

Kazı Destek Yapısı için Yatay Destek Tasarım Raporu

İbrahim Bozkurt

18.01.2022

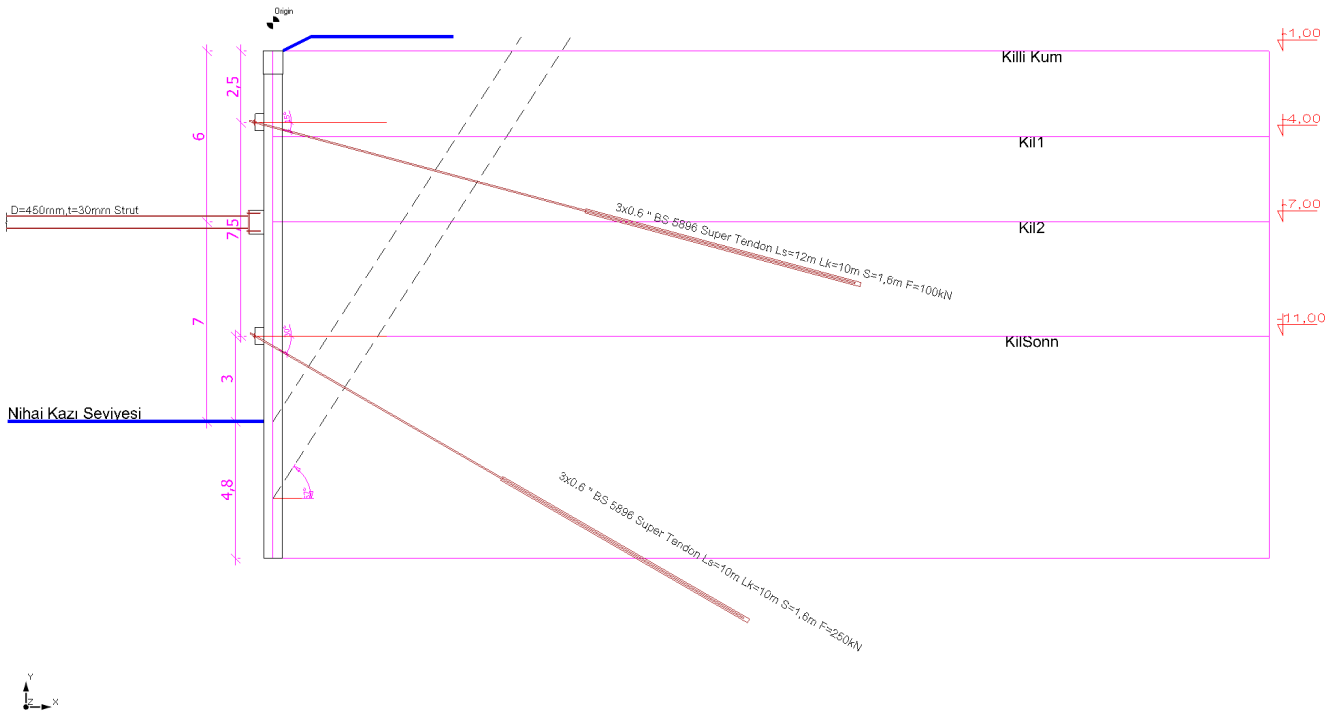
İçindekiler

1	Konu	1
2	Etkiler	2
3	Çelik Boru Enkesitli Yatay Destek Elemanının Tasarımı	3
4	Çelik Boru Desteğın Eleman/Duvar Birleşim Tasarımı	6
5	Destek1 [-7m]	12

1 Konu

Destek tasarım hesapları yapılmaktadır. 'Kazı Destek Yapıları ve Uygulama Esasları' yönetmeliği çerçevesinde yük kombinasyonları ve ilave etkiler dikkate alınmıştır. Çelik boru desteğin ve destek/duvar birleşiminin tasarım hesapları 'Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar', 'AISC' ve 'ACI318M' yönetmelikleri kullanılarak yapılmıştır.

Hesapların yapıldığı inşaat aşaması: Nihai Kazı



Şekil 1: Kazı destek yapısının kesiti

2 Etkiler

Sabit ve değişken etkiler aşağıda tanımlanan yük kombinasyonlarına (LC) göre belirlenmelidir. Isıl yüklemeye her durumda birincil değişken yük olarak kabul edilmektedir.

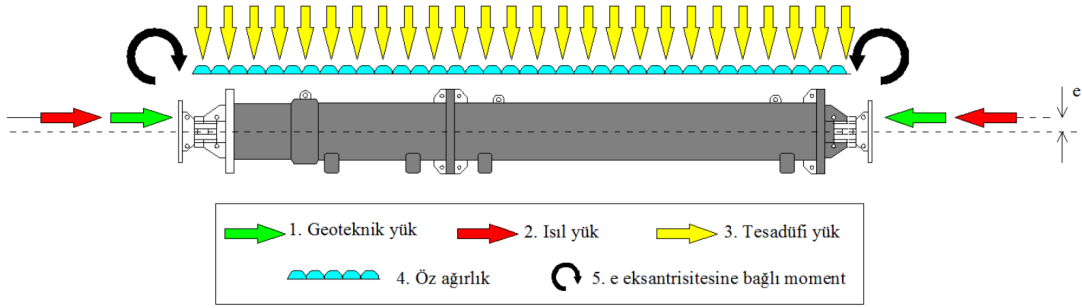
Yük kombinasyonları:

$$LC1 : 1.4G_k + G_{k,GEO} + Q_{k,temp} \quad (1)$$

$$LC2 : 1.2G_k + G_{k,GEO} + 1.6Q_{k,temp} \quad (2)$$

$$LC3 : G_k + G_{k,GEO} + 0.5Q_{k,temp} + 1.6Q_{k,tesadufi} \quad (3)$$

$G_{k,GEO}$: Karakteristik geoteknik yük sabit bir yük olarak alınır.



