

طراحی سیر درق:

یادآوری:

کنترل مناسبت براساس سیمانت:

$$S_x = \frac{I_x}{h/2}, \quad Z = \frac{I_x}{h/2} \quad \text{نسبت}$$

① سیم

② سیم منحنی - جانبی

③ سیم منحنی درق

$$h_o = \text{فاصله دوطرفی درق}$$

$$\text{کنترل سیم منحنی} \left\{ \begin{array}{l} \frac{b}{t_f} < 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{h}{t_w} < 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \end{array} \right. \quad \text{شرط قدری بیل دای}$$

$$\text{کنترل سیم منحنی} \left\{ \begin{array}{l} L_b < L_p \quad M_n = M_p = Z F_y \\ L_p < L_b < L_r \quad M_n = C_b [M_p - [M_p - 0.7 F_y S_x] \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}] \\ L_r < L_b \quad M_n = F_{cr} S_x \end{array} \right. \quad \text{شرط قدری درق}$$

$$F_{cr} = \frac{C_b R^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.578 \frac{J}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_r = 1.95 r_{st} \frac{E}{0.7 F_y} \times A \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + B}} \\ A = \sqrt{\frac{J}{S_x h_o}} \end{array} \right.$$

$$B = 6.76 \times \left(\frac{0.7 F_y}{E} \frac{S_x h_o}{J} \right)^2$$

سیر

مقاطع نیروی جدا دارای جان غیر مشرقه یا لاغری مشرقه

$$\lambda_{pw} = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \lambda_w = \frac{h}{t_w} < 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = \lambda_{rw} \quad \text{جان مشرقه} \quad (1)$$

حد غیر مشرقه

$$\frac{h}{t_w} > 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = \lambda_{rw} \quad \text{جان لاغری} \quad (2)$$

در صورت مقطع I شکل سفارین باشد و جان غیر مشرقه (یا جان مشرقه یا غیر مشرقه)

$$M_n = \min (M_{n1}, M_{n2}, M_{n3})$$

الف) حالت تسلیم: (M_{n1})

$$M_{n1} = R_p M_y$$

$$M_y = F_y S_x, \quad M_p = Z F_y$$

$$R_p = \frac{M_p}{M_y} - \left(\frac{M_p}{M_y} - 1 \right) \frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}}$$

$$\lambda_{pw} = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ن در مقطع I سقا}$$

$$\lambda_{rw} = 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

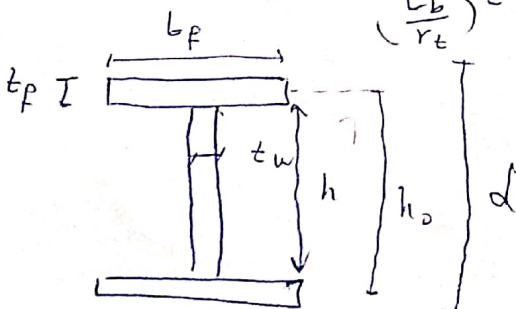
ب) حالت انحراف پستی - جانبی (M_{n2})

$$L_b < L_p \quad M_{n2} = M_{n1}$$

$$L_p < L_b < L_r \quad M_{n2} = C_b \left[M_{n1} - (M_{n1} - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] < M_{n1}$$

$$L_r < L_b \quad M_{n2} = F_{cr} S_x < M_{n1}$$

$$F_{cr} = \frac{0.6 \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2}$$



$$J = 2 \left(\frac{1}{3} b_f t_f^3 \right) + \frac{h t_w^3}{3}$$

$$r_t = \sqrt{\frac{I_y h_o}{2 S_x}} \approx \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{a_w}{6} \right)}}, \quad a_w = \frac{h t_w}{b_f t_f}$$

$$L_p = 1.0 \times r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$r_t = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(\frac{h_o}{J} + \frac{a_w}{6} \frac{h^2}{h_o d} \right)}} \quad \text{رابطه دقیق تر}$$

$$L_r = 1.95 r_t \frac{E}{0.7 F_y} \times A \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + B}}$$

$$A = \sqrt{\frac{J}{S_x h_o}}$$

$$B = 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E} \times \frac{S_x h_o}{J} \right)^2$$

(Mn3)

