۱۰-۲-۷ الزامات طراحی اعضا برای ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی و ترکیب لنگر پیچشی با سایر نیروها

این بخش به الزامات طراحی اعضا تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی حول یکی از محورها یا هر دو محور با یا بدون لنگر پیچشی و نیز اعضای تحت اثر پیچش خالص می‌پردازد.

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد.

- ۱۰-۲-۷-۱ الزامات عمومی
- ۱۰-۲-۷-۲ اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی
- ۱۰-۲-۷-۳ اعضای با مقطع نامتقارن و سایر اعضا تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی
- ۱۰-۲-۷-۴ اعضای تحت اثر لنگر پیچشی و ترکیب پیچش، خمش، برش و با یا بدون نیروی محوری
- ۱۰-۲-۷-۵ گسیختگی بال‌های دارای سوراخ تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی

۱۰-۲-۷-۱ الزامات عمومی

طراحی این گونه اعضا بر اصولی استوار است که در بخش‌های قبلی این فصل ارائه شد. به عبارت دیگر، مباحث مطروحه در بخش‌های قبلی برای طراحی اعضا در برابر نیروی کششی، نیروی فشاری، لنگر خمشی و نیروی برشی و نیز الزامات تحلیل و طراحی برای تأمین پایداری و الزامات کمانش موضعی در طراحی این‌گونه اعضا مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۱۰-۲-۷-۲ اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی

۱۰-۲-۷-۲-۱ اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری

اثر توأم لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری حول یک یا هر دو محور x و y در اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن با محدودیت $۰/۱ \leq (I_{yc}/I_y) \leq ۰/۹$ که در آن I_y ممان اینرسی مقطع کل و I_{yc} ممان اینرسی بال فشاری حول محور ضعیف y می‌باشد، به شرح زیر تعیین می‌گردد:

الف) برای $\frac{P_u}{P_c} \geq ۰/۲$:

$$\frac{P_u}{P_c} + \frac{۸}{۹}\left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}}\right) \leq ۱/۰ \qquad (۱۰-۷-۲-۱)$$

ب) برای $\frac{P_u}{P_c} < ۰/۲$:

$$\frac{P_u}{۲P_c} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}}\right) \leq ۱/۰ \qquad (۱۰-۷-۲-۲)$$

که در آن:

P_u = مقاومت فشاری مورد نیاز

$\phi_c P_n = P_c$ = مقاومت فشاری طراحی

ϕ_c = ضریب کاهش مقاومت در فشار مساوی ۰/۹

M_{ux} = مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور قوی x

M_{uy} = مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور ضعیف y

$\phi_b M_{nx} = M_{cx}$ = مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور قوی x

$\phi_b M_{ny} = M_{cy}$ = مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور ضعیف y

ϕ_b = ضریب کاهش مقاومت برای خمش مساوی ۰/۹

۱۰-۲-۷-۲-۲ اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان لنگر خمشی و نیروی محوری کششی

اثر توأم لنگر خمشی و نیروی محوری کششی حول یک یا هر دو محور x و y در اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن با محدودیت $۰/۹ \geq (I_{yc}/I_y) \geq ۰/۱$ که در آن I_y ممان اینرسی مقطع کل و I_{yc} ممان اینرسی بال فشاری حول محور ضعیف y می باشد، به شرح زیر تعیین می‌گردد.

الف) برای $\frac{P_u}{P_t} \geq ۰/۲$:

$$\frac{P_u}{P_t} + \frac{۸}{۹}\left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}}\right) \leq ۱/۰ \qquad (۱۰-۷-۲-۳)$$

ب) $\frac{P_u}{P_t} < ۰/۲$:

$$\frac{P_u}{۲P_t} + (\frac{M_{ux}}{\mathrm{M_{cx}}} + \frac{M_{uy}}{\mathrm{M_{cy}}}) \leq ۱/۰ \qquad (۱۰-۷-۲-۴)$$

که در آن:

