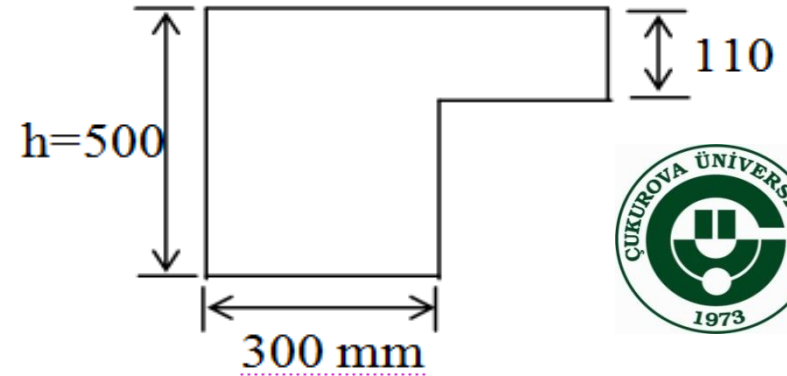
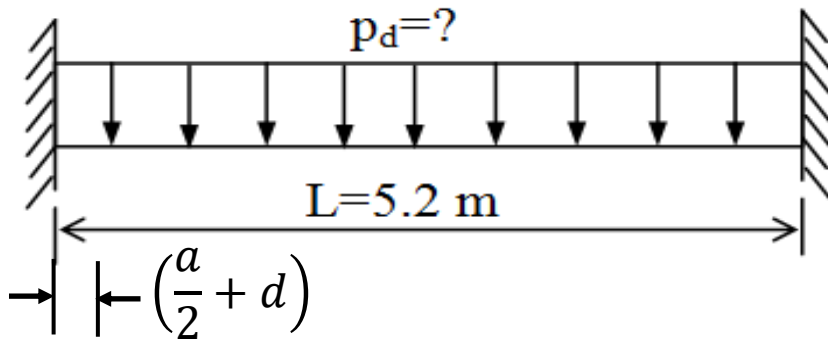
$$V_{cr} = 0.65 \times 1 \times 10^{-3} \times 300 \times 465 = 90.67 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.8 V_{cr} = 72.5 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{2 \times 50}{s} = 0.471 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$s = 212 \text{ mm} \quad \text{Ø8/20 cm}$$

Mesnet yüzünden $2d$ boyunca (Ø8/10 cm)