2. (ع) مندرجہ ذیل

$$(\lambda_f < \lambda_{pf})$$

مندرجہ ذیل:

$$M_{n3} = M_{n1}$$

$$\lambda_{pf} < \lambda_f < \lambda_{rf}$$

$$M_{n3} = R_p M_y - (R_p M_y - 0.7 F_y S_x) \times C$$

$$C = \frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}$$

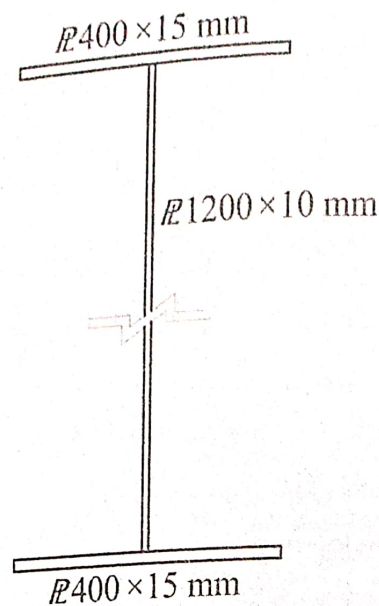
$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 t_f}, \quad \lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{rf} = 0.95 \sqrt{\frac{E k_c}{0.7 F_y}}$$

$$0.35 < k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} < 0.76$$

مثال ۱-۵: ظرفیت خمشی مقطع نشان داده شده در شکل ۴-۵ را تعیین کنید. مقدار C_b را برابر یک و فواصل تکیه گاه های جانبی را ۶ متر فرض کنید.

$$E = 2/0.4 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2, F_y = 3600 \text{ kg/cm}^2$$



شکل ۴-۵ - مقطع مثال ۱-۵

حل:

ابتدا شرایط فشردگی جان مقطع بر اساس روابط (۳-۵) و (۸-۵) کنترل می شود:

$$\lambda_w = \frac{120}{1} = 120, \lambda_{pw} = 3/76 \times \sqrt{\frac{2/0.4 \times 10^6}{3600}} = 89/5$$

$$\lambda_{rw} = 5/7 \sqrt{\frac{2/0.4 \times 10^6}{3600}} = 135/7$$

با توجه به این که $\lambda_{pw} < \lambda_w \leq \lambda_{rw}$ می باشد، جان غیر فشرده بوده و ظرفیت خمشی اسمی

آن به کمک رابطه (۴-۵) تعیین می شود. مشخصات هندسی مقطع شکل ۴-۵ بدین شرح است:

$$I_x = \frac{1 \times 120^3}{12} + 2 \times \left(\frac{40 \times 1/5^3}{12} + 40 \times 1/5 \times 60/75^2 \right) = 586890 \text{ cm}^4$$

$$S_x = \frac{586890}{61/5} = 9543 \text{ cm}^3 \Rightarrow M_y = 3600 \times 9543 = 343/5 \times 10^5 \text{ kg.cm}$$

$$Z = 2 \times (60 \times 1 \times 30 + 40 \times 1/5 \times 60/75) = 10890 \text{ cm}^3$$

$$\Rightarrow M_p = 3600 \times 10890 = 392 \times 10^5 \text{ kg.cm}$$

$$J = \frac{1}{3} (2 \times 40 \times 1/5 + 120 \times 1) = 13 \text{ cm}^4$$

$$h_o = 120 + 1/5 = 121/5 \text{ cm}, \quad d = 120 + 2 \times 1/5 = 122 \text{ cm}$$

$$a_w = \frac{120 \times 1}{40 \times 1/5} = 2$$

$$I_t = \frac{40}{\sqrt{12 \times \left(\frac{121/5}{122} + \frac{1}{6} \times 2 \times \frac{120^2}{121/5 \times 122} \right)}} = 10.9 \text{ cm}$$

بدین ترتیب، ظرفیت خمشی اسمی مقطع قابل محاسبه خواهد بود:

$$R_p = \frac{392}{343/5} - \left(\frac{392}{343/5} - 1 \right) \times \left(\frac{120 - 89/5}{135/7 - 89/5} \right) = 1.48$$

$$\Rightarrow M_{n1} = 1.48 \times 343/5 = 36 \text{ t.m}$$

$$L_p = 1/1 \times 10.9 \times \sqrt{\frac{2/0.4 \times 1.6}{3600}} = 264/2 \text{ cm}$$

$$L_r = 1/95 \times 10.9 \times \frac{2/0.4 \times 1.6}{0.7 \times 3600} \times \sqrt{\frac{130}{9543 \times 121/5}} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6/76 \times \left(\frac{0.7 \times 3600}{2/0.4 \times 1.6} \times \frac{9543 \times 121/5}{130} \right)^2}} = 918/6 \text{ cm}$$