$\mathrm{P_u}$ = مقاومت کششی مورد نیاز

$\phi_t \mathrm{P_n} = \mathrm{P_t}$ = مقاومت کششی طراحی

ϕ_t = ضریب کاهش مقاومت در کشش (مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۳)

$\mathrm{M_{ux}}$ = مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور قوی x

$\mathrm{M_{uy}}$ = مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور ضعیف y

$\phi_b \mathrm{M_{nx}} = \mathrm{M_{cx}}$ = مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور قوی x

$\mathrm{M_{ny}}\ \phi_b = \mathrm{M_{cy}}$ = مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور ضعیف y

ϕ_b = ضریب کاهش مقاومت برای خمش مساوی ۰/۹

تبصره: برای اعضای دارای دو محور تقارن تحت اثر همزمان لنگر خمشی و نیروی محوری کششی، ضریب اصلاح کمانش پیچشی - جانبی (C_b) در بخش ۱۰-۲-۵ می‌تواند با ضریب $\sqrt{۱ + \frac{P_u}{P_{ey}}}$ افزایش یابد که در آن $\mathrm{P_{ey}}$ از رابطهٔ زیر تعیین می‌گردد.

$$P_{ey} = \frac{\pi^۲ EI_y}{L_b^۲} \qquad (۱۰-۷-۲-۵)$$

که در آن:

E = مدول الاستیسیته فولاد

$\mathrm{I_y}$ = ممان اینرسی حول محور ضعیف y

L_b = فاصلهٔ مهارهای جانبی در طول عضو

مراحل طراحی :

یادآوری : جهت طراحی ستون ←

$P_u < \Phi F_{cr} A_g$

$\frac{P_u}{\Phi F_{cr}} < A_g$ ⟶ انتخاب مقطع ⟶ کنترل مقطع

حدس ↕

$F_{cr} \simeq (0.5 \text{ تا } 0.75) F_y$

جهت طراحی تیر ←

$M_u < \Phi M_n = \Phi Z F_y$

فرض می کنیم ظرفیت پلاستیک برسد

⟶ $\frac{M_u}{\Phi F_y} < Z$ ⟶ انتخاب مقطع

برای تیر-ستون مقطع به صورت همزمان تحت اثر لنگر خمشی از پیش‌داری (مرده و زنده و زلزله) و نیز نیروی محوری است.

آیین نامه بیان می کند که :

اگر $\frac{P_u}{P_c} \geq 0.2$ ⟶ $\frac{P_u}{2P_c} + \frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \leq 1$

$\frac{P_u}{P_c} > 0.2$ ⟶ $\frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}}\right) \leq 1$

$P_c = \Phi P_n$ را در نظر بگیریم و طرفین نامساوی را در $\Phi_c P_n$ ضرب کنیم :

$= P_u + \frac{8}{9}\left(\frac{\Phi_c P_n}{\Phi M_{nx}}\right) M_{ux} + \frac{8}{9}\left(\frac{\Phi_c P_n}{\Phi M_{ny}}\right) M_{uy} = \Phi_c P_n = P_u$ معادل

Scanned by CamScanner

... صورت زیر قابل استفاده است:

$$P_{u,\text{معادل}} = P_u + 5.6\,\underbrace{M_{ux}}_{\text{خمش حول محور قوی}} + 1\tfrac{1}{4}\,\underbrace{M_{uy}}_{\text{خمش حول محور ضعیف}}$$

بنابراین جهت طراحی ←

گام اول: تعیین بار معادل $P_{u,\text{معادل}}$

" دوم ← حدس F_{cr}

" سوم ←

تعیین سطح مقطع

$$P_{u,\text{معادل}} < \phi F_{cr} A_g$$

$$\frac{P_{u,\text{معادل}}}{\phi F_{cr}} < A_g$$

گام چهارم ← کنترل مقطع: شامل تعیین ظرفیت محوری و خمشی مقطع و کنترل روابط طراحی تیر-ستون