Şekil 2: Yatay Destek Elemanına Etkiyen Kuvvetler

$Q_{k,temp}$: Karakteristik ısı yük beklenen ısı değişimine bağlı olarak hesaplanır ve kazı destek yapısının sağladığı dayanıma bağlı olarak değişken bir yük olarak alınır.

$Q_{k,tesadufi}$: Kazı destek yapı elemanının kendi ağırlığının yanısıra destek üzerine 1.0 kN/m şiddetinde doğrusal bir düşey yük gözönüne alınmalıdır

G_k : Desteğin karakteristik toplam öz ağırlığı, tüm boyuna uniform yayılmış kabul edilir ve sabit yük olarak alınır.

Destek / duvar birleşimi moment aktarmayan olarak teşkil edilmediği için çelik boru çapının 1/6'sı kadar eksantrik yüklemeye yapılmaktadır.

Karakteristik ısı yük,

$$Q_{k,temp} = \alpha_t \cdot \Delta t \cdot E \cdot A \cdot (\beta/100) \quad (4)$$

Bağıntıdaki;

α_t : destek elemanının yapıldığı malzemenin ısı genleşme katsayısını,

Δt : montaj sıcaklığına kıyasla sıcaklık değişimini,

E : destek elemanının yapıldığı malzemenin elastisite modülünü,

A : destek elemanının kesit alanını,

β : destek elemanında boy değişimi kısıtlanma yüzdesini ifade eder.

Yatay destek tasarımı en olumsuz yük durumu için yapılır. $G_{k,GEO}$ değeri SLS ve ULS yükleme durumlarından büyük olanına göre belirlenir.

SLS durumu için:

$$G_{k,GEO} = \gamma_G \cdot P_{SLS} \cdot \gamma_{SD} \quad (5)$$

Bu bağıntıda,

P_{SLS} : gerilme-deformasyon analizleri veya limit denge yöntemi kullanılarak SLS durumu için yapılan hesaplardan gelen etkileri ifade eder.

γ_G : LC1, LC3, LC3 için sırasıyla 1.4, 1.2 ve 1 değerlerini ifade eder.

γ_{SD} : gerilme yeniden dağılım katsayısını (kazı aşamaları ilerledikçe yatay toprak basıncındaki değişimi hesaba katabilen analizlerde 1) ifade eder.

ULS yükleme durumu için:

$$G_{k,GEO} = P_{ULS} \cdot \gamma_{SD} \quad (6)$$

Bu bağıntıda,

P_{ULS} : gerilme-deformasyon analizleri kullanılarak ULS durumu için yapılan hesaplardan gelen etkilerin kısmi katsayılar ile arttırılan değerlerini ifade eder.

3 Çelik Boru Enkesitli Yatay Destek Elemanının Tasarımı

Çelik yapı elemanının tasarımı 'Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım' yaklaşımı ile gerçekleştirilmektedir.

Basınç kuvveti etkisinde yerel burkulma durumu için enkesitin sınıflandırılması,

$$\lambda = \frac{D}{t} \quad (7)$$

$$\lambda_r = 0.11 \frac{E}{F_y} \quad (8)$$

$$\left[\begin{array}{l} \lambda \leq \lambda_r \rightarrow \text{Narinolmayan enkesit} \\ \lambda > \lambda_r \rightarrow \text{Narinenkesit} \end{array} \right] \quad (9)$$

λ : genişlik/kalınlık oranı,

D : boru enkesitin dış çapı,

t : boru enkesitin et kalınlığı,

λ_r : genişlik/kalınlık oranı sınırlama değeri,

E : çelik elastisite modülü,

F_y : çelik akma gerilmesi,

Narinlik oranı,

$$L_c = K \cdot L \quad (10)$$

L_c : çelik boru desteğin burkulma boyu

L : çelik boru destek boyu

K : burkulma boyu katsayısı

Narinlik oranı sınırlama,

$$\frac{L_c}{i} \leq 200 \quad (11)$$

i : çelik boru kesitin atalet yarıçapıdır.