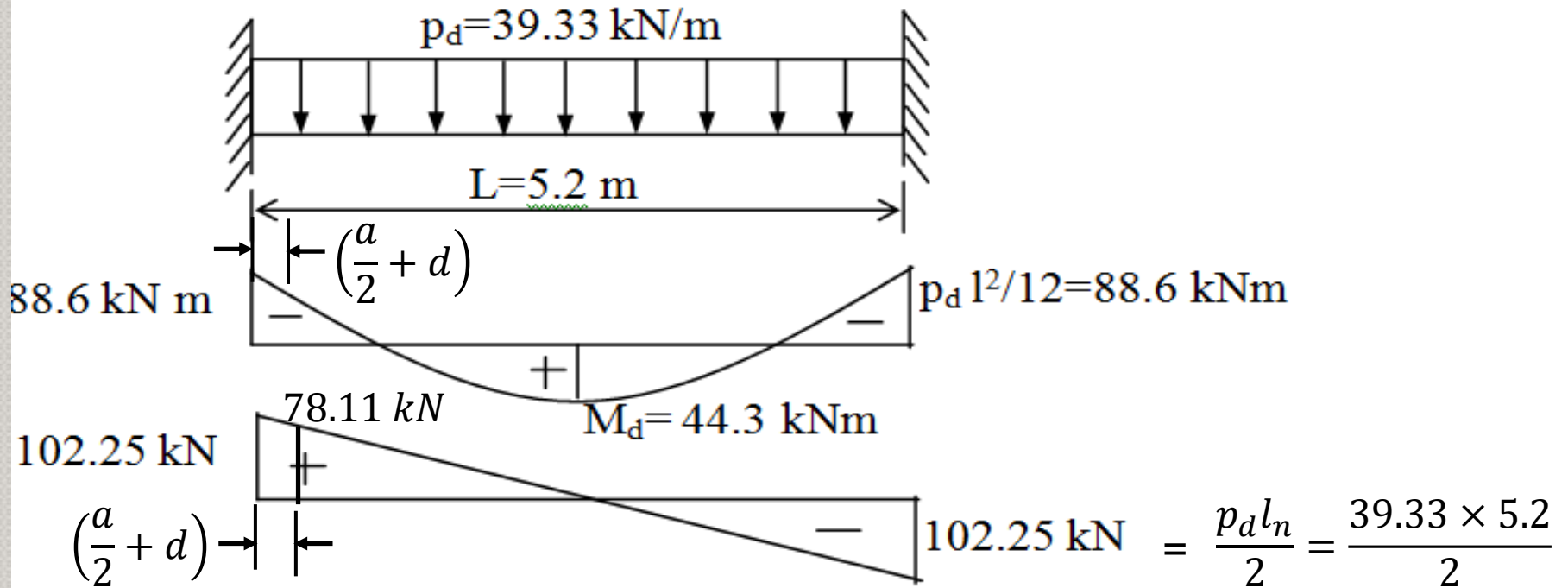
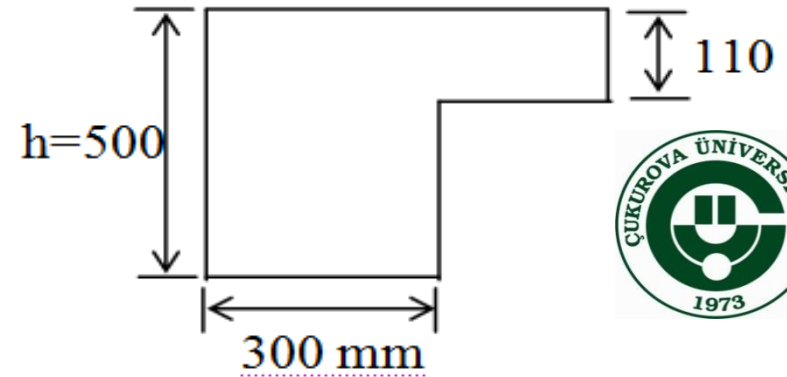
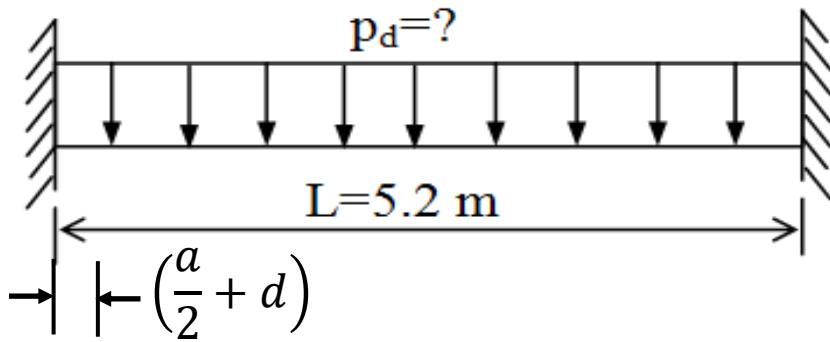
$$\min \frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d - 0.5V_c}{f_{ywd} (d)}$$

$$0.471 = \frac{(V_d - 0.5 \times 72.5) \times 10^3}{191 \times 465} \quad \text{bu ifadeden } V_d = 78.08 \text{ kN olarak bulunur.}$$

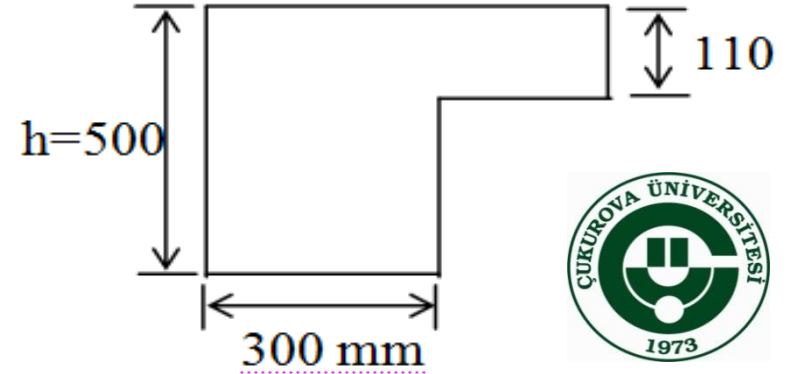
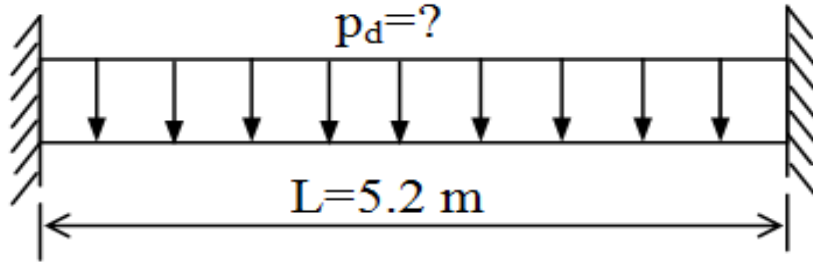
İki ucu ankastre kirişte kesme kuvveti $V = \frac{p_d L}{2}$ ve hesap kesme kuvvetinin mesnet yüzünden (d) kadar ötede olduğu dikkate alınır;