Scanned by CamScanner

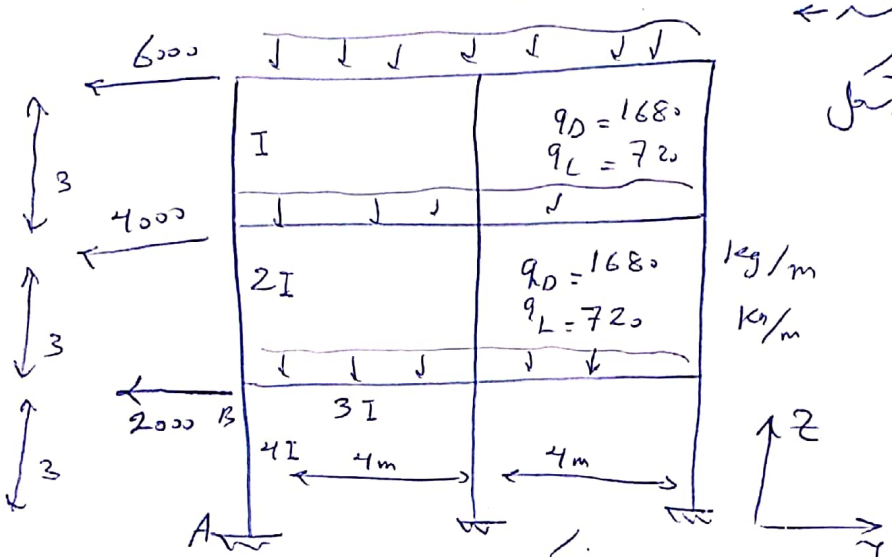
معلوم است طراحی تیر-ستون A-B از شاخ IPBL تحت اثر ترکیب بار

$1.2D + L + E_x$

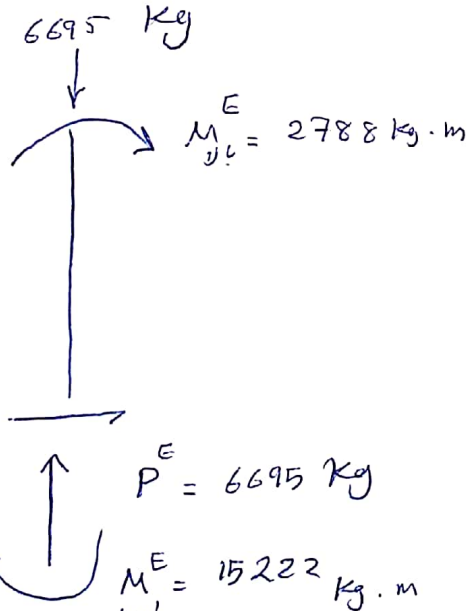
در صورتیکه بار زنده بصورت زیر باشد ←

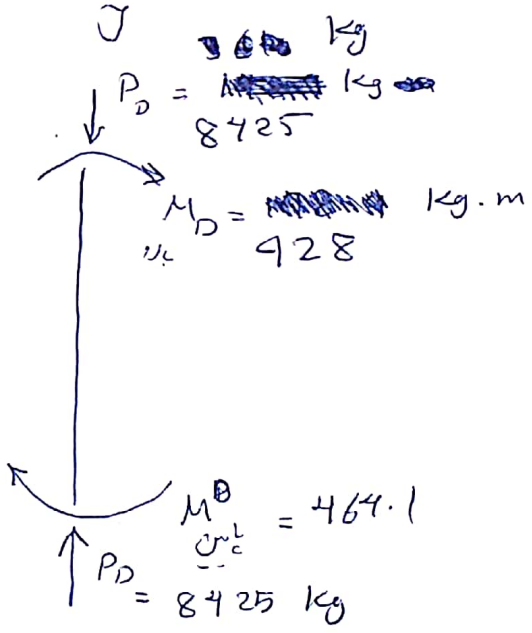
و نتایج تحلیل سازه به صورت شکل (۴) باشد

بار مرده به صورت زیر باشد ←

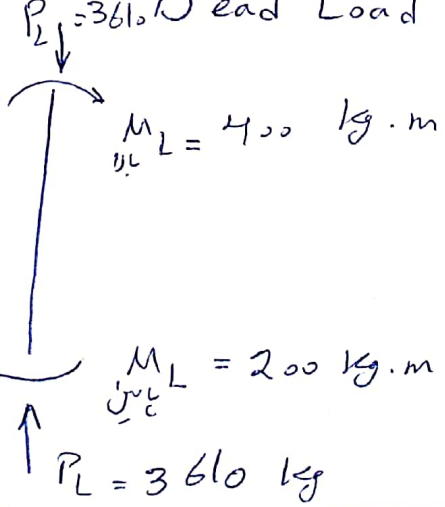


شکل (۱)





