

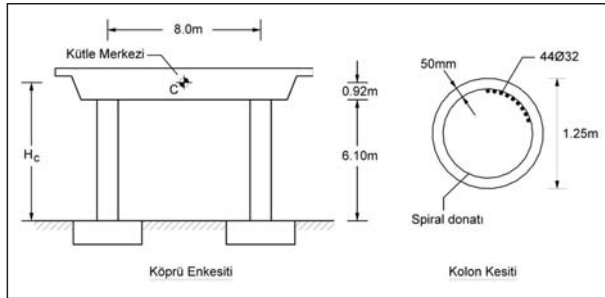
KÖPRÜ KOLONLARININ DEPREM ETKİLERİNE GÖRE TASARIMI İÇİN SAYISAL BİR ÖRNEK

Kutlu DARILMAZ

İTÜ İnşaat Fakültesi Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

Bu yazıda, köprü kolonlarının deprem etkilerine göre tasarımında kullanılmak üzere çeşitli büyüklüklerin hesaplanmasında izlenen adımları gösteren sayısal bir örnek sunulmaktadır. Karmaşıklığa neden olmaması amacıyla basit bir sistem seçilmiştir. Örnek boyunca, ülkemizde de köprülerin tasarımında yararlanılan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) yönetmeliği esas alınmıştır.

Örnek: Şekil 1'de köprünün bir iç açıklığına ait özellikler ve kolon kesiti şematik olarak gösterilmektedir. Kolonlar alttan ve üstten tutulu olarak varsayılacaktır. Sabit yüklerden oluşan aksenal yük her bir kolonda 3600kN'dur. Kolonlarda kullanılan donatı için $f_y=420\text{MPa}$, Beton için $f_c=25\text{MPa}$ 'dır. Kolonlar için karşılıklı etki diyagramı Şekil 2'de verilmektedir.



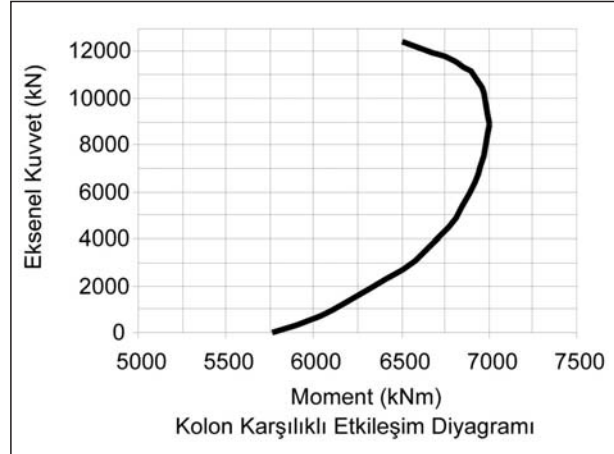
Şekil 1

Tasarımda narinlik etkisinin gözönüne alınıp alınmayacağına belirlemek için (AASHTO 8.16.5.2) narinlik oranı hesaplanmalıdır.

$$\text{Narinlik oranı} = \frac{kl_n}{i} = \frac{1.0 \times 6.10}{0.25 \times 1.25} = 19.52 < 20$$

olduğundan narinlik etkisi gözönüne alınmayabilir. Burada k etkili boy katsayısını, l_n mesnetlenmemiş kolon boyunu ve i eylemsizlik yarıçapını (daire kesitler için 0.25D) göstermektedir.

Plastikleşme momenti karşılıklı etki diyagramından 3600kN için $M_n=6640\text{kNm}$ olarak belirlenir.

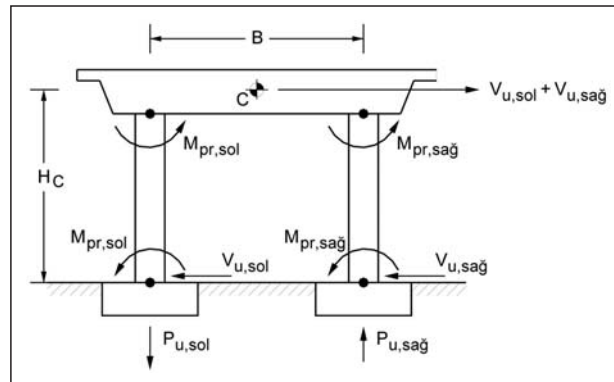


Şekil 2

Olası dayanım artışlarını içeren plastikleşme momenti M_{pr} (AASHTO 7.2.2)

$$M_{pr} = 1.3 \cdot M_n = 1.3 \times 6640 = 8632\text{kNm}$$

Enine doğrultuda oluşan en büyük kesme kuvvetleri, kolonun iki ucunda plastik mafsalların oluştuğu varsayımı ile (Şekil 3)



Şekil 3

Sol kolon için:

$$V_{u,sol} = 2M_{pr}/H = 2 \cdot 8632/6.10 = 2830\text{kN}$$

Sağ kolon için:

$$V_{u,sağ} = 2M_{pr}/H = 2 \cdot 8632/6.10 = 2830 \text{ kN}$$

olarak hesaplanmaktadır.