$$78.08 = \frac{p_d \times 5.2}{2} - p_d \times \left(0.465 + \frac{0.3}{2}\right) \quad \text{ifadesinden}$$

$p_d = 39.33 \text{ kN/m}$ elde edilir.



$$V_d = 102.3 - p_d \left(\frac{a}{2} + d\right) = 102.3 - 39.33 \left(\frac{0.3}{2} + 0.465\right) = 78.11\text{ kN}$$



$$(+)\ A_s = \frac{44.3 \times 10^6}{365 \times 0.9 \times 465} = 290 \text{ mm}^2 < \min A_s = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = 305.7 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı: $2\phi 14$ düz + $2\phi 14$ pilye = 616 mm^2 (Mesnette donatı ihtiyacından dolayı donatı bir miktar fazla seçilmiştir).

$$(-)\ M_d = 88.6 - 102.25 \times \frac{0.3}{3} = 78.37 \text{ kNm}$$

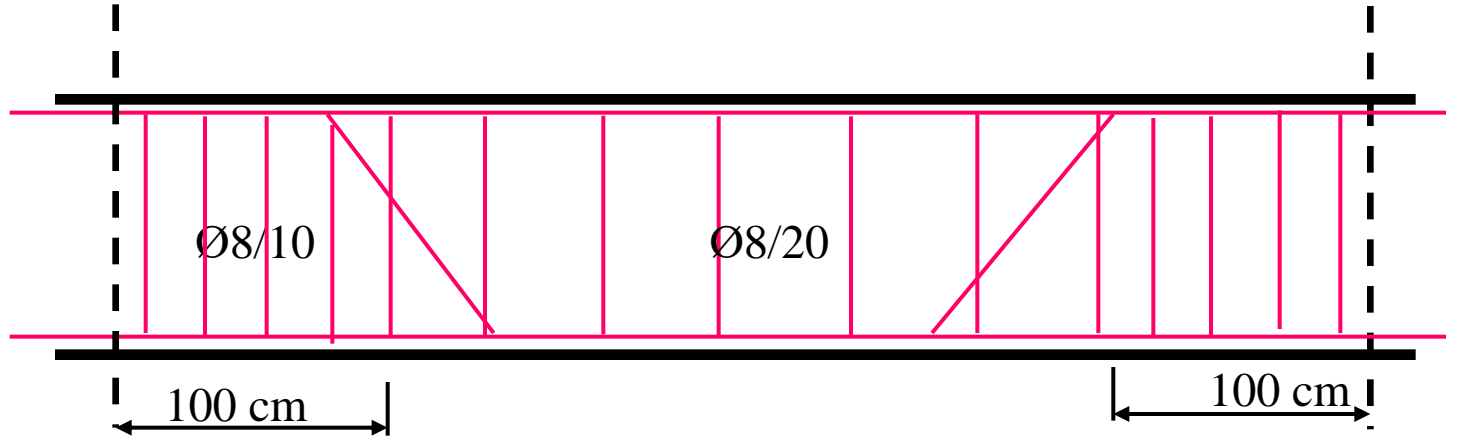
$$(-)\ A_s = \frac{78.37 \times 10^6}{365 \times 0.86 \times 465} = 536.9 \text{ mm}^2$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d}$$

