



# ZİMBALAMA ETKİSİ

PROF. DR. CENGİZ DÜNDAR

# ZİMBALAMA ETKİSİ

Döşemelerin doğrudan kolonlar tarafından taşındığı kirişsiz döşeme sistemlerinde, kolon yöresinde oluşan asal çekme gerilmeleri oldukça yüksek çıkabilir ve betonun çekme dayanımını aşabilir. Bu sorun betonarme kirişlerdeki eğik çekme sorununa çok benzer. Ancak kirişsiz döşemelerde kolonlar yöresindeki asal gerilmeler nedeni ile oluşan bu eğik çekme sorunu kirişlerdekine oranla daha karmaşıktır. Çünkü plaklardaki gerilme durumu üç boyutludur. Tekil betonarme sömellerde de kolonun sömel plağına uyguladığı yük nedeniyle aynı sorun oluşmaktadır.

Asal çekme gerilmeleri genelde plak düzlemine  $45^\circ$  lik bir açı yaptığından, çatlaklar da  $45^\circ$  lik bir eğim ile oluşur. Önlem olarak özel kayma donatısı kullanıldığında bu eğimin azaldığı gözlenmiştir.

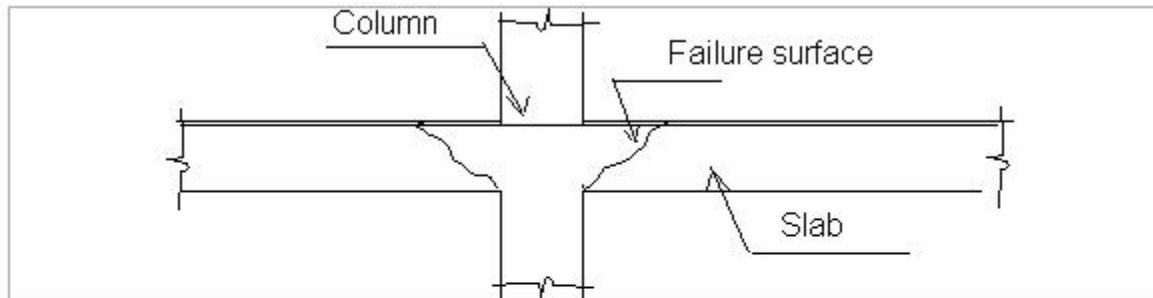


Fig. 1 - Punching failure surfaces of flat slab

+

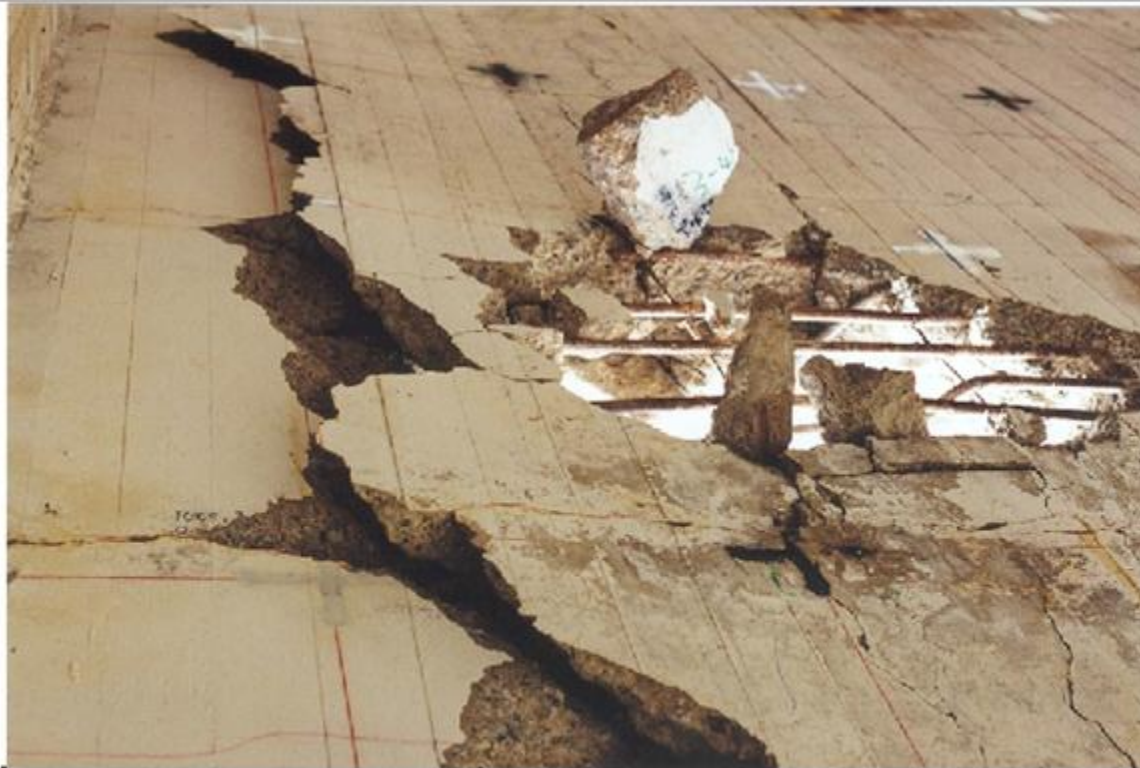


Fig. 2 - A typical punching shear failure of a bridge deck

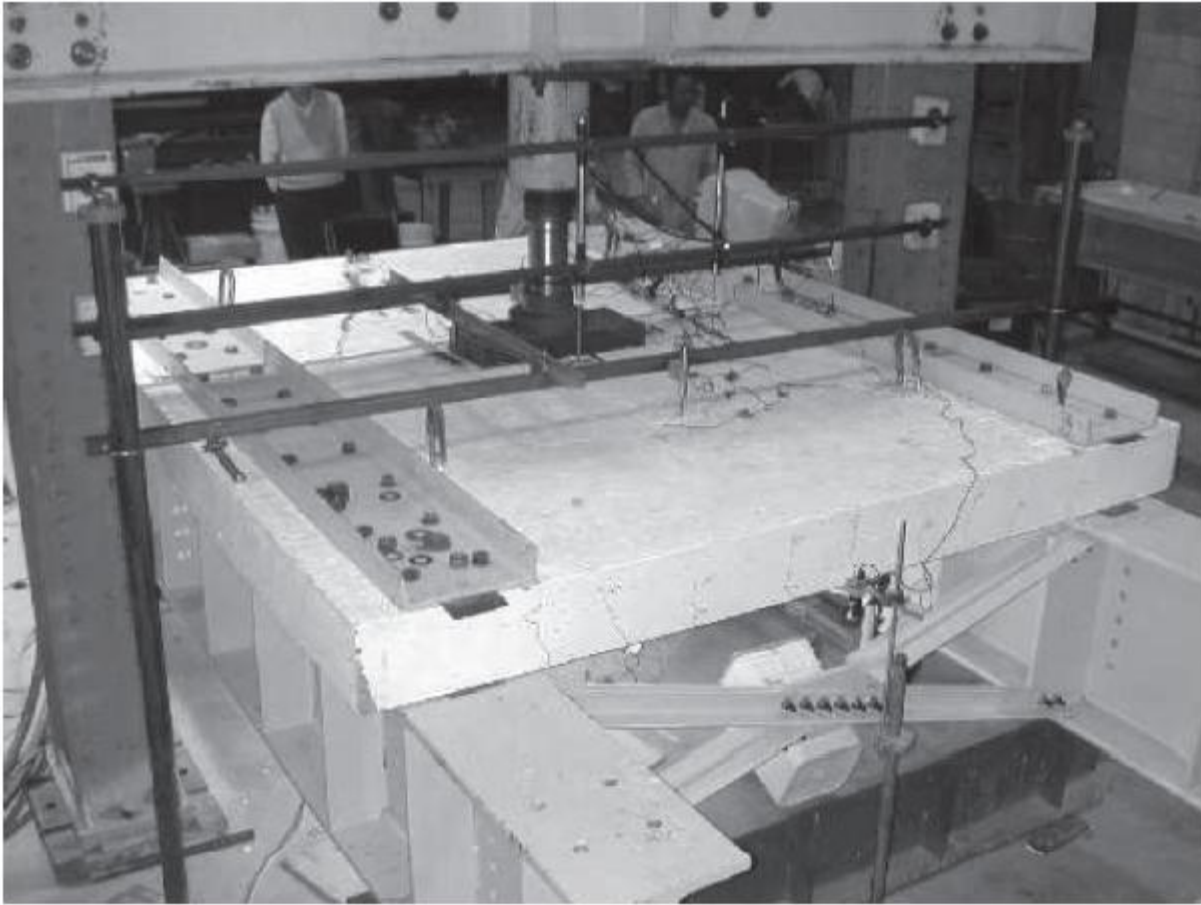


Fig. 1— Test set-up [El-Gamal et al. 2004].