Bu durumda sisteme enine yönde etkiyen toplam kesme kuvveti

$$V_t = V_{u,sol} + V_{u,sağ} = 2830 + 2830 = 5660 \text{ kN}$$

olmaktadır.

Plastik mafsallardan dolayı kolonlarda oluşan aksenal kuvvetler, dış etkilerin bir kolonun alt ucuna göre yazılan moment denge denklemleri yardımıyla hesaplanabilir.

$$P_{u,sol} = - [H_c(V_{u,sol} + V_{u,sağ}) - (M_{pr,sol} + M_{pr,sağ})]/B$$

$$P_{u,sol} = - [7.02 \times (2830 + 2830) - (8632 + 8632)]/8 = -2809 \text{ kN}$$

$$P_{u,sağ} = + [H_c(V_{u,sol} + V_{u,sağ}) - (M_{pr,sol} + M_{pr,sağ})]/B$$

$$P_{u,sağ} = + [7.02 \times (2830 + 2830) - (8632 + 8632)]/8 = 2809 \text{ kN}$$

Kolonlarda düşey yük ve plastik mafsallardan dolayı oluşan toplam aksenal yükler

$$P_{sol} = P_D + P_{u,sol} = 3600 - 2809 = 791 \text{ kN}$$

$$P_{sağ} = P_D + P_{u,sağ} = 3600 + 2809 = 6409 \text{ kN}$$

Yeniden hesaplanan aksenal kuvvetlere karşı gelen plastikleşme momentleri karşılıklı etki diyagramından $M_{n,sol} = 6030 \text{ kNm}$, $M_{n,sağ} = 6900 \text{ kNm}$, bu yeni değerlere göre dayanım artışlarını içeren plastikleşme momentleri de $M_{pr,sol} = 7839 \text{ kNm}$, $M_{pr,sağ} = 8970 \text{ kNm}$ olarak belirlenir.

Enine doğrultuda oluşan en büyük kesme kuvvetlerin yeniden hesaplandığında

Sol kolon için:

$$V_{u,sol} = 2M_{pr,sol} / H = 2 \cdot 7839/6.10 = 2570 \text{ kN}$$

Sağ kolon için:

$$V_{u,sağ} = 2M_{pr,sağ} / H = 2 \cdot 8970/6.10 = 2941 \text{ kN}$$

değerleri elde edilir.

Bu durumda sisteme enine yönde etkiyen toplam kesme kuvveti

$$V_t = V_{u,sol} + V_{u,sağ} = 2570 + 2941 = 5511 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

İlk adım ile ikinci adım arasındaki toplam kesme kuvvetinin değişim oranı

$$\Delta V = 100(V_1 - V_2)/V_1 = 100(5660 - 5511)/5660 = 2.6 \text{ (\%2.6)}$$

Bu değer %10'dan az olduğu için yeni bir adım için hesaplama yapmaya gerek yoktur (AASHTO 7.2.2).

En büyük kesme kuvveti sağ kolon için 2941 kN olarak elde edilmiştir.

Uç bölgeleri dışında betonun kesme dayanımı (AASHTO 8.16.6.2)

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 5.3 \phi b d (f_c)^{1/2} \\ &= 5.3 \times 0.85 \times 1.25 \times 0.97 \times (25000)^{1/2} \\ &= 863.7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Burada, ϕ dayanım azaltma çarpanını (=0.85), b kolon çapını, d basınç lifinden çekme bölgesindeki donatıların ağırlık merkezine olan uzaklığı ve f_c betonun basınç dayanımını göstermektedir.

Uç bölgeleri dışında donatının karşılaması gerekli kesme kuvveti

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 2941 - 863.7 = 2077.3 \text{ kN}$$

Bu değer $8\phi V_c$ 'den az olması gerekmektedir (AASHTO 8.16.6.3).

$2077.3 \text{ kN} < 8 \times 863.7 = 6910 \text{ kN}$ olduğundan gerekli donatının kayma dayanımı izin verilen sınırlar içerisindedir.

Basınç etkisi altındaki elemanlarda spiral donatının net aralığı 3inch'den (76.2mm) küçük olmalıdır.