تحلیل سازه برای بار مرده



تحلیل سازه برای بار زنده

Live Load

تحلیل سازه ناشی از بار زلزله

Scanned by CamScanner

گام اول: محاسبه $P_{u,\text{معادل}}$

$$P_{u,\text{معادل}} = P_u + 5.6\,M_{u,x} + 14\,M_{u,y}$$

حول محور قوی — حول محور ضعیف

در این مسئله که دو بعدی در نظر گرفته شده است خرپا یک محوره داریم

$$P_u = 1.2\,P_D + P_L + P_E = 1.2 \times 8425 + 3610 + 6695 = \boxed{20415}\ \text{kg}$$

پایین $M_u = 1.2\,M_D + M_L + M_E = 1.2 \times 464 + 200 + 15222 = \boxed{16000}\ \text{kg.}$

بالا $M_u = 1.2\,M_D + M_L + M_E = 1.2 \times 928 + 400 + 2788 = \boxed{4301.6}\ \text{kg.m}$

با معادل را یکبار برای پایین و بار دیگر برای بالا بنویسید.

پایین $P_{u,\text{معادل}} = 20415 + 5.6 \times 16000 = 110\,000$ (16000)

$= [\text{illegible}]\ \text{kg}$

بالا $P_{u,\text{معادل}} = 20415 + 5.6 \times 4301.6 = 44504\ \text{kg}$

$\approx 44.5 \times 1000$

$P_{u,\text{معادل}} \approx 110\ \text{ton}$

نتیجه: پایین ستون بحرانی‌تر است.

طراحی: حدس $F_{cr} \simeq 0.70\,F_y =$ $\longrightarrow$ $\dfrac{P_u}{\phi F_{cr}} = \dfrac{110 \times 1000}{0.9 \times 0.7 \times 2400} = 73\ \text{cm}^2$

