

دانشگاه یزد

# طراحی سازه های فولادی ۱

مبحث ششم:

## طراحی تیرستون

مدرس: دکتر محمد رضا میر جلیلی

نیمسال اول ۱۴۰۳-۰۳

توجه: این درنامه برگرفته از جزوه جناب آقای دکتر رحیمی و کتاب طراحی سازه های فولادی (جلد ششم) دکتر ازهری و دکتر میرقادی می باشد. جهت رعایت حقوق ناشر و مولفان لازم است که دانشجویان محترم این کتاب را تهیه کنند. در غیر این صورت مجاز به چاپ و انتشار صفحات کتاب نمی باشند.

مقاومت اندرکنشی نیروی محوری - لنگر خمشی

\* طراحی اعضای تحت اثر نیروی محوری کششی و لنگر خمشی

$$\text{اگر } \frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0.2 \quad \frac{P_u}{2\phi P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1$$

$$\text{اگر } \frac{P_u}{\phi P_n} > 0.2 \quad \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

$M_{ux}, M_{uy}, P_u$  به ترتیب نیروی محوری کششی، لنگر خمشی حول محور  $x$ ، حول محور  $y$

تقاطع بدون محسوس ترین دوم می باشد.

$P_n$ : مقاومت کششی تقاطع،  $\phi P_n = 0.9 A_g f_y$

$M_n$ : مقاومت خمشی تقاطع براساس فرض

\* طراحی اعضای تحت اثر نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی (تیرستون‌ها)

$$\text{اگر } \frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0.2 \quad \frac{P_u}{2\phi P_n} + \frac{M_{rx}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi M_{ny}} \leq 1$$

$$\text{اگر } \frac{P_u}{\phi P_n} > 0.2 \quad \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

$M_{rx}, M_{ry}, P_u$  به ترتیب نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی حول  $x$ ،  $y$  تقاطع با محسوس ترین دوم

روش های تحلیل سازه های فولادی

۱- روش تحلیل مستقیم

- مستطور نمودن P-Δ, P-δ (بر مبنای روش)
- ضریب طول مؤثر ستون ها  $K=1$
- سختی خمشی EI ستون کاهش یابد:  $(EI)^* = \gamma_b EI$

$$\gamma_b = \begin{cases} P_u / A_g f_y \leq 0.5 \rightarrow \gamma_b = 1 \\ P_u / A_g f_y > 0.5 \rightarrow \gamma_b = 4 \frac{P_u}{A_g f_y} \left( 1 - \frac{P_u}{A_g f_y} \right) \end{cases}$$

- اعمال بارهای خیالی انحنای در لحظات برای در نظر گیری نواقص هندسی (مجموع بارهای فعلی طبقه i:  $\gamma_i$ )
- $N_i = 0.002 \gamma_i$

۲- روش طول مؤثر

- مستطور نمودن P-Δ, P-δ (بر مبنای روش)
- ضریب طول مؤثر ستونها و سختی خمشی ستون ها (بدون کاهش مصالح)
- اعمال بارهای خیالی انحنای
- $N_i = 0.002 \gamma_i$

۳- روش تحلیل مرتبه اول

- نقطه برش سازه ها دارای  $B_2 \leq 1.5$  ,  $\frac{P_u}{A_g f_y} < 0.5$
- اثر P-δ با ضریب تعدیل  $B_1$
- طول مؤثر ستونها همگی  $K=1$
- به طبع ترکیب بارها، بارهای خیالی انحنای زیاده اضافه نشود.
- $N_i = \max(2.1 \gamma_N \gamma_i, 0.0042 \gamma_i)$
- $\gamma_N$  حداکثر مقدار در رینت  $\frac{A}{h}$  طبقه است و  $\gamma_N \leq 1$  باشد.

\* روش مستطور نمودن اثرات P-Δ, P-δ

۱- روش دقیق (من معادله در انتهای) تحلیل الاستیک مرتبه دوم

۲- روش الاستیک مرتبه دوم

۲- روش نیمه دقیق (کامپوزی): ضریب  $B_1$

۴- روش تقریبی (دو بین نامه): ضریب  $B_1$  ضریب  $B_2$

\* روش تجربی (آیین نامه ای) برای منظور کردن آثار مرتبه دوم P-Δ, P-δ  
 تعدید گنگر و نیروی محوری تحمیل مرتبه اول با ضرایب B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> انجام می شود:

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{qt}$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{qt}$$

M<sub>nt</sub>: گنگر خمشی عضو در مدلی که حرکت جانبی مقید شده است. (not lateral sway) ←  
 در سازه های نسبتاً متعارف، M<sub>nt</sub> گنگر حاصل از بارهای ثقلی ضریب در مدل اصلی است.  
 M<sub>qt</sub>: گنگر خمشی عضو در مدل مقید نشده حاصل از حرکت جانبی سازه (lateral sway)  
 در سازه های نسبتاً متعارف، M<sub>qt</sub> گنگر حاصل از بارهای جانبی (در مدل اصلی) است.