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki narin enkesitli borularda etkin alan,

$$\frac{D}{t} \leq 0.11 \frac{E}{F_y} \rightarrow A_e = A_g \quad (12)$$

$$0.11 \frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} < 0.45 \frac{E}{F_y} \rightarrow A_e = \left(\frac{0.038E}{F_y (D/t)} + \frac{2}{3} \right) A_g \quad (13)$$

A_g : kayıpsız enkesit alanı,

A_e : etkin alan

Eğilmeli burkulma sınırlama durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} \quad (14)$$

$$\frac{L_c}{i} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (15)$$

$$\frac{L_c}{i} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = 0.877 F_e \quad (16)$$

Narin olmayan kesitlerde,

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (17)$$

Narin kesitlerde,

$$P_n = F_{cr} A_e \quad (18)$$

$$P_c = \phi_c P_n \quad (19)$$

F_e : elastik burkulma gerilmesi,

F_{cr} : kritik burkulma gerilmesi,

P_n : karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı

ϕ_c : basınç kuvveti etkisi için dayanım katsayısı,

P_c : tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı

Eğilme momenti etkisinde yerel burkulma durumu için enkesitin sınıflandırılması,

$$\lambda_{r,egilme} = 0.31 \frac{E}{F_y} \quad (20)$$

$$\lambda_p = 0.07 \frac{E}{F_y} \quad (21)$$

$$\left[\begin{array}{l} \lambda \leq \lambda_p \rightarrow \text{Kompaktenkesit} \\ \lambda > \lambda_p \vee \lambda \leq \lambda_{r,egilme} \rightarrow \text{Kompaktolmayanekesit} \\ \lambda > \lambda_{r,egilme} \rightarrow \text{Narinenkesit} \end{array} \right] \quad (22)$$

λ_p : genişlik/kalınlık oranı için sınır değeri

Akma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı M_n ,

$$M_n = M_p = F_y W_p \quad (23)$$

Kompakt olmayan enkesit koşulunun sağlanması durumunda,

$$M_n = \left[\frac{0.021E}{\left(\frac{D}{t}\right)} + F_y \right] W_e \quad (24)$$

Narin enkesit koşulunun sağlanması durumunda,

$$M_n = F_{cr} W_e \quad (25)$$

Kritik gerilme F_{cr} ,

$$F_{cr} = \frac{0.33E}{\left(\frac{D}{t}\right)} \quad (26)$$

Tasarım eğilme momenti dayanımı M_c ,

$$M_c = \phi_b M_n \quad (27)$$

W_p : plastik mukavemet momenti,

W_e : elastik mukavemet momenti,

ϕ_b : eğilme etkisi için dayanım katsayısı

Çelik boru enkesitli destek elemanında eğilme momenti ve aksenal basınç kuvveti etkileşimi,

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad (28)$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \rightarrow \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad (29)$$

P_r :yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli aksenal kuvvet dayanımı,

M_{rx}, M_{ry} : gerekli eğilme momenti dayanımı

Boru enkesitli elemanların karakteristik kesme kuvveti dayanımı V_n ,

$$V_n = \frac{F_{cr} A_g}{2} \quad (30)$$

Kayma etkisinde burkulma sınır durumu için kritik gerilme F_{cr} , Denklem (31 ve (32) ile hesaplanan kritik gerilmelerin büyüğü olarak alınacaktır.

$$F_{cr} = \frac{1.60E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^{5/4}}} \leq 0.6F_y \quad (31)$$

$$F_{cr} = \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t} \right)^{3/2}} \leq 0.6F_y \quad (32)$$

L_v : kesme kuvvetinin sıfır olduğu nokta ile maksimum olduğu nokta arasındaki uzaklık

Tasarım kesme kuvveti dayanımı,

$$V_d = \phi_v V_n \quad (33)$$

ϕ_v : kesme kuvveti etkisi için dayanım katsayısı

Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü,

$$\frac{V_u}{V_d} \leq 1 \quad (34)$$

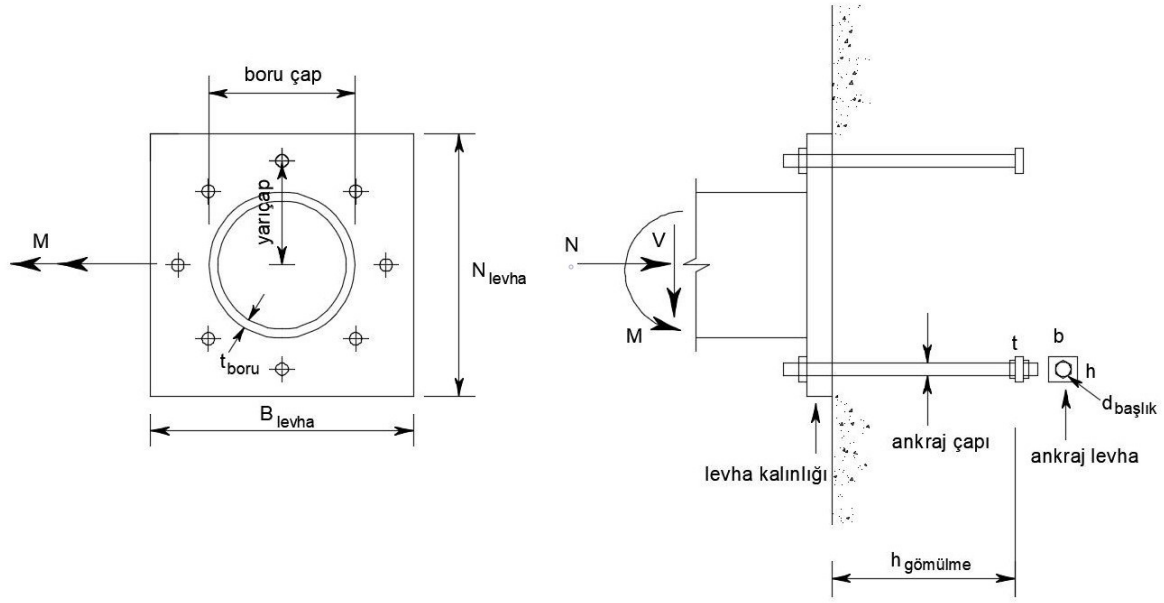
V_u : yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli kesme kuvveti dayanımıdır.