Scanned by CamScanner

— (a) IPBl 240 $A = 76.8$

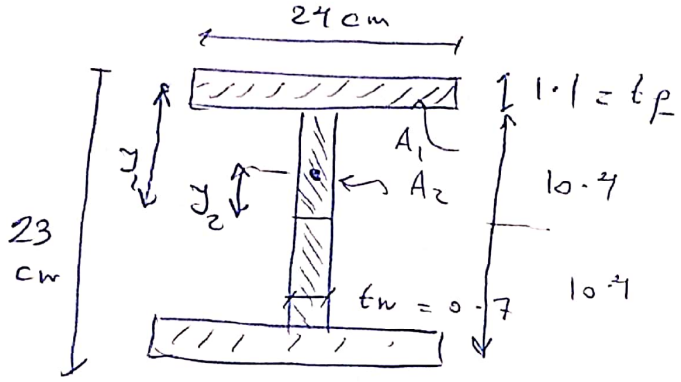
قوي $I = 776.$

ضعيف $I = 277.$

$r_x = 10.1$

$r_y = 6$

$h - 2c = 15.2\,cm$



$$Z_x = 2(A_1 y_1 + A_2 y_2)$$

$A_1 = 24 \times 1.1 = 26.4$

$y_1 = \frac{23}{2} - \frac{1.1}{2} = 10.95$

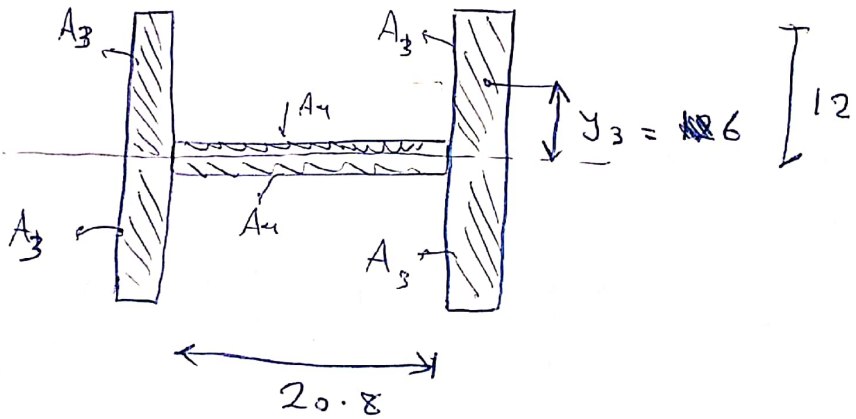
$A_2 = 0.7 \times 10.4 = 7.28$

ارتفاع الجزء = $23 - 2 \times 1.1 = 20.8$ بين جناحين

$y_2 = \frac{10.4}{2} = 5.2$

$$Z_x = 2(26.4 \times 10.95 + 7.28 \times 5.2) = 2 \times 327 = 654\ cm^3$$

$Z_y = ?$



$$Z_y = 4 \times A_3 y_3 + 2 A_4 y_4$$

$$= 4 \times (12 \times 1.1) \times 6 + 2\left(20.8 \times 0.7 \times \frac{0.7}{2} \times \frac{2}{3}\right)$$

$Z_y = 327$

Scanned by CamScanner

ص ۲۵ ب

۱۰ ton

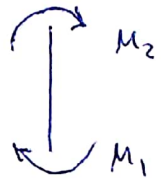
محاسبه تیرهای تشدید یافته:

۱) محاسبه ضریب β_1:

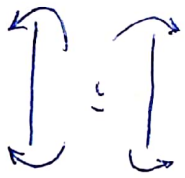
$$\beta_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_e}}$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

$|M_1| < |M_2|$



$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$



در اینجا حالت اول برقرار است:

$M_u = 1.2 M_D + M_L$

تا این = $1.2 \times 464.1 + 200 = 757$ kg.m

$M = 1.2 \times 928 + 400 = 1514$ kg.m بالا

$\rightarrow$ کوچکتر $M_1 = 757$, $M_2 = 1514$ $\rightarrow C_m = 0.6 - 0.4 \times \frac{757}{1514} = 0.4$

$P_u = 1.2 P_D + P_L + P_E = 20.415 \times 1000$ kg

$P_e = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6 \times 7760}{300^2} = 1787 \times 10^3$ kg

تبدیل به سانتیمتر کنید

$$\beta_1 = \frac{0.4}{1 - \frac{20.415}{1787}} = 0.4 < 1 \rightarrow \boxed{\beta_1 = 1}$$

Scanned by CamScanner

β_2 محاسبه ضریب

$$\beta_2 = \frac{1}{1 - \frac{P_{story}}{P_{e\,story}}}$$

$$P_{e\,story} = 0.85 \frac{HL}{\Delta_H}$$

P_{story} = 1.2 (کل بار مرده) + کل بار زنده

= 1.2 (بار مرده طبقه سوم + طبقه دوم + طبقه اول) + بار زنده طبقات

= 1.2 x (1260 x 8 + 1680 x 8 + 1680 x 8) + (540 + 720 + 720) x 8

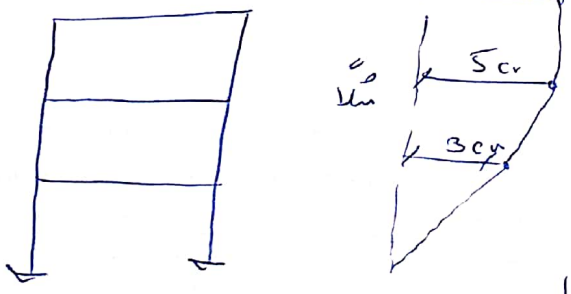
$P_{est.}$ = 60.192 x 1000 kg

$$P_e = \frac{HL}{\Delta_H} \times 0.85$$

H برش طبقات = 2000 + 4000 + 6000 = 12000 kg

L = ارتفاع طبقه = 3 m

Δ_H در نظر گرفتن دریفت نسبی



مثلا

Δ_H طبقه سوم = 6 - 5 = 1

Δ_H طبقه دوم = 5 - 3 = 2 cm

Δ_H طبقه اول = 3 - 0 = 3

در اینجا $\Delta_H = 0.0055 L$ در نظر گرفتیم.