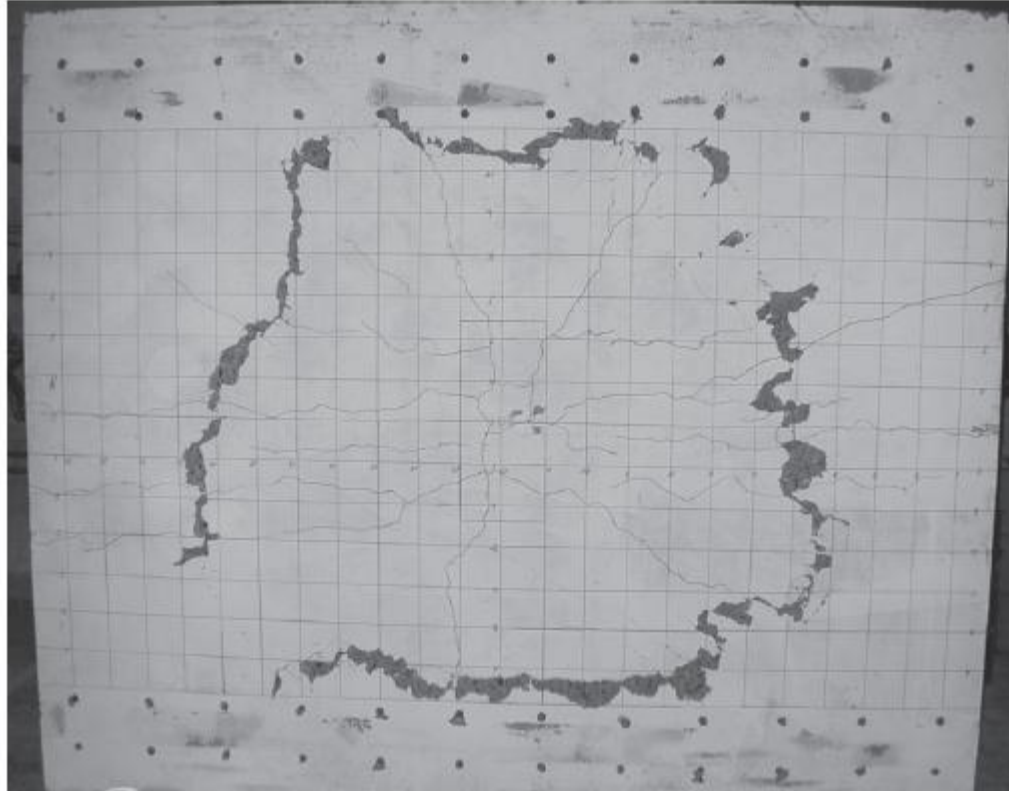


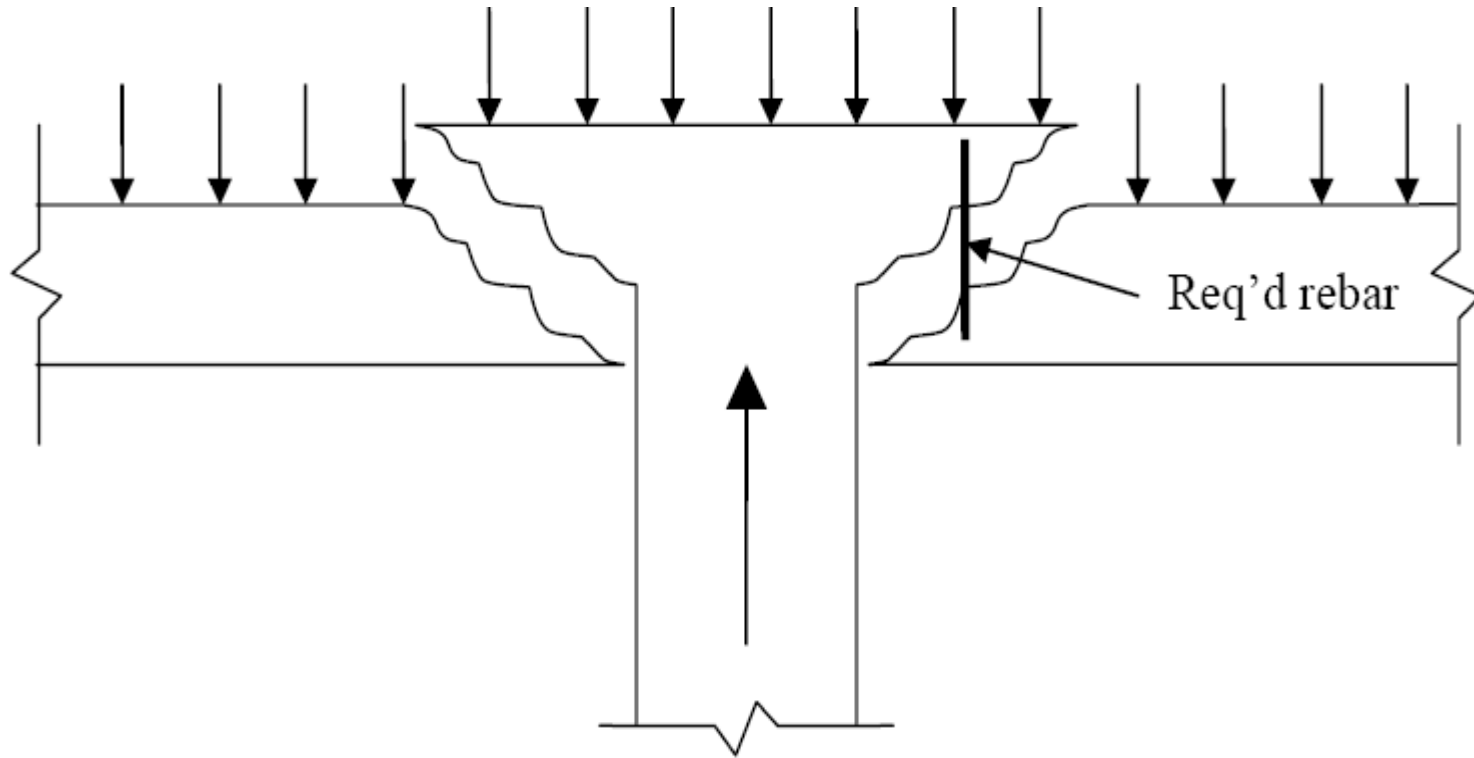
Fig. 2— Typical punching shear failure [El-Gamal et al. 2004].





Picture shows a reality of punching failure of a flat plate by impact load