4 Çelik Boru Desteğin Eleman/Duvar Birleşim Tasarımı

Çelik boru desteğin betonarme duvar veya kirişe ankrajlı birleşiminin tasarımı yapılmaktadır.

Levha yüzey alanı,

$$A_1 = N \cdot B \quad (35)$$



Şekil 3: Destek Elemanının Beton Mesnete Birleşimi

N : eğilme momenti vektörüne dik doğrultudaki levha boyutu,

B : eğilme momenti vektörüne paralel doğrultudaki levha boyutu,

Levha altındaki beton mesnet yüzey alanı,

$$A_2 = N_2 \cdot B_2 \quad (36)$$

N_2 : levha altındaki beton mesnet yüzeyinin eğilme momenti vektörüne paralel doğrultudaki boyutu,

B_2 : levha altındaki beton mesnet yüzeyinin eğilme momenti vektörüne paralel doğrultudaki boyutu

Levhadaki birinci konsol boyu,

$$m = \frac{N - 0.95D}{2} \quad (37)$$

D : Boru dış çapıdır

Levhadaki ikinci konsol boyu,

$$n = \frac{B - 0.8b_f}{2} \quad (38)$$

b_f : boru dış çapı alınır.

Beton maksimum gerilme değeri denklem (39) ve (40) ile hesaplanan gerilmelerin küçüğü olarak alınacaktır.

$$f_{p,maks} = \phi 0.85 f_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (39)$$

$$f_{p,maks} = 1.7f_c \quad (40)$$

f_c : beton basınç dayanımı

Beton maksimum yayılı yük değeri,

$$q_{maks} = f_{p,maks}B \quad (41)$$

Dışmerkezlilik,

$$e = \frac{M_r}{P_r} \quad (42)$$

Kritik dışmerkezlilik,

$$e_{cr} = \frac{N}{2} - \frac{P_r}{2f_{p,max}B} \quad (43)$$

P_r : yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli eksenel kuvvet dayanımı,

M_r : yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli eğilme momenti dayanımı,

Y : dış merkezliğe göre eğilme momenti vektörüne dik doğrultudaki levha boyutunun düzeltilmiş değeri,

$$e \leq e_{cr} \rightarrow Y = N - 2e \quad (44)$$

$$e > e_{cr} \rightarrow Y = \left(f + \frac{N}{2}\right) - \sqrt{\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 - \frac{2P_r(e + f)}{q_{maks}}} \quad (45)$$

Taban levhası altındaki betonda oluşan gerilme,

$$f_p = \frac{P_r}{B \cdot Y} \quad (46)$$

Levha boyutunun yeterliliği,

$$\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 \geq \frac{2P_r(e + f)}{q_{maks}} \quad (47)$$

f : dış bulonun levha merkezine uzaklığı,

Beton ezilme kontrolü,

$$\frac{f_p}{f_{p,maks}} < 1 \quad (48)$$

Çekme kuvveti,

$$T_u = q_{max} \times Y - P_r \quad (49)$$

Taban plakasının kalınlığı,

$Y > m$ durumunda,

$$t_{p,gerekli} = 1.49m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \quad (50)$$

$Y \leq m$ durumunda,

$$t_{p,gerekli} = 2.11 \sqrt{\frac{f_{p,maks} Y \left(m - \frac{Y}{2} \right)}{F_y}} \quad (51)$$

$Y > n$ durumunda,

$$t_{p,gerekli} = 1.49n \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \quad (52)$$

$Y \leq n$ durumunda,

$$t_{p,gerekli} = 2.11 \sqrt{\frac{f_{p,maks} Y \left(n - \frac{Y}{2} \right)}{F_y}} \quad (53)$$

$$t_{p,gerekli} = 2.11 \sqrt{\frac{T_u x}{B F_y}} \quad (54)$$

T_u : çekme kuvveti,

x : çekme etkisindeki en dış bulon ile boru kesiti arasındaki uzaklık.

Gerekli plaka kalınlığı (50) veya (51), (52) veya (53) ile (54) denklemlerinden hesaplanan değerlerin maksimumu alınacaktır.

Levha kalınlığının kontrolü,

$$\frac{t_{p,gerekli}}{t_p} \leq 1 \quad (55)$$

Ankraj tasarım kapasitesi

Ankraj çubuğunun çapı,

$$d \geq \sqrt{\frac{4T_{u,1}}{\pi \phi F_{nt}}} \quad (56)$$

F_{nt} : ankraj çekme dayanımı,

$T_{u,1}$: tek ankraja etkiyen çekme kuvveti

Ankraj çubuklarının çapı 22mm den küçük seçilemez.