$$P_e = \frac{12000 \times 3}{0.0055 \times 3} \times 0.85 = 1854.5 \times 1000 \text{ kg}$$

Scanned by CamScanner

$$\beta_2 = \frac{1}{1 - \frac{60.192}{1854.5}} = 1.034$$

بما تعريف بنت ←

$$P_u = P_{nt} + \beta_2 P_{lt}$$

$$M_u = \beta_1 M_{nt} + \beta_2 M_{lt}$$

$$P_{nt} = 1.2 P_D + P_L = 1.2 \times 8425 + 3610 = 13720$$

$$P_{lt} = 6695$$

$$\longrightarrow P_u = 13720 + (1.034) \times 6695 = 20643 \text{ kg}$$

بين $M_{nt} = 1.2 M_D + M_L = 1.2 \times 464.1 + 200 = 757$

$M_{lt} = 15222$

بين $M_u = \beta_1 M_{nt} + \beta_2 M_{lt}$

$= 1 \times 757 + 1.034 \times 15222 = 16496.5$

بـ $M_{nt} = 1.2 \times 428 + 400 = 1513.6$

$M_l = 2788 = 2788$

بـ $M_u = 1 \times 1513.6 + 1.034 \times 2788 = 4396.4$

$$\longrightarrow \begin{cases} P_u = 20.643 \times 1000 \text{ kg} \\ M_u = 16496.5 \text{ kg.m} \end{cases}$$

Scanned by CamScanner

کنترل ظرفیت ستون:

$P_u = 20.643 \times 10^3$ kg

$M_u = 16496.5$ kg.m

ستون ← IPBl 24.

$A = 76.8$		$b_f = 24$	
$I_{قوی} = 7760$		$t_f = 1.2$	
$I_{ضعیف} = 2770$		$t_w = 0.75$	
$r_{قوی} = 10.1$		$E = 2 \times 10^6$	$\nu = 0.3$
$r_{ضعیف} = 6$		$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$	
$h - 2c = 15.4$ cm		$C_w = 328500$	
$Z_x = 654$		$J = 41.8$	
$Z_y = 327$			

کنترل فشرده یا نیمه فشرده: ✓

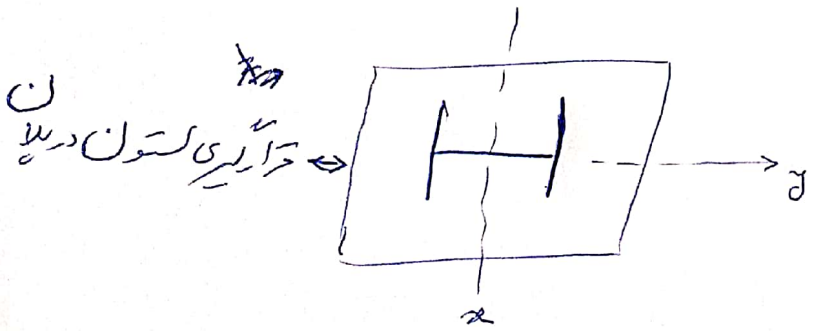
$E = 2 \times 10^6$

$F_y = 240$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{b_f/2}{t_f} = \dfrac{24/2}{1.2} = 10 < 0.38\sqrt{\dfrac{E}{F_y}} = 10.97 \\ \dfrac{h-2c}{t_w} = \dfrac{15.4}{0.75} = 21.9 < 3.76\sqrt{\dfrac{E}{F_y}} = 108.5 \end{array}\right\} \text{(1)}$$ ✓