با توجه به این که $L_p < L_b \leq L_r$ می باشد، ظرفیت خمشی اسمی بر اساس حالت حدی

کمانش پیچشی - جانبی بر مبنای رابطه (۵-۹-ب) محاسبه می شود.

$$M_{nr} = 1 \times \left[36 \times 1.5 - (36 \times 1.5 - 0.7 \times 3600 \times 9543) \times \left(\frac{600 - 264/2}{918/2 - 264/2} \right) \right]$$

$$= 298/6 \times 1.5 \text{ kg.cm}$$

کنترل شرایط فشردگی بال به کمک روابط (۵-۱۶) تا (۵-۱۹) انجام می گیرد:

$$\lambda_f = \frac{40}{2 \times 1/5} = 13/33, \quad \lambda_{pf} = 0.38 \times \sqrt{\frac{2/0.4 \times 1.6}{3600}} = 9/0.46$$

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{120}{1}}} = 0.3651 \Rightarrow \lambda_{rf} = 0.95 \sqrt{\frac{2/0.4 \times 1.6 \times 0.3651}{0.7 \times 3600}} = 16/33$$

نصل پنجم: طراحی تیورق‌ها

۴۱۵

با توجه به این که $\lambda_{pf} < \lambda_f \leq \lambda_{rf}$ می‌باشد، ظرفیت خمشی اسمی مقطع بر اساس حالت حدی کمانش موضعی بال به کمک رابطه (۵-۱۵-ب) تعیین می‌گردد.

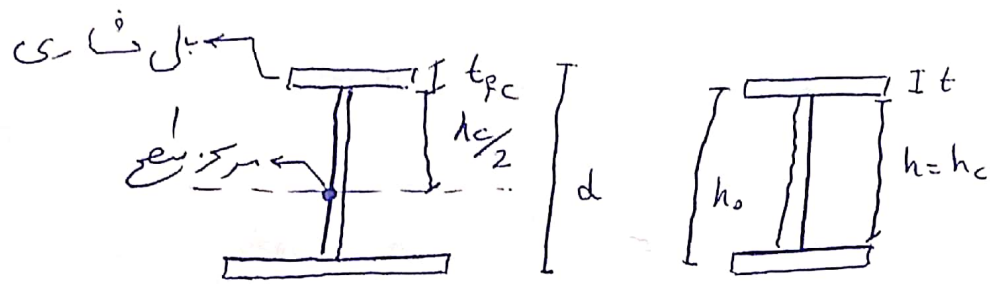
$$M_{n3} = 360 \times 10^5 - (360 \times 10^5 - 0.7 \times 3600 \times 9543) \times \left(\frac{13/33 - 9/0.46}{16/33 - 9/0.46} \right)$$

$$= 289/7 \times 10^5 \text{ kg.cm}$$

$$\text{رابطه (۴-۵): } M_n = \min(360, 298/6, 289/7) = 289/7 \text{ t.m}$$

$$\Rightarrow \text{رابطه (۲-۵): } M_u \leq 0.9 \times 289/7 = 260/7 \text{ t.m}$$

خرشتی قوسی شمع I شکل (مستطیل و دایره مستطیل) و جان لاغر



$$h_o = \text{فاصله وسط تا وسط تاپل}$$

$$h_c/2 = \text{فاصله مرکز شمع تا تاپل فشاری}$$

$$M_n = \min (M_{n1}, M_{n2}, M_{n3}, M_{n4})$$

الف) حالت حدی تسلیم تاپل فشاری

$$M_{n1} = R_{pg} M_{yc}$$

$$M_{yc} = F_y S_{xc}$$

$$S_{xc} = \frac{I}{\frac{h_c}{2} + t_{fc}}$$

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300 a_w} \left[\frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right]$$