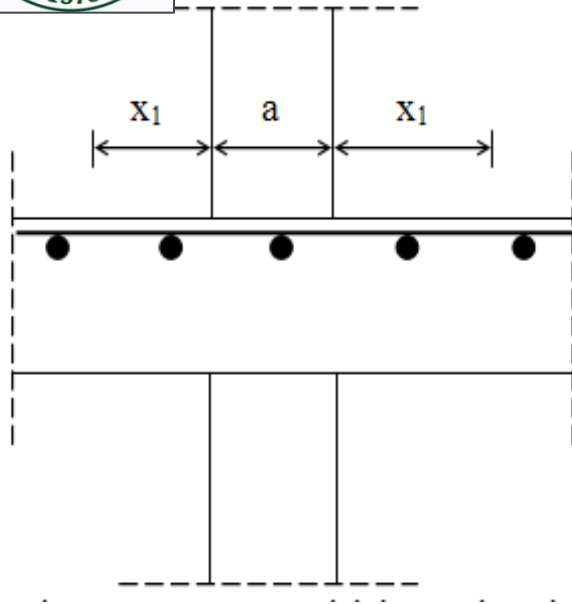




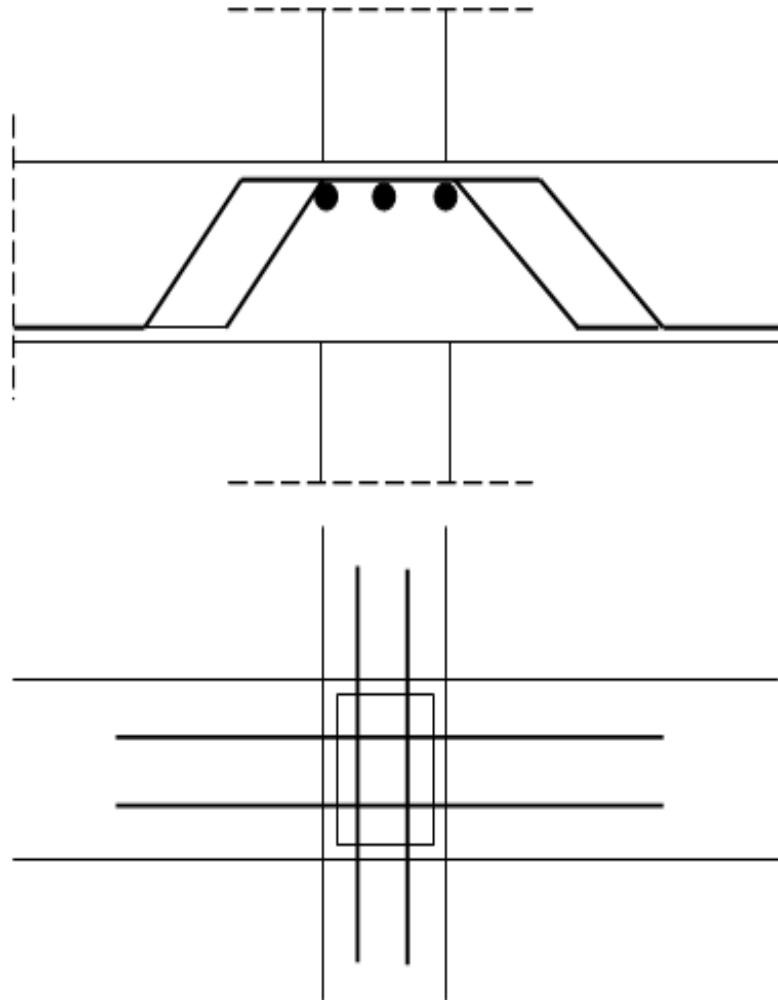


*Piper's Row Car Park, Wolverhampton, UK, 1997 (built in 1965).*





Zımbalama dayanımını arttırmak için, özel zımbalama donatısı kullanılabilir.