B<sub>1</sub> = ضریب تعدید ناشی از P-δ  
 B<sub>2</sub> = ضریب تعدید ناشی از P-Δ

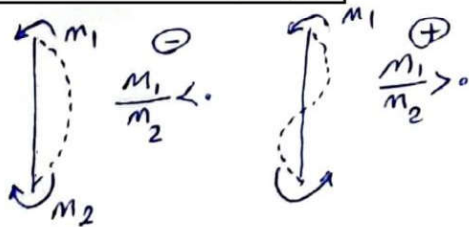
M<sub>r</sub>, P<sub>r</sub>: گنگر خمشی و نیروی محوری تعدید یافته معادل تحمیل مرتبه دوم.

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_{e1}}}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P_{story}}{P_{e,story}}}$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 \left( \frac{m_1}{m_2} \right) \quad \left| \frac{m_1}{m_2} \right| < 1$$

$$P_{e,story} = R_m \frac{V L}{\Delta}$$



V: برش طبقه  
 L: ارتفاع طبقه  
 Δ: جابجایی نسبی جانبی طبقه

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

$$R_m = \left( 1 - 0.15 \frac{P_{mf}}{P_{story}} \right)$$

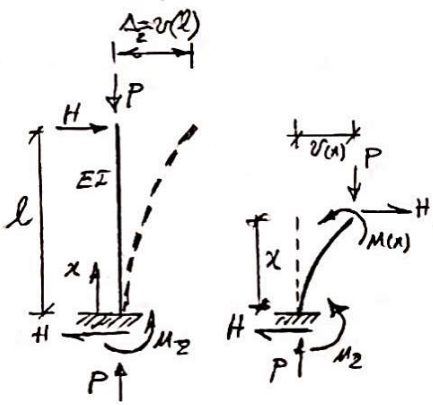
P<sub>u</sub>: نیروی محوری عضو تحمیل مرتبه دوم

P<sub>mf</sub> = مجموع بارهای قائم ستون ها قاعده طبقه

P<sub>story</sub> = مجموع بارها قائم ستون ها طبقه

R<sub>m</sub> = 0.85 (ناقص)، R<sub>m</sub> = 1.0 (تساوی)

$$P_{e,story} = \sum \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad \leftarrow \text{(ارائه دگر)}$$



$$\sum M_0 = 0 \quad M_2 + M(x) - P \cdot v(x) - H \cdot x = 0$$

$$M(x) = -EI v''(x) \quad , \quad \alpha^2 = \frac{P}{EI}$$

$$v''(x) + \alpha^2 v(x) = \frac{1}{EI} (M_2 - H \cdot x)$$

$$\begin{cases} v_h(x) = A_1 \sin \alpha x + A_2 \cos \alpha x & \text{حسب مکن} \\ v_p(x) = \frac{1}{P} (M_2 - H \cdot x) & \text{حسب خصوصی} \end{cases}$$

$$v(x) = A_1 \sin \alpha x + A_2 \cos \alpha x + \frac{1}{P} (M_2 - H \cdot x) \quad \rightarrow \begin{cases} v'(x) = A_1 \alpha \cos \alpha x - A_2 \alpha \sin \alpha x - \frac{H}{P} \\ v''(x) = -A_1 \alpha^2 \sin \alpha x - A_2 \alpha^2 \cos \alpha x \end{cases}$$

$$\text{at } x=0 \quad \begin{cases} v(0) = 0 \Rightarrow A_2 + \frac{M_2}{P} = 0 \Rightarrow A_2 = -\frac{M_2}{P} \quad (1) \\ v'(0) = 0 \Rightarrow A_1 \alpha - \frac{H}{P} = 0 \Rightarrow A_1 = \frac{H}{P \cdot \alpha} \quad (2) \end{cases} \quad \text{اعمال شرط مرزی:}$$