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} < 1.0$$

ب) حالت حدی تسلیم تاپل کششی :

$$\text{اگر } S_{xt} > S_{xc} \rightarrow M_{n2} = M_{n1}$$

$$S_{xt} < S_{xc} \rightarrow M_{n2} = F_y S_{xt}$$

$$S_{xc} = \frac{I}{\frac{h_c}{2} + t_{fc}}$$

$$S_{xt} = \frac{I}{d - (\frac{h_c}{2} + t_{fc})}$$

حالت ۱: شش جایی =

$$M_{n3} = M_{n3} = R_{pg} F_{cr} S_{xc}$$

$$L_b < L_p \rightarrow F_{cr} = F_y$$

$$L_p < L_b < L_r \quad F_{cr} = C_b \left[F_y - 0.3 F_y \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y$$

$$L_r < L_b \quad F_{cr} = C_b \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_e} \right)^2} \leq F_y$$

$$r_e = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(\frac{h_o}{d} + \frac{1}{6} a_w \frac{h^2}{h_o d} \right)}}$$

$$L_p = 1.1 \times r_e \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad , \quad L_r = R r_e \sqrt{\frac{E}{0.7 F_y}}$$

حالت ۲: شش جایی =

$$\lambda_p < \lambda_{pf} \quad \text{آر}$$

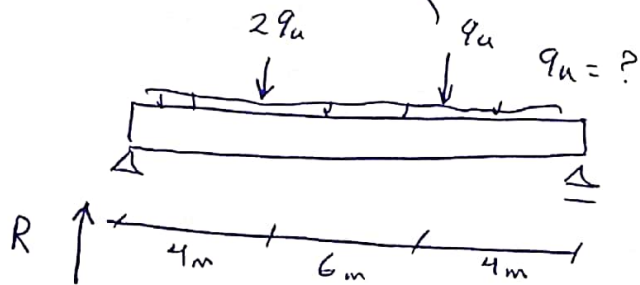
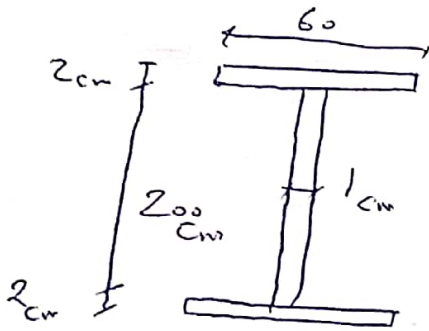
$$M_{n4} = M_{n4} = R_{pg} F_y S_{xc}$$

$$\lambda_{pf} < \lambda_f < \lambda_{rf} \quad \text{نیم جایی}$$

$$M_{n4} = \left[F_y - 0.3 F_y \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] R_{pg} S_{xc}$$

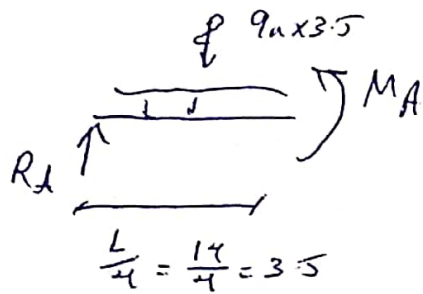
برای جایی لاغر است. تا این حد که برای این حالت

مسئله: است - تعیین حداکثر q_u (بار) =

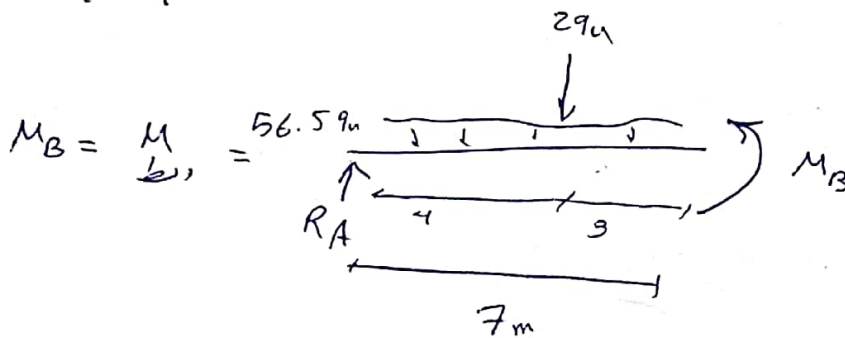


$$E = 2.04 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2, F_y = 24 \text{ kg/cm}^2$$

$$\left\{ \begin{aligned} M_u &= \frac{q_u L^2}{8} + 29u \times 4 \times 4 = 56.5 q_u, L = 14 \text{ m} \\ R_A &= \frac{q_u L}{2} + 29u = 15 q_u \end{aligned} \right.$$



$$M_A = R_A \times 3.5 - 9u \times \frac{3.5^2}{2} = 46.375 q_u$$



$$M_B = \frac{M}{2} = \frac{56.5 q_u}{2}$$

$$M_c = M_A$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_c} = 1.094$$

$$I_x = \frac{60 \times 2^3}{12} - \frac{59 \times 2^3}{12} = 3.115 \times 10^6$$

$$S_{xc} = S_{xt} = S_x = \frac{I}{h/2} = \frac{3.115 \times 10^6}{102} = 30539$$