Çekme bölgesindeki ankraj çubuğu grubunun kopma sınır durumu,

$$\phi N_{sa} = \phi \cdot n \cdot A_{se,N} \cdot f_{uta} \quad (57)$$

ϕN_{sa} : çekme bölgesindeki ankraj grubunun nominal çekme dayanımının azaltılmış değeri,

ϕ : dayanım katsayısı,

n : çekme bölgesindeki ankraj çubuk sayısı,

$A_{se,N}$: çekme bölgesindeki ankrajların etkin kesit alanı,

f_{uta} : ankraj çeliğinin spesifik akma dayanımı.

Beton kütlenin konik parça halinde kırılarak ayrılması kontrolü,

$$A_{Nc} = (1.5h_e + x_d)(2 \times 1.5h_e + s_1) \quad (58)$$

$$A_{Nco} = 9 \times h_e^2 \text{gomulme} \quad (59)$$

Ankrajın beton içine gömülme derinliği $280mm \leq h_e \leq 635mm$ ise N_b ,

$$N_b = 3.9\lambda\sqrt{f_{ck}h_e^{5/3}} \quad (60)$$

h_e 280 ve 635mm sınırları içerisinde değil ise N_b ,

$$N_b = 10\lambda\sqrt{f_{ck}h_e^{1.5}} \quad (61)$$

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}}\psi_{ec,N}\psi_{ed,N}\psi_{c,N}\psi_{cp,N}N_b \quad (62)$$

N_b : tek bir ankraj çubuğu için betonun konik parça halinde kırılarak ayrılmasına karşı gelen çekme dayanımı,

f_{ck} : beton karakteristik basınç dayanımı,

h_e : ankraj gömülme derinliği,

N_{cbg} : ankraj çubuğu grubu için betonun konik parça halinde kırılarak ayrılmasına karşı gelen karakteristik çekme dayanımı,

x_d : çekme bölgesindeki en dış bulonun plaka kenarına olan mesafesi,

s_1 : çekme bölgesinde kenar bulonlar arası uzaklık,

A_{Nc} : çekme dayanımını belirlemek için ankraj gurubuna ait izdüşüm beton göçme alanı,

A_{Nco} : çekme dayanımını belirlemek için bir ankraja ait izdüşüm beton göçme alanı,

$\psi_{ec,N}$: etkiyen yüklerin dış merkezliğine göre ankraj çekme dayanımını düzeltme katsayısı,

$\psi_{ed,N}$: beton elemanın kenarına yakınlık katsayısı,

$\psi_{c,N}$: betonda çatlak bulunup bulunmamasına bağlı olarak ankraj çekme dayanımını düzenleyen katsayı,

$\psi_{cp,N}$: çatlaksız betonda kullanılması amaçlanan betona sonradan yerleştirilen ankrajların çekme dayanımını düzeltme katsayısı,

Betondan sıyrılarak ayrılma,

$$A_{brg} = b \cdot h - \frac{\pi d_b^2}{4} \quad (63)$$

Bir ankraj için sıyrılmaya karşı gelen çekme dayanımı,

$$N_p = 8 \cdot A_{brg} \cdot f_c \quad (64)$$

Tasarım çekme dayanımı N_{pn} ,

$$N_{pn} = 0.40 \cdot 0.75 \cdot \phi \cdot n \cdot \psi_{c,P} \cdot N_p \quad (65)$$

A_{brg} : ankraj uç levhasındaki net taşıma alanı,

d_b : bulon başlık çapı,

b : ankraj uç levhası boyutu,

h : ankraj uç levhası boyutu,

N_{pn} : çekme etkisindeki bir ankraj gurubunun tasarım sıyrılma dayanımı,

ϕ : dayanım katsayısı,

n : ankraj adedi,

$\psi_{c,P}$: betonda çatlak bulunup bulunmamasına bağlı olarak sıyrılmaya karşı gelen ankraj çekme dayanımını düzenleyen katsayı,

N_p : çekme etkisindeki bir ankrajın sıyrılma dayanımı.

Ankraj çubuğu ucundaki levhanın ezilme kontrolü,

$$W_{p,h} = \frac{t_h^2}{4} \quad (66)$$

$$M_{n,h} = F_{y,h} W_{p,h} \quad (67)$$

$$M_{p,h} = 0.4 \times 0.9 \times M_{n,h} \quad (68)$$

$$L_{p,h} = \frac{b - L_b}{2} \quad (69)$$

$$w_u = \frac{(T_u/n)}{A_{brg}} \quad (70)$$

$$M_u = \frac{w_u \cdot L_{p,h}^2}{2} \quad (71)$$

$W_{p,h}$: ankraj uç levhasının plastik mukavemet momenti,

t_h : ankraj uç levhasının kalınlığı,

$F_{y,h}$: ankraj uç levhasının akma dayanımı,

$M_{n,h}$: ankraj uç levhasının karakteristik moment kapasitesi,

$M_{p,h}$: ankraj levhası tasarım moment kapasitesi,

$L_{p,h}$: ankraj uc levhasındaki konsol boyu,

L_b : ankraj bulonunun başlık yüksekliği,

w_u : çekme kuvvetinin oluşturduğu birim genişlikteki yayılı yük,

M_u : ankraj levhasına etkiyen moment.