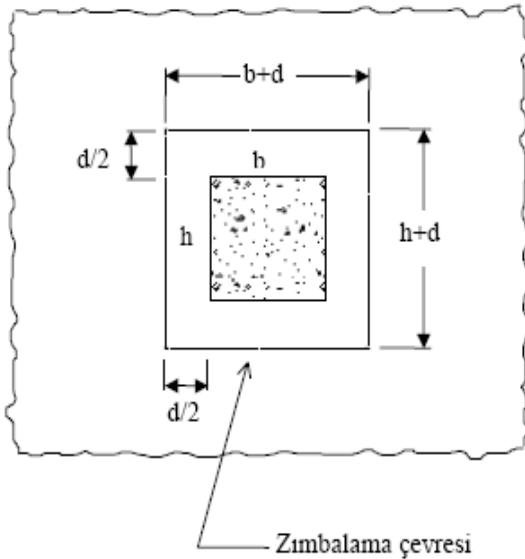
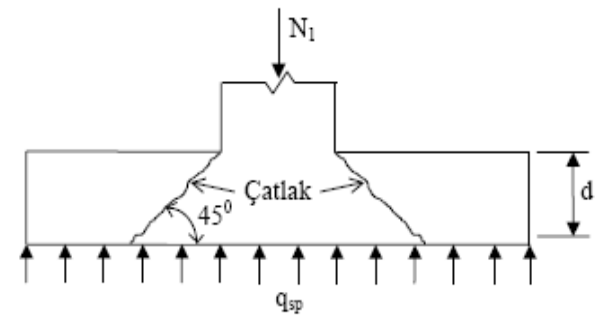
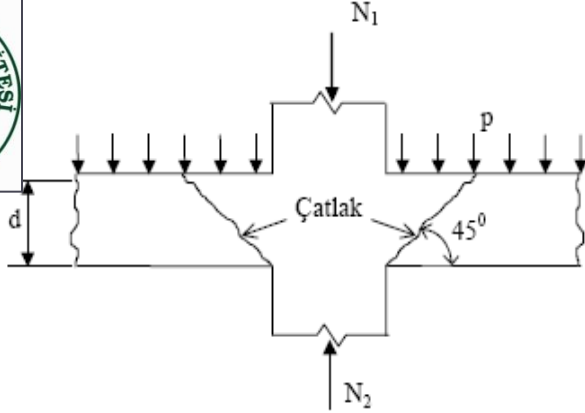


TS500' de kalınlığı 25 cm' den az olan döşemelerde zımbalama donatısı kullanılmasına izin verilmez.  $h_f \geq 25$  cm olan döşemelerde ise gerekli zımbalama donatısı alanı hesaplanırken donatı hesap gerilmesinin  $f_{yd}$  yerine  $0.5f_{yd}$  alınması önerilir. Bu durum ise zımbalama donatısının %50 etkili olduğu kabul edildiği anlamına gelir.

### **Betonarme Plakların Zımbalama Dayanımı:**

Zımbalama donatısı bulunmayan betonarme plaklardaki zımbalama gerilmesi plağa uygulanan kesme kuvvetini zımbalama alanına bölünerek bulunur. Zımbalama dayanımı ise beton çekme dayanımı zımbalama alanı ile çarpılarak hesaplanır.