$$\text{at } x=l \quad \begin{cases} M(l) = 0 \Rightarrow -EI v''(l) = 0 \Rightarrow -A_1 \sin \alpha l - A_2 \cos \alpha l = 0 \Rightarrow \frac{A_2}{A_1} = -\frac{\tan \alpha l}{1} \quad (3) \end{cases}$$

$$A_2 = -\frac{H \cdot \tan \alpha l}{P \cdot \alpha} \quad , \quad M_2 = \frac{H}{\alpha} \tan \alpha l \quad \rightarrow (1), (2)$$

$$v(x) = \frac{H}{P} \left\{ \frac{1}{\alpha} \sin \alpha x - \frac{\tan \alpha l}{\alpha} \cos \alpha x + \frac{\tan \alpha l}{\alpha} - x \right\}$$

تعیین جابجایی حداکثر:

$$\Delta_2 = v_{max} = v(l) = \frac{H}{P} \left\{ \frac{1}{\alpha} \sin \alpha l - \frac{\tan \alpha l}{\alpha} \cos \alpha l + \frac{\tan \alpha l}{\alpha} - l \right\} \Rightarrow v_{max} = \Delta_2 = \frac{H}{P} \left\{ \frac{\tan \alpha l}{\alpha} - l \right\}$$

تعیین مرتبه اول:

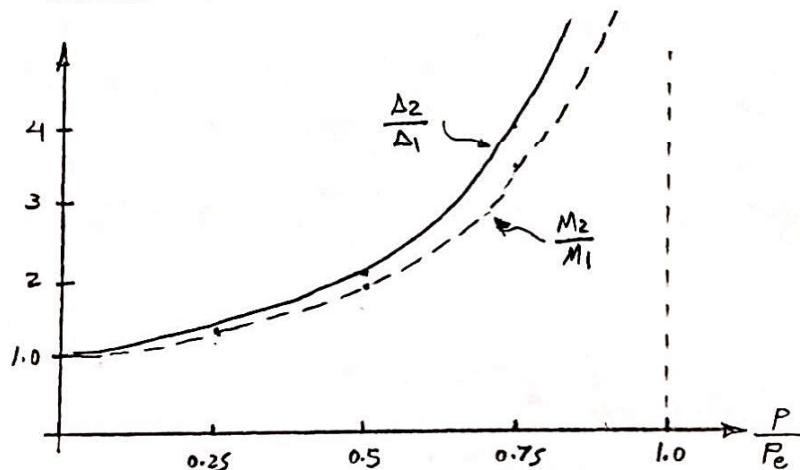
$$\frac{\Delta_2}{\Delta_1} = \frac{3}{(\alpha l)^2} \left\{ \frac{\tan \alpha l}{\alpha l} - 1 \right\} \quad \leftarrow \quad \Delta_1 = \frac{H \cdot l^3}{3EI} \quad \leftarrow \quad P_c = \frac{\pi^2 EI}{4l^2} \quad \rightarrow \quad \alpha l = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{P}{P_c}} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta_2}{\Delta_1} = \frac{3 \times 4}{\pi^2 (P/P_c)} \left\{ \frac{\tan \frac{\pi}{2} \sqrt{P/P_c}}{\frac{\pi}{2} \sqrt{P/P_c}} - 1 \right\}$$

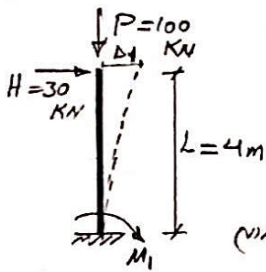
$$M_{max} = M(0) = M_2 = \frac{H}{\alpha} \tan \alpha l$$

تعیین گان حداکثر:

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{\tan \alpha l}{\alpha l} \quad \rightarrow \quad \frac{M_2}{M_1} = \frac{\tan \frac{\pi}{2} \sqrt{P/P_c}}{\frac{\pi}{2} \sqrt{P/P_c}} \quad \leftarrow \quad M_1 = H \cdot l$$

تعیین مرتبه اول:





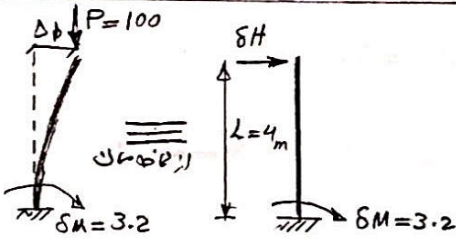
$E = 200,000 \text{ MPa}$  ,  $I = 1 \times 10^8 \text{ mm}^4$