Kaynak tasarım kapasitesi,

$$L_e = \pi D \quad (72)$$

$$R_{nw} = 0.75 \times 0.60 \times 0.9 \times F_{exx} \times w \times (L_e - 2w) \quad (73)$$

$$W_{p,w} = \pi D^2 w \quad (74)$$

$$M_{p,w} = W_{p,w} \times 0.6 \times 0.9 \times F_{exx} \quad (75)$$

L_e : kaynak uzunluğu,

R_{nw} : kaynak kesme kapasitesi,

w : kaynak kalınlığı,

F_{exx} : kaynak metali çekme dayanımı,

$W_{p,w}$: kaynak plastik mukavemeti,

$M_{p,w}$: kaynak eğilme kapasitesi.

5 Destek1 [-7m]

Çelik borunun özellikleri,

$$D = 450mm \quad t = 30mm \quad i = 148,871mm \quad A = 39584,07mm^2 \quad L = 8500mm$$

$$\alpha_t = 1,2E - 05 \quad \Delta t = 10^\circ C \quad \beta = \%30 \quad E = 210000N/mm^2 \quad F_y = 235N/mm^2$$

$$W_e = 3899,03cm^3 \quad W_p = 5301cm^3$$

Etkiler

$$P_{SLS} = 726,82kN$$

Kısmi faktör ile P_{ULS} belirlenir.

$$P_{ULS} = 1.35 \times 726,82 = 981,2kN$$

Denklem (4) ile hesaplanan karakteristik ısı yük,

$$Q_{k,temp} = 1,2E - 05 \times 10 \times 210000 \times 0,0395841 \times (30/100) = 0,2993MN = 299,26kN$$

$\gamma_{SD} = 1$ için (5) ve (6) denklemleri ile karakteristik geoteknik yük,

SLS yükleme durumunda,

$$LC1 \rightarrow G_{k,GEO} = 1.4 \times 726,82 \times 1 = 1017,55kN$$

$$LC2 \rightarrow G_{k,GEO} = 1.2 \times 726,82 \times 1 = 872,18kN$$

$$LC3 \rightarrow G_{k,GEO} = 1 \times 726,82 \times 1 = 726,82kN$$

ULS yükleme durumunda LC1, LC2 ve LC3 kombinasyonları için,

$$G_{k,GEO} = 981,2 \times 1 = 981,2kN$$

Çelik borunun öz ağırlığı,

$$G_k = 0,039584 \times 0,0769822025 = 0,0030473MN/m = 3,05kN/m$$

Çarpma/kaza yükü,

$$Q_{k,tesadufi} = 1kN/m$$

LC1 için kesit tesirleri,

Gerekli eksenel basınç kuvveti dayanımı,

$$P_r = G_{k,GEO} + Q_{k,temp} = 1017,55 + 299,26 = 1316,8kN$$

Moment aktarmayan mesnet teşkil edilmediği için alınan eksantrisite değeri,

$$M_{ecc} = P_r \cdot \frac{D}{6} = 1316,8 \times \frac{0,45}{6} = 98,76kN.m$$

Yayı yük,

$$q = 1.4G_k = 1.4 \times 3,05 = 4,27kN/m$$

Gerekli eğilme momenti dayanımı,

$$M_r = M_{ecc} + \frac{q \cdot l^2}{8} = 98,76 + \frac{4,27 \times 8,5^2}{8} = 137,29kN.m$$

Gerekli kesme kuvveti dayanımı,

$$V_u = q \cdot \frac{l}{2} = 4,27 \times \frac{8,5}{2} = 18,13kN$$

LC2 için kesit tesirleri,

Gerekli eksenel basınç kuvveti dayanımı,

$$P_r = 1G_{k,GEO} + 1.6Q_{k,temp} = 1 \times 981,2 + 1.6 \times 299,26 = 1460,01kN$$

Moment aktarmayan mesnet teşkil edilmediği için alınan eksantrisite değeri,

$$M_{ecc} = P_r \cdot \frac{D}{6} = 1460,01 \times \frac{0,45}{6} = 109,5kN.m$$

Yayıllı yük,

$$q = 1.2G_k = 1.2 \times 3,05 = 3,66kN/m$$

Gerekli eğilme momenti dayanımı,

$$M_r = M_{ecc} + \frac{q \cdot l^2}{8} = 109,5 + \frac{3,66 \times 8,5^2}{8} = 142,53kN.m$$

Gerekli kesme kuvveti dayanımı,

$$V_u = q \cdot \frac{l}{2} = 3,66 \times \frac{8,5}{2} = 15,54kN$$

LC3 için kesit tesirleri,

Gerekli aksenal basınç kuvveti dayanımı,

$$P_r = 1G_{k,GEO} + 0.5Q_{k,temp} = 1 \times 981,2 + 0.5 \times 299,26 = 1130,83kN$$