(AASHTO 8.18.2) ve bu enine donatının minimum hacimsel oranı çekirdek bölgesi esas alınarak hesaplanan aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

$$\rho_s = 0.45(A_g/A_c - 1) f_c/f_y = A_v \pi(D_c - D_s)/sA_c$$

Burada:

A_g : Kesit brüt alanı (1.227m²)

A_c : Enine donatının dışından dışına ölçülen kesit alanı (1.039m²)

D_c : Enine donatının dışından dışına ölçülen uzaklık (1.15m)

D_s : Enine donatının çapı (20mm)

A_v : Enine donatı alanı (314mm²)

s : Enine donatı aralığı

$$s = A_v f_y \pi (D_c - D_s) / 0.45 A_c f_c (A_g / A_c - 1)$$

$$s = 0.000314 \times 420000 \pi (1.15 - 0.02) / [0.45 \times 1.0387 \times 25000 (1.227 / 1.0387 - 1)]$$

$$= 0.22 \text{ m}$$

Yukarıdaki koşullara ek olarak enine donatının aralığı aşağıdaki eşitliği sağlamalıdır (AASHTO 8.16.6.3).

$$s = \phi A_v f_y d / \phi V_s$$

$$= 0.85 \times 2 \times 0.000314 \times 420000 \times 0.97 / 2077.3$$

$$= 0.105 \text{ m}$$

$$s = S_{net} + \phi_{enine \ donatı} = 76.2 + 20 = 96.2 \text{ mm} \cong 100 \text{ mm}$$

seçilir.

Uç bölgelerinin uzunluğunu aşağıdaki koşullara göre belirlenen uzunlukların büyük olanı esas alınarak belirlenmektedir (AASHTOSD 7.6.2(C)).

- 18 in (~0.45m)
- $H/6 = 6.10/6 = 1.017 \text{ m}$
- Kolon çapı 1.25m

Uç bölgesi uzunluğu 1.25m olarak seçilir.

Uç bölgelerinde betonun kesme dayanımını belirlemek için dayanım artışlarını içeren durumda plastik mafsallardan dolayı kolonlarda oluşan aksel kuvvetler yeniden belirlenirse

$$P_{u,sol} = - [H_c (V_{u,sol} + V_{u,sağ}) - (M_{pr,sol} + M_{pr,sağ})] / B$$

$$P_{u,sol} = - [7.02 \times (2570 + 2941) - (7839 + 8970)] / 8$$

$$= -2734 \text{ kN}$$

$$P_{u,sağ} = + [H_c (V_{u,sol} + V_{u,sağ}) - (M_{pr,sol} + M_{pr,sağ})] / B$$

$$P_{u,sağ} = + [7.02 \times (2570 + 2941) - (7839 + 8970)] / 8$$

$$= 2734 \text{ kN}$$

olarak elde edilir.

Kolonlarda düşey yük ve plastik mafsallardan dolayı oluşan toplam aksel yükler

$$P_{sol} = P_D + P_{u,sol} = 3600 - 2734 = 866 \text{ kN}$$

$$P_{sağ} = P_D + P_{u,sağ} = 3600 + 2734 = 6334 \text{ kN}$$

$$A_c f_c / 10 = 1.039 \times 25000 / 10 = 2597 \text{ kN} > P_{sol}$$

olduğundan dolayı uç bölgelerinde betonun kayma dayanımını azaltılacaktır.

$$\phi V_c = 863.7 \times 866 / 2597 = 288 \text{ kN}$$

Uç bölgelerinde kayma donatısının karşılaması gerekli kesme kuvveti

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 2570 - 288 = 2282 \text{ kN}$$

olarak belirlenir.

Bu bölgelerde aynı çaplı enine donatı kullanılırsa bu donatının aralığı aşağıdaki bağıntılarda hesaplanan değerlerden küçük olanını sağlamalıdır.

$$s = A_v f_y \pi (D_c - D_s) / 0.45 A_c f_c (A_g / A_c - 1)$$

$$s = 0.000314 \times 420000 \pi (1.15 - 0.02) / [0.45 \times 1.0387 \times 25000 (1.227 / 1.0387 - 1)]$$

$$= 0.22 \text{ m}$$

$$s = A_v f_y \pi (D_c - D_s) / 0.12 A_c f_c$$

$$= 0.000314 \times 420000 \pi (1.15 - 0.02) / [0.12 \times 1.0387 \times 25000] = 0.15 \text{ m}$$

$$s = \phi A_v f_y d / \phi V_s$$

$$= 2 \times 0.85 \times 0.000314 \times 420000 \times 0.97 / 2282$$

$$= 0.095 \text{ m}$$

Uç bölgeleri dışında seçilen aralık bu değerlerin en küçüğü olan 95mm'ye yakın olduğu için tüm kolon boyunca enine donatının aralığı 100mm olarak seçilecektir.

Kaynaklar:

1. American Association of State Highway and Transportation Officials, *Standard Specifications for Highway Bridges, Seventeenth Edition*. Washington, DC, 2002.
2. American Association of State Highway and Transportation Officials, *Standard Specifications for Highway Bridges, Seventeenth Edition. Division I-A: Sismic Design*, Washington, DC, 2002.
3. Williams A., *Seismic Design of Buildings and Bridges, Fifth Edition*, Kaplan Education, Chicago, 2003.