مثال ۱. روش تکراری تحلیل P-Δ

$P_e = P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2} = 3084 \text{ kN}$

تحلیل مرتبه اول:  $\Delta_1 = 32 \text{ mm}$  ,  $M_1 = 120 \text{ kNm}$

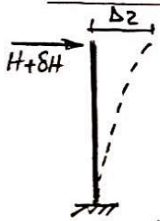
تحلیل مرتبه دوم:  $\frac{P}{P_e} = 0.0324 \Rightarrow \frac{\Delta_2}{\Delta_1} = 1.033 \rightarrow \Delta_2 = 33.06 \text{ mm}$  ,  $\frac{M_2}{M_1} = 1.0275$



$\delta M = P \times \Delta_1 = 100 \times \frac{32}{1000} = 3.2 \text{ kNm}$

تکرار اول:

$\delta H = \frac{\delta M}{L} = \frac{3.2}{4} = 0.8 \text{ kN}$



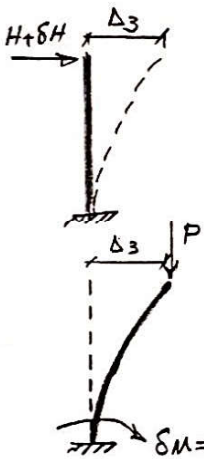
$H + \delta H = 30 + 0.8 = 30.8 \text{ kN}$

تکرار دوم:

$\Delta_2 = \frac{(H + \delta H) \cdot L^3}{3EI} = 32.85 \text{ mm}$

$\delta M = P \cdot \Delta_2 = 100 \times \frac{32.85}{1000} = 3.285 \text{ kNm}$

$\delta H = \frac{\delta M}{L} = 0.821 \text{ kN}$



$H + \delta H = 30 + 0.821 = 30.821 \text{ kN}$

تکرار سوم:

$\Delta_3 = \frac{(H + \delta H) \cdot L^3}{3EI} = 32.876 \text{ mm}$

$\delta M = P \cdot \Delta_3 = 100 \times \frac{32.876}{1000} = 3.2876$

$\delta H = \frac{\delta M}{L} = 0.822 \text{ kN}$

درجه یک با تمام عمل اصلاحات انجام شد  
↓  
پایان تکرار

$M_2 = M_1 + \delta M = 120 + 3.2876 = 123.2876$

تکرار تقریبی (تحلیل مرتبه دوم)

در نظر گرفتن P-Δ تکراری

(نسخه دقیق)

$\frac{M_2}{M_1} = 1.027$

$P_{story} = (1 - 0.15 \frac{P_{inf}}{P_{story}}) \times \frac{H \cdot L}{\Delta_H} = (1 - 0.15 \cdot \frac{100}{100}) \times \frac{30 \times 4000 \text{ mm}}{\Delta_0 = 32 \text{ mm}} = 3188 \text{ kN}$

$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P_{story}}{P_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{100}{3188}} = 1.032$

در مرحله قبل این نامه ایران دارک بکاس  $P_{story}$  بالا توانستیم از  $\sum P_{cr}$  ستون و طبقه استفاده کنیم

در این مثال:  $P_{story} = P_{cr} = 3084 \text{ kN} \rightarrow B_2 = \frac{1}{1 - \frac{100}{3084}} = 1.033$

مثال ۲. در مثال قبل اگر  $P=3000 \text{ KN}$  باشد، مقدار جدیداً حل کنید.

مستقیم قبل، از تحلیل مرتبه اول خارج:  $\Delta_1 = 32 \text{ mm}$  ،  $M_1 = H \cdot L = 120 \text{ KN.m}$   
 - تحلیل مرتبه دوم:  $\frac{P}{P_2} = 0.972 \rightarrow \frac{\Delta_2}{\Delta_1} = 35.2$  ،  $\frac{M_2}{M_1} = 29.15$  ← تحلیل مرتبه دوم

$$\delta M = P \cdot \Delta_1 = 3000 \times \frac{32}{1000} = 96 \text{ KN.m} \rightarrow \delta H = \frac{\delta M}{L} = 24 \text{ KN}$$

- تحلیل دوم:  $H + \delta H = 30 + 24 = 54 \text{ KN} \rightarrow \Delta_2 = 57.6 \text{ mm}$

$$\delta M = P \cdot \Delta_2 = 172 \text{ KN.m} \rightarrow \delta H = 43.2 \text{ KN}$$