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_f \times t_f} = \frac{200 \times 1}{60 \times 2} = 1.667 < 1.0$$

$$\frac{h_c}{2} = 100 \rightarrow h_c = 200$$

$$h_o = 200 + \frac{2}{2} + \frac{2}{2} = 202$$

$$r_t = \frac{b_f c}{\sqrt{12 \left(\frac{h_o}{d} + \frac{1}{6} a_w \frac{h^2}{h_o d} \right)}} = \frac{60}{\sqrt{12 \times \left(\frac{202}{204} + \frac{1}{6} \times 1.667 \times \frac{200^2}{202 \times 204} \right)}} =$$

$$r_t = 15.43$$

کسرل فشرگی جان

$$\frac{h_c}{t_w} = \frac{200}{1} = 200 > \lambda_{rw} = 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 166.2$$

حالت لاغز است

حالت تسلیم بال فشاری

$$M_{yc} = F_y S_{xc} = 2400 \times 30539 = 732.9 \times 10^5 \text{ Kg}\cdot\text{cm}$$

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300 a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right)$$

$$= 1 - \frac{1.667}{1200 + 300 \times 1.667} (200 - 166.2) = 0.9669$$

$$M_{n1} = R_{pg} M_{yc} = 0.9669 \times 732.9 = 708.6 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

حالت تسلیم بال کششی :

$$S_{xt} = S_{xc} \rightarrow M_{n2} = M_{n1}$$

3. کمر سببی جانبی

$$L_p = 1.1 \times r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 1.1 \times 15.43 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 494.8$$

$$L_r = R \times r_t \sqrt{\frac{E}{0.7 F_y}} = R \times 15.43 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1689$$

$$L_b = 1400$$

$$\rightarrow L_p < L_b < L_r \rightarrow F_{cr} = C_b \left[F_y - 0.3 F_y \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] < F_y$$

$$F_{cr} = 1.094 \times \left[2400 - 0.3 \times 2400 \left(\frac{1400 - 494.8}{1689 - 494.8} \right) \right]$$

$$= 2029 < 2400 \quad \checkmark$$

$$M_{n3} = R_{pg} F_{cr} S_{xc}$$

$$= 0.9669 \times 2029 \times 30539 = 599.1 \times 10^5 \text{ Kg Cm}$$

$$\lambda_P = \frac{b_P/2}{t_P} = \frac{60/2}{2} = 15 \quad \leftarrow \text{کمر سببی جانبی}$$

$$\lambda_{Pf} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11.07$$

$$\lambda_{rf} =$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{200}} = 0.28 < 0.35 \rightarrow k_c = 0.35$$

$$\lambda_{rf} = 0.95 \sqrt{\frac{0.35 \times 200 \times 10^6}{0.7 \times 21000}} = 19.58$$

$$\rightarrow \lambda_{Pf} < \lambda_P < \lambda_{rf} \quad \text{کمر سببی جانبی}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n4} &= \left[F_y - 0.3 F_y \left(\frac{\lambda_F - \lambda_{pf}}{\lambda_{rF} - \lambda_{pf}} \right) \right] R_{pg} S_{xc} \\
 &= \left[2400 - 0.3 \times 2400 \left(\frac{15 - 11.07}{19.58 - 11.07} \right) \right] \times 0.9669 \times 30539 \\
 &= 610.5 \times 10^5 \text{ kg.cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rightarrow M_{n1} &= M_{n2} = 708.6 \\
 M_{n3} &= 599.1 \\
 M_{n4} &= 610.5
 \end{aligned}
 \quad \rightarrow M_n = \min(M_{n1}, M_{n2}, M_{n3}, M_{n4})$$

$$= 599.1 \text{ t.m}$$

$$\rightarrow M_u = 0.9 M_n = 0.9 \times 599.1 \text{ t.m}$$

$$M_u = M_{max} = 56.5 \text{ kN} = 0.9 \times 599.1 \rightarrow$$

$$q_u = 4.543 \text{ t.m}$$