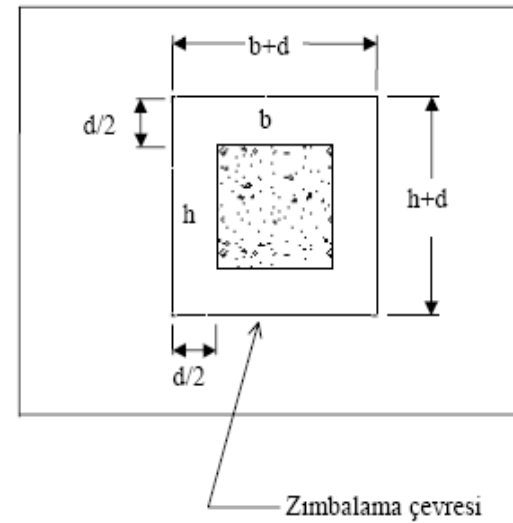




$$V_{pd} = N_2 - N_1 - F_a$$

$$F_a = p(b+d)(h+d)$$

a. Kirişsiz Döşeme

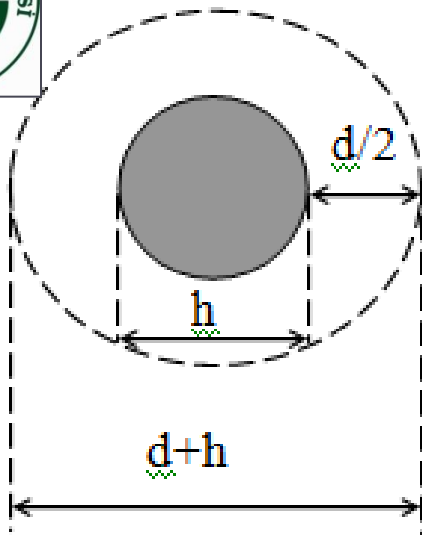


$$V_{pd} = N_1 - F_a$$

$$F_a = q_{sp}(b+d)(h+d)$$

b. Temel

ŞEKİL 8.2 - Zımbalama Bölgesi Özellikleri ve Tasarım Zımbalama Kuvveti



$$F_a = p \frac{\pi (d + h)^2}{4}$$

$$A_p = U_p(d)$$

$A_p$ : Zımbalama alanı

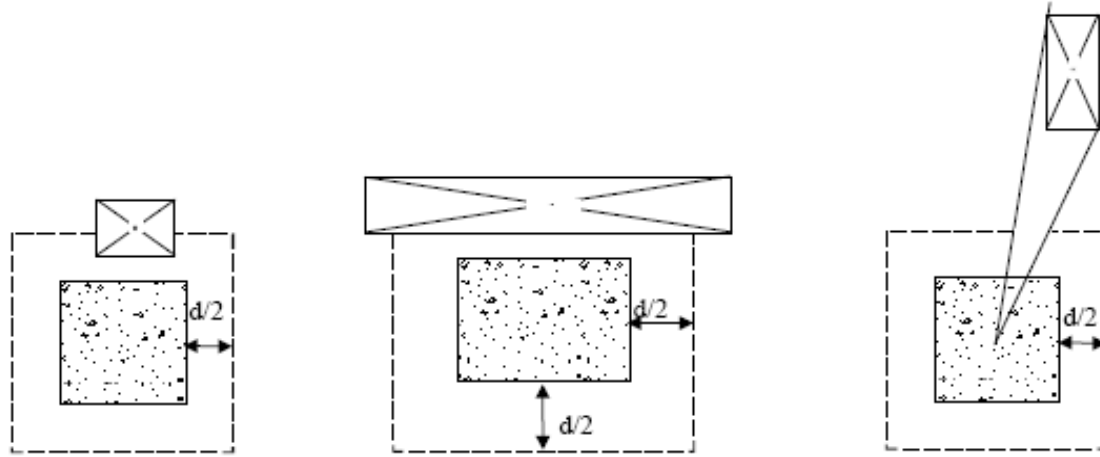
$U_p$ : Zımbalama çevresi

Bu durumda zımbalama dayanımı;

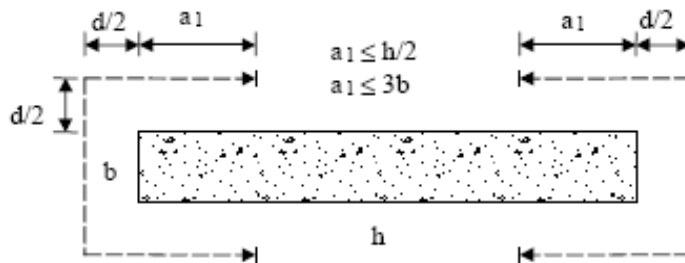
$$V_{pr} = A_p f_{ctd} = U_p d f_{ctd}$$

Kenar kolonlar ve geometrisi dikdörtgenden değişik kesitler için zımbalama çevresinin hesabı:

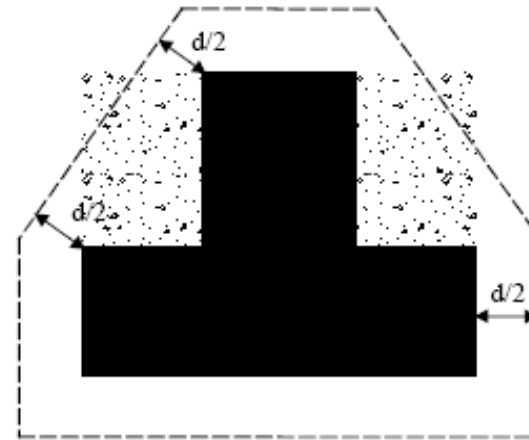
ŞEKİL 8.4 - Özel Durumlarda Zımbalama Çevresi



a. Döşeme boşlukları

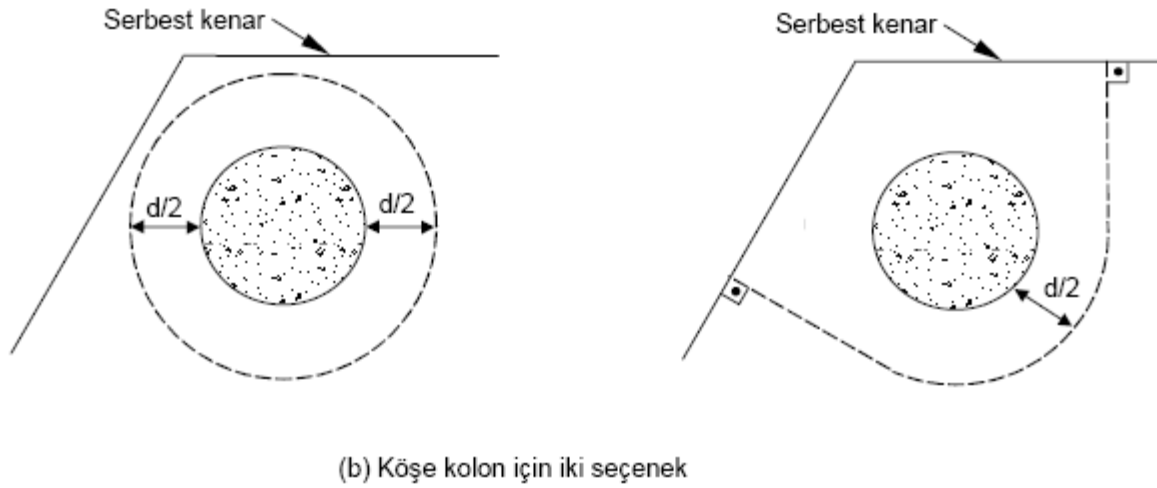
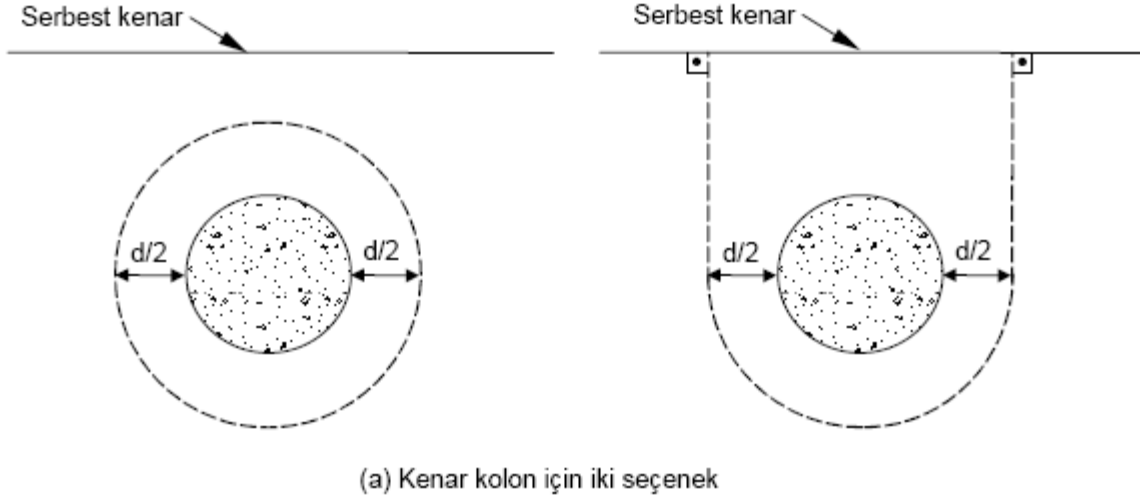


b. Basık dikdörtgen kolon kesiti



c. İçbükey çevreli kolon kesiti





ŞEKİL 8.5 - Kritik Kesit Seçenekleri



Plağa kolon çevresinde uygulanan toplam kuvvet  $V_d$  olarak gösterilirse, zımbalama güvenliği aşağıdaki koşulun sağlanması olarak tanımlanabilir.