Moment aktarmayan mesnet teşkil edilmediği için alınan eksantrisite değeri,

$$M_{ecc} = P_r \cdot \frac{D}{6} = 1130,83 \times \frac{0,45}{6} = 84,81kN.m$$

Yayıllı yük,

$$q = 1Gk + 1.6Q_{k,tesadufi} = 1 \times 3,05 + 1.6 \times 1 = 4,65kN/m$$

Gerekli eğilme momenti dayanımı,

$$M_r = M_{ecc} + \frac{q \cdot l^2}{8} = 84,81 + \frac{4,65 \times 8,5^2}{8} = 126,78kN.m$$

Gerekli kesme kuvveti dayanımı,

$$V_u = q \cdot \frac{l}{2} = 4,65 \times \frac{8,5}{2} = 19,75kN$$

Çelik Boru Enkesitli Destek Elemanının Tasarımı

Basınç kuvveti etkisinde yerel burkulma durumu için enkesitin sınıflandırılması (7) ve (8) denklemleri ile,

$$\lambda = \frac{450}{27,9} = 16,13$$

$$\lambda_r = 0.11 \frac{210000}{235} = 98,3$$

Tasarım boru et kalınlığı $0.93t$ alınmıştır.

$\lambda \leq \lambda_r \rightarrow$ narin olmayan kesit

Denklem (10) ile burkulma boyu,

$$L_c = 1 \times 8500 = 8500mm$$

Narinlik oranı denklem (11) ile,

$$\frac{L_c}{i} = \frac{8500}{148,871} = 57,1 \leq 200 \rightarrow \text{yeterli}$$

Elastik burkulma gerilmesi denklem (14) kullanılarak,

$$F_e = \frac{\pi^2 \times 210000}{\left(\frac{8500}{148,871}\right)^2} = 635,77N/mm^2$$

(15) veya (16) denklemleri ile kritik burkulma gerilmesi,

$$\frac{8500}{148,871} \leq 4.71\sqrt{\frac{210000}{235}} \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{235}{635,77}}\right] 235 = 201,316N/mm^2$$

Karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı (17) veya (18) denklemleri ile narin olmayan kesitlerde,

$$P_n = 201,316 \times 39584,07 = 7968911,56N = 7968,91kN$$

Tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı,

$$P_c = 0.90 \times 7968,91 = 7172,02kN$$

Eğilme momenti etkimesi durumunda yapılan çap/kalınlık oranı kontrolü,

$$\frac{D}{t} \leq 0.45\frac{E}{F_y} \rightarrow \checkmark \text{ yeterli}$$

Eğilme momenti etkisinde yerel burkulma durumu için enkesitin sınıflandırılması (20) ve (21) denklemleri ile,

$$\lambda_{r,egilme} = 0.31\frac{210000}{235} = 277,02$$

$$\lambda_p = 0.07\frac{210000}{235} = 62,55$$

$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow$ Kompakt enkesit. Akma sınır durumu için (23) denklemi ile hesaplanan karakteristik eğilme momenti dayanımı,

$$M_n = M_p = 235 \times 0,005301 = 1,2457MN.m = 1245,735kN.m$$

Tasarım eğilme momenti dayanımı,

$$M_c = 0.90 \times 1245,735 = 1121,162kN.m$$

Çelik boru enkesitli destek elemanında (28) ve (29) denklemleri kullanılarak eğilme momenti ve eksenel basınç kuvveti etkileşimi,

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \rightarrow \frac{1460,013}{7172,02} + \frac{8}{9} \left(\frac{142,526}{1121,162} \right) = 0,32$$

$0,317 \leq 1 \rightarrow \checkmark$ kesit yeterlidir.

Kayma etkisinde burkulma sınır durumu için (31) denklemi ile kritik gerilme,

$$F_{cr} = \frac{1.60 \times 210000}{\sqrt{\frac{4,25}{450} \left(\frac{450}{27,9} \right)^{5/4}}} > 0.6 \times 235 \rightarrow F_{cr} = 141N/mm^2$$

Kayma etkisinde burkulma sınır durumu için (32) denklemi ile kritik gerilme,

$$F_{cr} = \frac{0.78 \times 210000}{\left(\frac{450}{27,9} \right)^{3/2}} > 0.6 \times 235 \rightarrow F_{cr} = 141N/mm^2$$

Boru enkesitli elemanın (30) denklemi kullanılarak karakteristik kesme kuvveti dayanımı,

$$V_n = \frac{141 \times 0,0396}{2} = 2,791MN = 2790,677kN$$

Tasarım kesme kuvveti dayanımı,

$$V_d = 0.9 \times 2790,677 = 2511,609kN$$

$\frac{V_u}{V_d} = \frac{19,751}{2511,609} = 0,01 \leq 1 \rightarrow \checkmark$ kesit yeterlidir.