- تحلیل سوم:  $H + \delta H = 30 + 43.2 = 73.2 \text{ KN} \rightarrow \Delta_3 = 78.08 \text{ mm}$

$$\delta M = P \cdot \Delta_3 = 234.2 \text{ KN.m} \rightarrow \delta H = 58.6 \text{ KN}$$

- تحلیل هفتم:  $H + \delta H = 30 + 117.3 = 147.3 \text{ KN} \rightarrow \Delta_{17} = 157.1 \text{ mm}$

$$\delta M = P \cdot \Delta_{17} = 471.4 \text{ KN.m} \rightarrow \delta H = 117.8 \text{ KN}$$

- تحلیل هیجدهم:  $H + \delta H = 30 + 117.8 = 147.8 \text{ KN} \rightarrow \Delta_{18} = 157.7 \text{ mm}$

$$\delta M = P \cdot \Delta_{18} = 473.1 \text{ KN.m} \rightarrow \delta H = 118.3 \text{ KN}$$

با توجه به تفاوت ناچیز  $\delta H$  تکثیرهای هفدهم و هیجدهم  $(118.3 - 117.8 = 0.5 \text{ KN})$  در یک سیمه؟  $H + \delta H = 147.8 \text{ KN}$

محاسبات تکثیر را متوقف می‌کنیم و داریم:

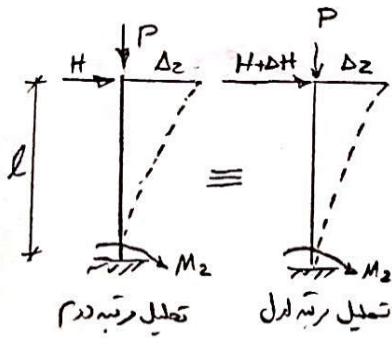
ناتسا از  $P$  اولی  
 $M_2 = M_1 + \delta M = 120 + 473.1 = 593.1 \text{ KN.m}$  (تکثیر تقریبی)؛ تحلیل مرتبه دوم تکثیر می‌کنیم (تقریباً)

$$\frac{M_2}{M_1} = 4.94$$

$$P_{\text{استیج}} = 3188 \text{ KN} \rightarrow B_2 = \frac{1}{1 - \frac{3000}{3188}} = 16.96$$

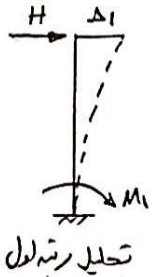
بر اساس در این تکی:

$$P_{\text{استیج}} = P_{\alpha} = 3084 \text{ KN} \rightarrow B_2 = \frac{1}{1 - \frac{3000}{3084}} = 36.7$$



$$\left. \begin{aligned} \text{برای موم} \quad M_2 &= H \cdot l + P \cdot \Delta_2 \\ \text{برای لول} \quad M_2 &= (H + \Delta H) \cdot l \end{aligned} \right\} \rightarrow \Delta H = \frac{P \cdot \Delta_2}{l} \quad (1)$$

توجه شود که  $\Delta_2$  مجهول است، برای تعیین  $\Delta_2$  شکل زیر را در حالت تحلیل مرتبه اول در نظر آوریم. با توجه به مقدار ضعیف سازه در تحلیل مرتبه اول و سازه دو شکل مربوط به تحلیل مرتبه اول داریم:



$$\frac{\Delta_2}{\Delta_1} = \frac{H + \Delta H}{H}$$

$$\Rightarrow \Delta_2 = \frac{H + \Delta H}{H} \cdot \Delta_1 = \left(1 + \frac{\Delta H}{H}\right) \Delta_1 \stackrel{(1)}{=} \left(1 + \frac{P \cdot \Delta_2 / l}{H}\right) \Delta_1$$

$$\Delta_2 = \left[ \frac{1}{1 - \frac{P \cdot \Delta_1}{H \cdot l}} \right] \Delta_1$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P \cdot \Delta_1}{H \cdot l}} = \frac{1}{1 - \frac{P_{ستون} \cdot \Delta H}{H \cdot l}} = \frac{1}{1 - \frac{P_{ستون}}{H \cdot l / \Delta H}} = \frac{1}{1 - \frac{P_{ستون}}{P_{ستون}}}$$