$$V_{pr} \geq V_d$$

Plağa uygulanan kuvvet  $V_d$ , hesaplanırken, kolonlardan döşemeye aktarılan momentin bir bölümünün oluşturacağı kesme kuvvetleri de dikkate alınmalıdır. Momentin olmadığı veya ihmal edilebilir düzeyde olduğu durumlarda  $V_d$  hesaplanırken, zımbalama çevresi içinde kalan yayılı yük, hesap kesme kuvvetinden çıkarılmalıdır.

$$V_d = F_d - F_a$$

$F_d$ : Sömelde kolon eksenel yükü, döşemelerde ise alt ve üst kolonların eksenel yüklerinin farkıdır.

$$F_d = F_2 - F_1$$

Zımbalama alanı içine düşen yükü simgeleyen  $F_a$  nın nasıl bulunacağı bir önceki şekilde açıklanmıştır.

Daha önce,  $V_d$  hesap kuvvetinin momentler nedeni ile oluşan kesme kuvvetini de içermesi gerektiği söylenmişti.  $V_d$  nin moment etkisi içermesi yerine  $V_{pr}$  ile belirlenen zımbalama dayanımının belirli bir katsayı ile azaltılması uygun olacaktır.

TS500 de ( $V_d$ ),  $V_d = F_d - F_a$  ile hesaplanır.

$$V_{pr} \text{ ise ; } V_{pr} = \gamma (U_p) d f_{ctd}$$

$\gamma$ : Moment etkisi altında zımbalama dayanımını azaltan katsayı ( $\gamma \leq 1$ ).  
Momentin sıfır veya ihmal edilebilecek düzeyde olduğu durumlarda  $\gamma = 1$  alınmalıdır.

Dikdörtgen kesitli kolonlar:  $\gamma = \frac{1}{1 + 1.5 \frac{e_x + e_y}{\sqrt{b_1 b_2}}}$

Dairesel kesitli kolonlar:

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{2e}{d + h}}$$

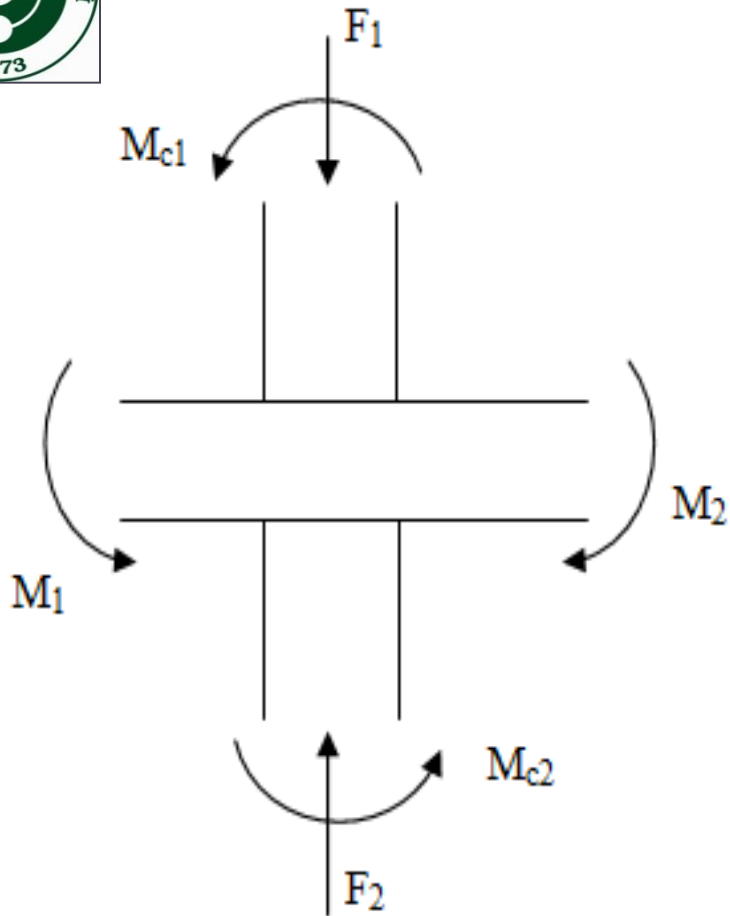
$e, e_x, e_y$  : Dışmerkezlilik hesaplanırken sömellerde kolon momentinin %40' ı temel alınmalıdır. Döşemelerde ise kolon iki yüzünde döşemenin dengelenmemiş momentinin %40 ı dış merkezliğin hesaplanmasında temel alınmalıdır.

$b_1, b_2$ : Zımbalama çevresinin boyutları.

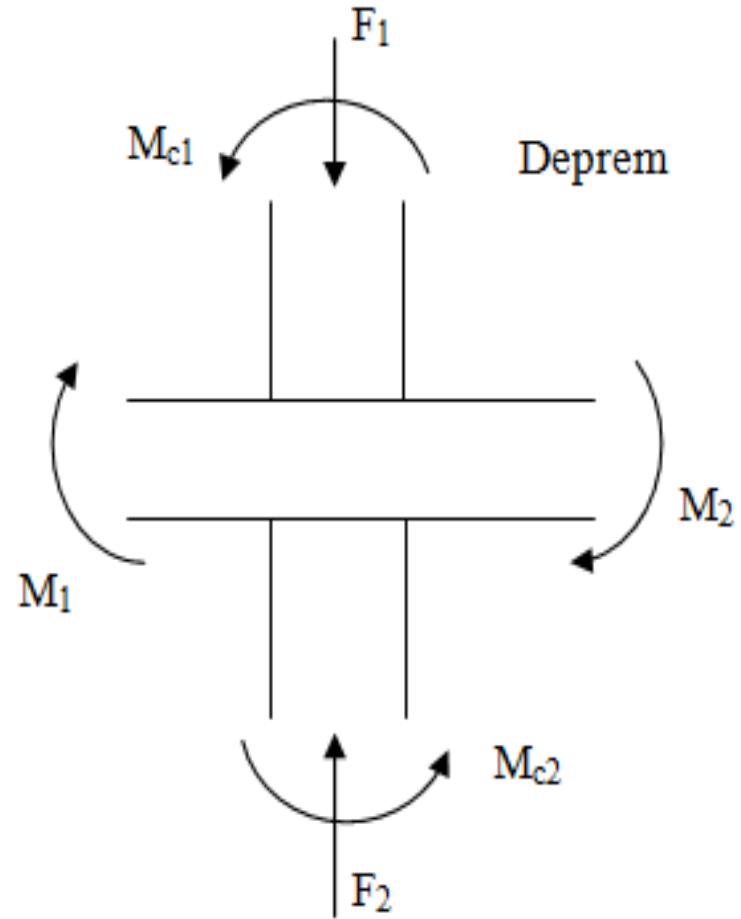
$d$ : Döşeme faydalı yüksekliği.