✓

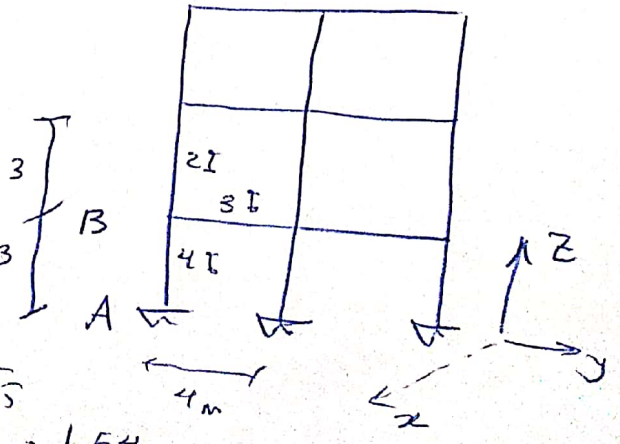
(2) محاسبه ظرفیت فشاری ستون P_c



$K_y = 1$ در صفحه خمش

$K_x =$ با توجه به شکل

تیر دارد $G_B = 1$



$$G_T = \frac{\frac{4I}{3} + \frac{2I}{3}}{\frac{3I}{4}} = \frac{8}{3}$$

$$K_x = \sqrt{\frac{1.6 \times 1 \times 8/3 + 4(1 + 8/3) + 7.5}{8/3 + 1 + 7.5}} = 1.54$$

Scanned by CamScanner

$$\lambda_x = \frac{K_x L}{r_x} = \frac{1.54 \times 300}{10.1} = 45.75 \rightarrow F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2} = 9430.8 \ kg/cm^2$$

$$\lambda_y = \frac{K_y L}{r_y} = \frac{1 \times 300}{6} = 50 \rightarrow F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2} = 7895.7 \ kg/cm^2$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + G J\right] \times \frac{1}{I_x + I_y} =$$

$$= \left[\frac{12^2 \times 2 \times 1.6 \times 3285 cm}{(1 \times 300)^2} + \frac{2 \times 1.6}{2.6} \times 41.8\right] \times \frac{1}{776.2 + 776.2}$$

$$F_{ez} = \left[72.05 \times 1.6 + 32.15 \times 1.6\right] = 9896 \ kg/cm^2$$

$$\rightarrow F_e = \min(F_{ex}, F_{ey}, F_{ez}) = 7895.7$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{2400}{7895.7} = 0.3 \ \underline{<} \ 0.44 \quad F_e > 0.44 F_y$$

$$\downarrow$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y = \left(0.658^{0.3}\right) \times 2400 = 2113.3$$

$$\rightarrow P_c = 0.9 F_{cr} A_g = 0.9 \times 2113.3 \times 76.8 = 146 \ ton$$

$$P_c = \phi P_n = P_u = 146$$

$$P_u = 20.643 \ ton$$

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{20.643}{146} = 0.14 < 0.2$$

Scanned by CamScanner

یادآوری $\frac{P_u}{P_c} < 0.2 \longrightarrow \frac{P_u}{2P_c} + \frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} < 1$

$\frac{P_u}{P_c} > 0.2 \longrightarrow \frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}}\right) < 1$

با فرض اینکه $\frac{P_u}{P_c} = 0.14$ از فرمول اول باید استفاده شود.

$M_{cx} = ?$

$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 6 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} = 305$

طول مهاربند ستون $L_b = 300$

$\longrightarrow L_b < L_p \longrightarrow M_n = ZF_y = 654 \times 2400 = 15.696$ ton.m

$\longrightarrow M_c = \phi M_n = 0.9 \times 15.695 = 14.126$ ton.m

$\longrightarrow P_u = 20.643$ ton ، $P_c = 146$

$M_u = 16.497$ ton.m ، $M_c = 14.126$

$\longrightarrow \frac{P_u}{2P_c} + \frac{M_{ux}}{M_{cx}} = \frac{20.643}{2 \times 16.497} + \frac{16.497}{14.126}$

$= 0.074 + 1.168 = 1.24$

یعنی ستون 24 درصد مضعف است باید مقطع قوی‌تری انتخاب کرد.

(پایان)

اگر $L_p > L_b$ باشد نیز چک شود، ادامه مباحث...

Scanned by CamScanner