Çelik Boru Enkesitli Destek Eleman/Betonarme Mesnet Birleşim Tasarımı

Birleşim Özellikleri,

Levha: $B = 820mm$ $N = 820mm$ $B_2 = 820mm$ $N_2 = 820mm$ $t_p = 40mm$

$F_y = 235N/mm^2$

Ankraj bulonu: 6M24 $h_e = 420mm$ yerleşim yarıçapı = 317,5mm $f = 256,86mm$

Kaynak: $w = 7mm$ $F_{exx} = 482N/mm^2$

Birleşime etkiyen kuvvetler: $P_r = 1460,013kN$ $M_r = 142,526kN.m$ $V_u = 19,751kN$

Beton basınç dayanımı: $f_c = 25Mpa$

Levha yüzey alanı,

$$A = 820 \times 820 = 672400mm^2$$

Levha altındaki beton mesnet yüzey alanı,

$$A_2 = 820 \times 820 = 672400mm^2$$

(37) denklemi ile levhadaki birinci konsol boyu,

$$m = \frac{820 - 0.95 \times 450}{2} = 196,25mm$$

(38) denklemi ile levhadaki ikinci konsol boyu,

$$n = \frac{820 - 0.8 \times 450}{2} = 230mm$$

Beton maksimum gerilme değeri (39) ve (40) denklemleriyle,

$$f_{p,maks} = 0.65 \times 0.85 \times 25 \sqrt{\frac{672400}{672400}} = 13,812N/mm^2$$

$$f_{p,maks} = 1.7 \times 25 = 42,5N/mm^2$$

$$f_{p,maks} = Min(13,812; 42,5) = 13,812N/mm^2$$

Beton maksimum yayılı yük değeri (41) denklemi ile hesaplanarak,

$$q_{maks} = 13,812 \times 820 = 11326,25N/mm$$

Dış merkezlik (42),

$$e = \frac{142,526}{1460,013} = 0,0976m = 97,62mm$$

Kritik dışmerkezlik (43),

$$e_{cr} = \frac{820}{2} - \frac{1460013,06}{2 \times 13,812 \times 820} = 345,547mm$$

Y değeri denklem (44) ile,

$$e \leq e_{cr} \rightarrow Y = 820 - 2 \times 97,62 = 624,761mm$$

(46) ile hesaplanan taban levhası altında betonda oluşan gerilme,

$$f_p = \frac{1460013,06}{820 \times 624,761} = 2,85N/mm^2$$

(47), (48) ile levha boyutunun yeterliliği ve beton ezilme kontrolü,

$$\left(256,86 + \frac{820}{2}\right)^2 = 444698,925 \geq \frac{2 \times 1460013,06(97,62 + 256,86)}{11326,25} = 91387,892 \checkmark$$

$$\frac{2,85}{13,812} = 0,206 \leq 1 \checkmark$$

Levha boyutları yeterlidir.

(50) denklemiyle taban levhası için gerekli kalınlık,

$$t_{p,gerekli} = 1.49 \times 196,25 \sqrt{\frac{2,85}{235}} = 32,2mm$$

(52) denklemiyle taban levhası için gerekli kalınlık,

$$t_{p,gerekli} = 1.49 \times 230 \sqrt{\frac{2,85}{235}} = 37,74mm$$

Gerekli taban plakası kalınlığı,

$$t_{p,gerekli} = Mak(32, 2; 37, 74) = 37,74mm$$

(55) ile levha kalınlığının kontrolü,

$$\frac{37,74}{40} = 0,94 \leq 1 \checkmark \text{ Levha kalınlığı yeterlidir.}$$

Ankraj çapı $d = 24mm \geq 22mm \checkmark$

Minimum gömülme derinliği,

$$h_{e,min} = 15 \cdot d = 15 \times 24 = 360mm$$

$h_e = 420mm \geq h_{e,min} = 360mm \checkmark$ ankraj gömülme derinliği yeterlidir.

(72) denklemiyle kaynak uzunluğu,

$$L_e = \pi \times 450 = 1413,717mm$$

(73) eşitliği ile kaynak tasarım kapasitesi elde edilir.

$$R_{nw} = 0.75 \times 0.60 \times 0.9 \times 482 \times 7 \times (1413,717 - 2 \times 7) = 1912670,87N$$

$$\frac{V_u}{R_{nw}} = \frac{19750,892}{1912670,871} = 0,01 \leq 1 \checkmark \text{ kaynak kesme kapasitesi yeterli.}$$

Kaynak plastik mukavemeti (74) denklemiyle,

$$W_{p,w} = \pi \times 450^2 \times 7 = 4453207,586mm^3$$

Kaynak eğilme kapasitesi (75) denklemiyle,

$$M_{p,w} = 4453207,586 \times 0.6 \times 0.9 \times 482 = 1159080870,605N.mm$$

$$\frac{M_{r,u}}{M_{p,w}} = \frac{142525754}{1159080870,605} = 0,123 \leq 1 \checkmark \text{ kaynak eğilme kapasitesi yeterli.}$$

Kaynakça

- [1] ACI-318M 08 Building Code Requirements for Structural Concrete, *American Concrete Institute*,
- [2] AISC Steel Design Guide 1 Base Plate and Anchor Rod Design, *Fisher J. M. and Kloiber L. A*, American Institute of Steel Construction.
- [3] ANSI/AISC 358-16 Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, *American Institute of Steel Construction*, Chicago, Illinois, USA, 2016.
- [4] Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Uygulama Kılavuzu, *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, 2017.
- [5] Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları, *T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı*, Ankara, 2022.