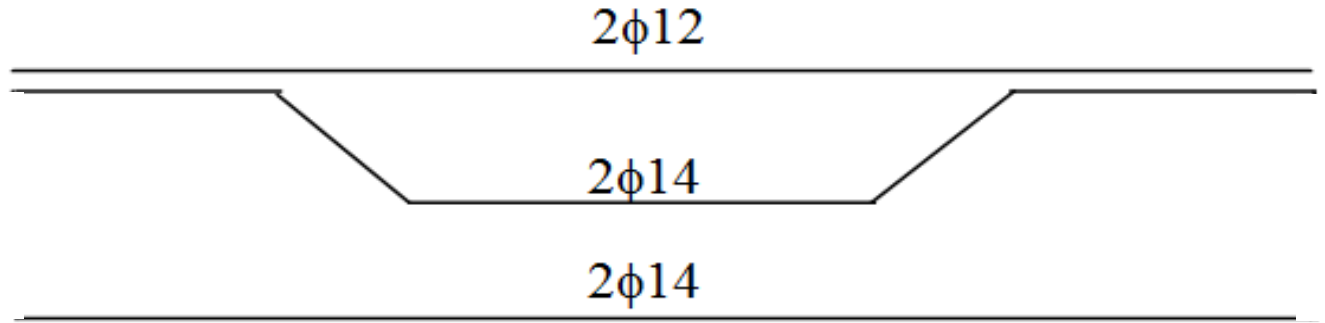
$$K = 827.7 \text{ mm}^2/\text{kN} > K_1 \text{ Boyutlar yeterli}$$

$$K_1 = \frac{4.95}{f_{cd}} = 380 \text{ mm}^2/\text{kN},$$

Mevcut donatı: $2\phi 14$ pilye + $2\phi 12$ montaj = 535 mm^2 (Ek donatı gerekmez).



Donatı detayı:



$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{2 \times 50}{s} = 0.471 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$s = 212 \text{ mm} \quad \text{Ø8/20 cm} \quad (\text{Ø8/10 cm})$$

Örnek:2

Bilinenler:

Basit mesnetli, tek açıklıklı, T kesitli ön üretimli kiriş.

$b_w = 250 \text{ mm}$, $h = 1000 \text{ mm}$ ($d = 960 \text{ mm}$)

$b = 500 \text{ mm}$, $l_n = l = 15 \text{ m}$.

Malzeme: C25 ve S420 (boyuna donatı ve etriyeler)

Yükler: Düzgün yayılı. $g = 40 \text{ kN/m}$ (kiriş öz ağırlığı, döşeme ve döşeme kaplaması), $q = 20 \text{ kN/m}$ (hareketli yük)

Deprem etkisi yok.

İstenen:

Kiriş için gerekli kesme donatısının hesabı.

Çözüm:

$$p_d = 1.4(40) + 1.6(20) = 88 \text{ kN/m}$$

Mesnetten d uzaklığında kesme kuvveti:

$$V_d = p_d \frac{l_n}{2} - p_d (d) = p_d \left(\frac{l_n}{2} - d \right)$$

$$V_d = 88(7.5 - 0.96) = 575 \text{ kN}$$

$$f_{ctd} = 1.15 \text{ MPa} \quad f_{cd} = 17 \text{ MPa ve } N_d = 0$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d = 0.65 \times 1.15 \times 250 \times \frac{960}{1000} = 179 \text{ kN} \cong 180 \text{ kN}$$

$$V_{max} = 0.22 f_{cd} b_w d = 0.22 \times 17 \times 250 \times \frac{960}{1000} = 897 \text{ kN}$$

$V_{cr} < V_d < V_{max}$, Etriye hesabı gerekli.

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d - V_c}{f_{ywd}(d)} = \frac{575 - 0.8 \times 180}{0.365 \times 960} = 1.2 \text{ mm}$$

$$\min \frac{A_{sw}}{s} = 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w = 0.3 \frac{1.15}{365} \times 250 = 0.236 \text{ mm}$$

$1.2 \text{ mm} > \min \frac{A_{sw}}{s}$. Bu nedenle $\frac{A_{sw}}{s} = 1.2 \text{ mm}$ kullanılacak.

Etriye çapı 10 mm seçilirse,

$$A_{sw} = 2 \times 78.5 = 157 \text{ mm}^2 , \text{ gereken etriye aralığı,}$$
$$s = \frac{157}{1.2} = 131 \text{ mm}$$

Yönetmeliğe göre $s \leq \frac{d}{2} = 480 \text{ mm}$.

Etriye olarak $\emptyset 10/130 \text{ mm}$ kullanılacak.

Sonraki Bölüm