$$\Delta_2 = B_2 \cdot \Delta_1$$

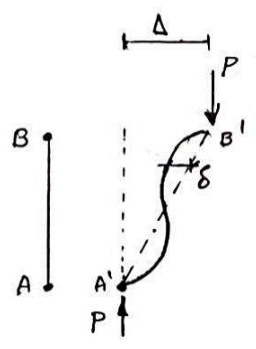
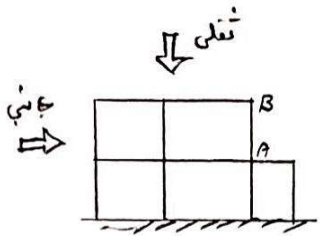
$$\frac{\Delta_2}{\Delta_1} = \frac{H + \Delta H}{H} = \frac{M_2}{M_1} \quad \text{با توجه به آنکه سازه در تحلیل مرتبه اول خطی است}$$

$$\Rightarrow \underline{M_2 = B_2 \cdot M_1}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P \cdot \Delta_1}{H \cdot l}} = \frac{1}{1 - \frac{100 \times 32 \text{ mm}}{30 \times 4000}} = 1.027 \quad (\text{همان نتیجه قبلی در تکرار}) \quad \text{برای مثال ۱}$$

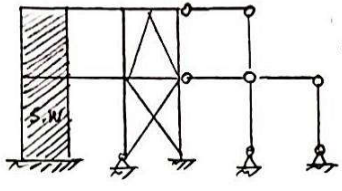
$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P \cdot \Delta_1}{H \cdot l}} = \frac{1}{1 - \frac{3000 \times 32}{30 \times 4000}} = 5.0 \quad (\text{تقریباً ۵، نتیجه در تکرار ۴.۹۴}) \quad \text{برای مثال ۲}$$



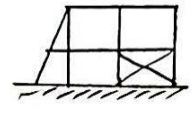


- در مطالب قبل اثر P-8 و P-5 بطور جداگانه بررسی شد.  
در سازه های واقعی با هر دو اثر سرکار در یک .  
بنابراین باید در تحلیل و طراحی سازه تاثیرات P-8 و P-5  
منظور شود.

تقسیم بندی ساختمانها



گروه اول : سازه هایی که عمده بارهای ثقلی توسط [ ستونها / قابها / دیوارها ] ای قائم عمل می شود



گروه دوم : سایر ساختمانها

روشهای تحلیل اثرات P-8 و P-5

- ۱) روش دقیق : حل معادله دینامیک - توسط نرم افزارهای بسیار خاص . در این روش اثرات P-8 و P-5 در مرحله تحلیل الاستیک مرتبه دوم اعمال می شود . این روش برای هر دو گروه قابل استفاده است .
- ۲) روش شبه دقیق : از جمله روش بار مصنوعی جانبی - توسط نرم افزارهای خاص . در این روش اثر P-8 در مرحله تحلیل ( الاستیک مرتبه دوم ) اعمال می شود و اثر P-5 در هنگام طراحی سازه توسط ضریب B<sub>1</sub> اعمال می شود . این روش برای هر دو گروه قابل استفاده است .
- ۳) روش تقریبی (بیوست 8 / AISC / بیوست 10) - در این روش سازه تحلیل مرتبه اول الاستیک می شود و سپس در مرحله طراحی اثر P-5 توسط ضریب B<sub>2</sub> و اثر P-8 توسط ضریب B<sub>1</sub> اعمال می شود . این روش فقط برای گروه اول مجاز است .

تحلیل و طراحی سازه برای تائین بادیاری (کل سازه و همه اجزای آن)

الف) شرایط لازم :

- ۱- همه تغییر شکل های (غشی ، برشی ، محوری و پیوستگی) اعضاء و اتصالات باید منظور شود .
- ۲- اثرات مرتبه دوم P-8 و P-5 باید منظور شود (از روش دقیق / شبه دقیق / تقریبی)
- ۳- نواقص هندسی مثل کجی و نامساخونی باید منظور شود
- ۴- کاهش سختی اعضا ناشی از رفتار غیر الاستیک (عمدتاً ناشی از تنش های پسماند) باید منظور شود .
- ۵- عدم اطمینان در برآورد سختی و مهارت باید منظور شود .