$h$ : Dairesel kolonun çapı.





$$M_2 > M_1, \quad e = \frac{M_2 - M_1}{F_2 - F_1}$$



$$e = \frac{M_2 + M_1}{F_2 - F_1}$$



Döşemede kolon yüzüne bitişik veya yakın boşlukların bulunduğu durumlarda, zımbalama çevresini azaltmak gerekir. TS500 de, kolon ekseninden boşluğa teğet iki doğru çizilmesi ve zımbalama çevresinin iki teğet arasında kalan bölümün dikkate alınmaması önerilir. Kolon yüzünden (5d) den daha uzakta bulunan boşluklar dikkate alınmayabilir.

Döşeme ve Tekil Sömellerde Zımbalama Güvenliği ile İlgili Yapılması Gereken İşlemler:

- Zımbalama yükü hesaplanır.

$$V_d = F_d - F_a$$

$$F_d = F_2 - F_1 \quad (\text{yük katsayısı uygulanmış yükler})$$

$$F_a = p(b_1)(b_2) \text{ veya } F_a = q_{sp}(b_1)(b_2)$$





- Zımbalama çevresi ( $U_p$ ) kolon yüzünden ( $d/2$ ) uzaklığında hesaplanır.

Dikdörtgen kolon için:

$$U_p = 2(b_1 + b_2), \quad b_1 = h + d, \quad b_2 = b + d \quad (\text{delikler dikkate alınmalıdır}).$$

- Döşemenin dengelenmemiş momentinin %40'ını temel alarak, dış merkezlik veya dış merkezlikleri hesaplanır.

$$e = \frac{M_2 + M_1}{F_2 - F_1}$$

- $\gamma$  katsayısı hesaplanır.
- Betonun hesap çekme dayanımı  $f_{ctd}$  belirlenir.
- Zımbalama dayanımı hesaplanır.

$$V_{pr} = \gamma f_{ctd} U_p d$$

- Eğer  $V_{pr} \geq V_d$  ise, zımbalama güvenliği sağlanmıştır.

- Eğer  $V_{pr} < V_d$  ise, döşeme kalınlığı veya kolon boyutlarını büyüterek  $V_{pr} \geq V_d$  koşulu sağlanır. Deprem momentleri nedeni ile  $V_{pr} < V_d$  ise, zımbalama donatısı kullanarak güvenlik sağlanır. Ancak  $V_d \leq 1.5V_{pr}$  koşulu mutlaka sağlanmalıdır.

### **Dikkat edilecek hususlar:**

- Yapıda çok iyi bir denetimle, gerekli kolon dayanımı kesinlikle sağlanmalıdır.
- Yatay kuvvetler yeterli perde duvarlarla alınmalıdır.
- Kalıp alma sürelerine dikkat edilmeli ve dikmelerin bir bölümü en az iki kat boyunca sökülmeden yerinde bırakılmalıdır.
- Kenar ve köşe kolonlarda döşemenin kolon yüzünden dışarı doğru uzaması sağlanmalı veya döşeme kenarlarında kiriş bulundurulmalıdır. Döşemenin kolon yüzünde bitirildiği durumlarda zımbalama çok kritik olabilir.

## Zımbalama Donatısı:

Zımbalama donatısında  $f_{yd}=0.5f_{yd}$  ve  $V_d \leq 1.5V_{pr}$  koşulunun sağlanması önerilmiştir. Pilyelerden oluşan zımbalama donatısı hesabında, betonca karşılanamayan kesme kuvveti temel alınmalıdır. Gerekli pilye alanı (iki dik yöndeki pilye alanlarının toplamı)  $A_{sb}$  ile gösterilirse;

$$A_{sb} = \frac{V_d - V_{pr}}{0.5 f_{yd}} = \frac{(F_d - F_a) - V_{pr}}{0.5 f_{yd}} \quad \text{denklemleri ile bulunur.}$$

## ÖRNEK:

**Bilinenler:** Kirişsiz döşeme. Döşeme 25 cm ( $d=22$  cm), kolon enkesit boyutları 30\*30 cm, döşeme hesap yükü,  $P_d=15$  kN/m<sup>2</sup>

Düşey yük için hesap değerleri:

$N_{d1}=880$  kN,  $N_{d2}=1300$  kN,  $M_{d1}=M_{d2}=0$  (İhmal edilecek kadar küçük).

Deprem+Düşey yük:

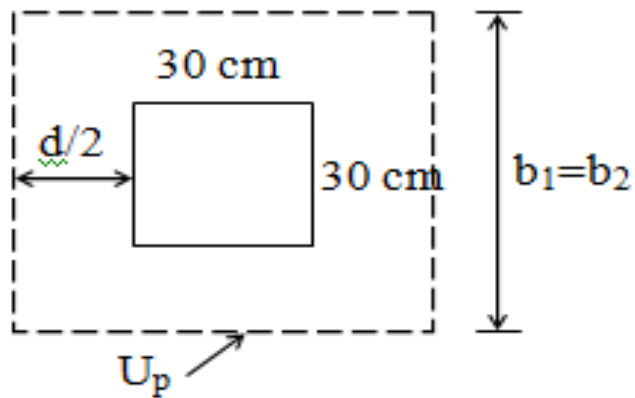
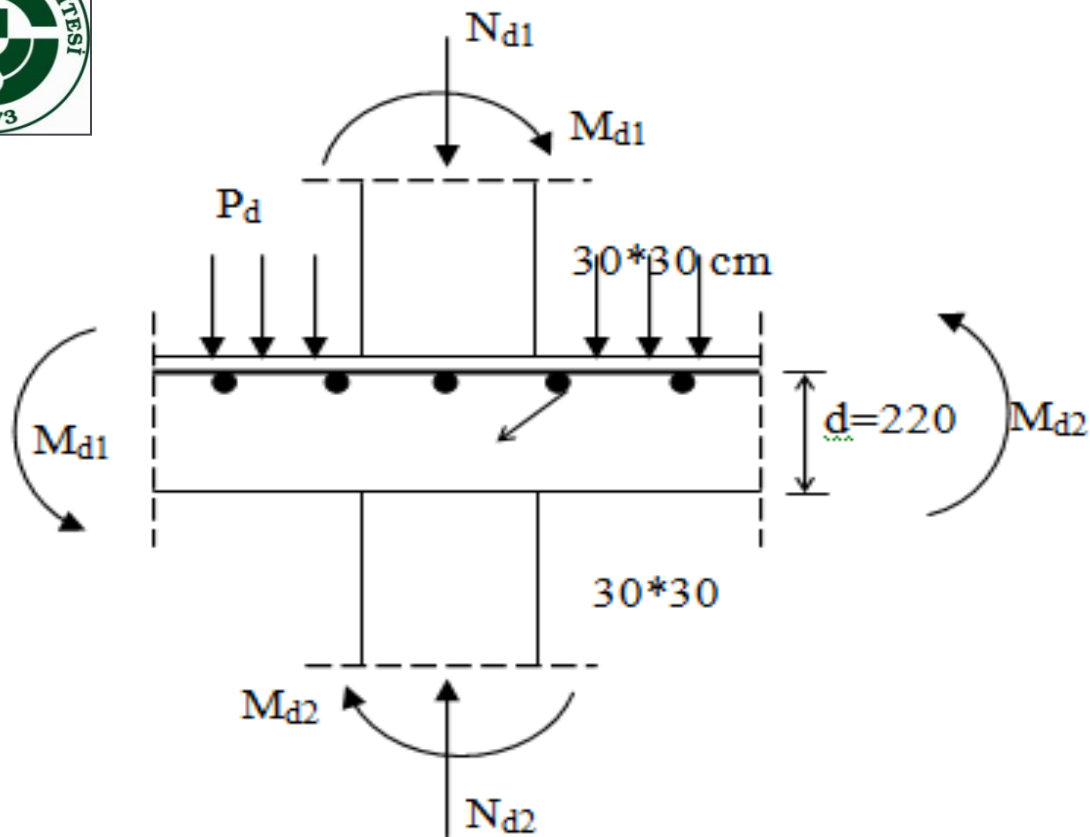
$N_{d1}=800$  kN,  $N_{d2}=1170$  kN,  $M_{d1}=85$  kN m,  $M_{d2}=95$  kN m,  $P_d=10$  kN/m<sup>2</sup>

Malzeme C20, S420,  $f_{ctd}=1.0$  N/mm<sup>2</sup>

**İstenen:** Zımbalama güvenliği kontrolü.

a)Yalnız düşey yükler altında

b)Deprem+düşey yükler altında



$$b_1 = b_2 = 220 + 300 = 520 \text{ mm}$$

Yalnız düşey yükler için:

$$F_d = F_2 - F_1 = 1300 - 880 = 420 \text{ kN}$$

Zımbalama çevresi:

$$b_1 = b_2 = h + d = 300 + 220 = 520 \text{ mm}, A_p = b_1 * b_2 = 270400 \text{ mm}^2 = 0.27 \text{ m}^2$$

$$U_p = 2(b_1 + b_2) = 2(520 + 520) = 2080 \text{ mm}$$

$$F_a = P_d A_p = 15 * 0.27 = 4.05 \text{ kN}$$

$$V_d = F_d - F_a = 420 - 4.05 = 415.9 \text{ kN}$$

$e=0$ , bu nedenle  $\gamma=1$

$$V_{pr} = \gamma f_{ctd} U_p d = 1 * 1 * 10^{-3} * 2080 * 220 = 457.6 \text{ kN}$$

$V_{pr} > V_{pd}$  gereken güvenlik sağlanmıştır.



Deprem+Düşey yükler altında güvenlik:

$$b_1=b_2=520 \text{ mm}, A_p=0.27 \text{ m}^2, U_p=2080 \text{ mm}$$

$$F_d=1170-800=370 \text{ kN}$$

$$F_a=10*0.27=2.7 \text{ kN}$$

$$V_d=370-2.7=367.3 \text{ kN}$$

$$e_x = 0.4 \frac{M_{d1} + M_{d2}}{F_d} = 0.4 \frac{85 + 95}{370} = 0.195 \text{ m} \quad e_y=0$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + 1.5 \frac{e_x + e_y}{\sqrt{b_1 b_2}}} = \frac{1}{1 + 1.5 \frac{195 + 0}{520}} = 0.64$$

$$V_{pr} = \gamma f_{ctd} U_p d = 0.64 * 1 * 10^{-3} * 2080 * 220 = 292.8 \text{ kN}$$

$V_{pr} < V_{pd}$  güvenlik sağlanmıyor.

Döşeme kalınlığı 300 mm yapılacak;

$$b_1=b_2=300+270=570 \text{ mm}, A_p=0.325 \text{ m}^2, U_p=2280 \text{ mm}$$

$F_d=400 \text{ kN}$  (Döşeme kalınlaştığı için  $F_d$  artmıştır.)

$$F_a=10*0.325=3.25 \text{ kN}, V_{pd}=397 \text{ kN}$$

$$e_x = 0.4 \frac{M_{d1} + M_{d2}}{F_d} = 0.4 \frac{85+95}{400} = 0.180 \text{ m} \quad e_y=0$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + 1.5 \frac{180}{570}} = 0.68$$

$$V_{pr}=0.68*1*10^{-3}*2280*270=418.6 \text{ kN}$$

$$V_{pr} > V_d$$



Güvenlik düşey yükler için sağlandığından döşeme kalınlığı arttırılmadan, zımbalama donatısı kullanılarak da depremli durum güvenlik sağlanabilir.

$$1.5V_{pr} > V_{pd}$$

$$1.5 * 292.8 = 439.2 > V_{pd}$$

$$A_{sb} = \frac{V_d - V_{pr}}{0.5 f_{yd}} = \frac{(367.3 - 292.8) * 10^3}{0.5 * 365} = 408.2 \text{ mm}^2$$