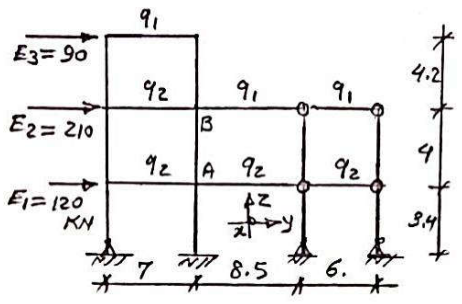
ب) روشهای مجاز : بیوست 10 و AISC روشهای لازم برای تحلیل و طراحی سازه برای تائین بادیاری مجاز می باشد :

روش اصلی I	روش تحلیل مستقیم	Direct Analysis Method of Design
روش حل اولی II	روش تحلیل مرتبه اول (بدون تائین)	روشهای جایگزین:
روش تحلیل مرتبه اول (بدون تائین) III	روش تحلیل مرتبه اول (بدون تائین)	
روش تحلیل غیر خطی مرتبه دوم IV	روش تحلیل غیر خطی مرتبه دوم	روشهای جایگزین:

$$\Delta_{2/1} = \frac{\text{مقدار تغییر در سختی سازه با تحلیل مرتبه دوم}}{\text{مقدار تغییر در سختی سازه با تحلیل مرتبه اول}}$$

- تعریف (تائین بادیاری)

مثال روش مستقیم



سرتن AB از سازه زیر بر روش مستقیم کنترل کنید. برای ترکیب Ey و Ez  $1.2D+L+0.2S+Ey$  سازه در ضربه xz بصورت گاب شماره ماربندی شده و  $Kp=1.0$  فرض شود

$$q_1 \begin{cases} D=60 \text{ KN/m} \\ Lr=12 \\ S=8 \end{cases} \quad q_2 \begin{cases} D=70 \\ L=40 \end{cases}$$

سازه ستونها طراز متصل IPBm-220  
فولاد مصرفی  $Fy=235 \text{ MPa}$

بار تقطبی ضریب بار

$$q_{u2} = 1.2 \times 70 + 40 = 124 \text{ KN/m} \quad , \quad q_{u1} = 1.2 \times 60 + 0.2 \times 8 = 73.6 \text{ KN/m}$$

تعیین بارهای خدایی :

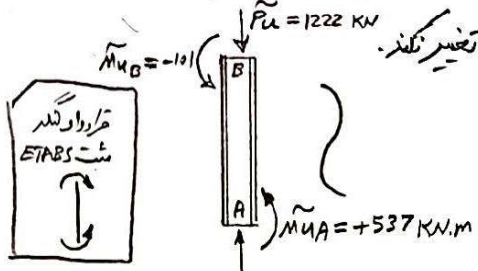
$$\begin{cases} N_3 = 0.002 Y_3 = 1.0 \text{ KN} \\ N_2 = 0.002 Y_2 = 3.9 \\ N_1 = 0.002 Y_1 = 5.3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} Y_3 = 73.6 \times 7 = 515.2 \text{ KN} \\ Y_2 = 124 \times 7 + 73.6 \times (8.5 + 6) = 1935.2 \text{ KN} \\ Y_1 = 124 \times 21.5 = 2666 \text{ KN} \end{cases}$$

کاهش سختی اعضا (انتخاب  $\tau_b$  متغیر).

$$\begin{cases} EA^* = 0.8 EA \quad \text{و} \quad (0.8 \times \text{تقسیم سختی}) \\ EI^* = 0.8 \tau_b EI \quad \text{سختی خمشی} \end{cases}$$

توجه: مقدار  $\tau_b$  تابعی از  $P_u$  (نیروی محوری عضو) است. بنابراین لازم است مراحل تحلیل سازه - تعیین  $P_u$  - تعیین  $\tau_b$  - تعیین  $\tau_b$  اصلاح سختی  $EI^*$  - تحلیل سازه - بصورت تکراری انجام شود، تا زمانی که تغییر  $\tau_b$  تغییر نکند.



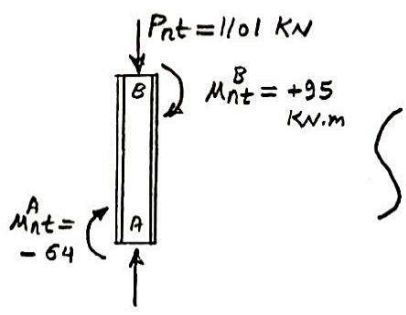
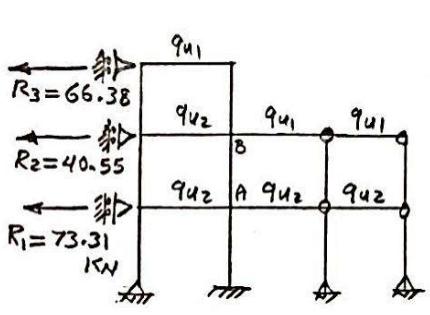
برای مثال نتایج آخرین تکرار تحلیل سازه برای سرتن AB بصورت زیر است:

[چون طراز است از روش تقریبی برای اعمال اثرات P- $\Delta$  و P- $\delta$  استفاده کنیم، تحلیل ساده بصورت مرتب‌الاول است و نتایج در مورد تادیر شده نیافته هستند]

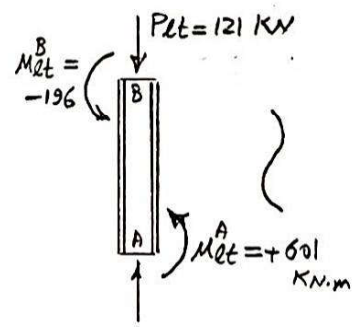
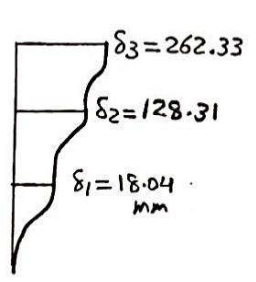
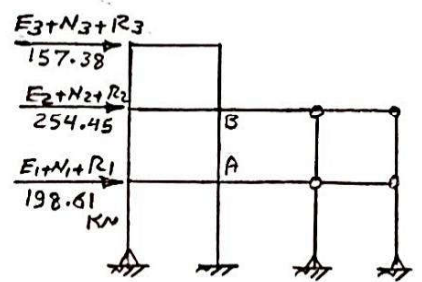
IPBm-220  $\rightarrow A_g = 9100 \text{ mm}^2$  ,  $P_y = F_y \cdot A_g = 2138.5 \text{ KN}$

$$\frac{P_u}{P_y} = \frac{1222}{2138.5} = 0.57 > 0.5 \rightarrow \tau_b = 4 \left( \frac{P_u}{P_y} \right) \left( 1 - \frac{P_u}{P_y} \right) = 0.98 \rightarrow EI^* = 0.8 \times 0.98 \times EI$$

IPBm-220  $\rightarrow I_x = 8090 \times 10^4 \text{ mm}^4 \rightarrow EI^* = 0.8 \times 0.98 \times (200,000) (8090 \times 10^4) \rightarrow EI^* = 1.269 \times 10^{13} \text{ N.mm}^2$



محاسبه  $M_{nt}$  و  $P_{nt}$   
نتیجه جدول برای سرتن AB:



محاسبه  $M_{nt}$  و  $P_{nt}$

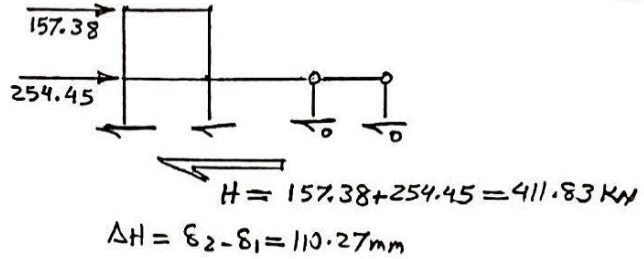
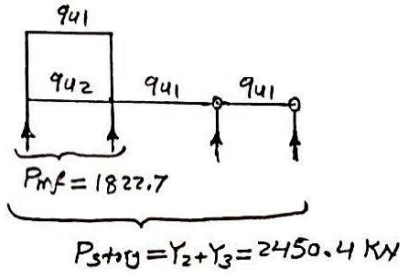
$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2} = 0.6 - 0.4 \left[ \frac{101}{537} \right] = 0.52$$

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 (EI^*)}{(K_1 L)^2} = 7825 \text{ KN}$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_{e1}}} = \frac{0.52}{1 - \frac{1222}{7825}} = 0.62 \neq 1.0$$

:  $B_1$  معاسیه

$B_1 = 1.0$

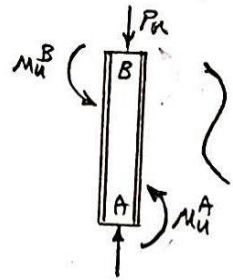


$$P_{estory} = \left( 1 - 0.15 \frac{P_{mf}}{P_{story}} \right) \frac{H \cdot L}{\Delta H} = 13272 \text{ KN}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P_{story}}{P_{estory}}} = 1.23 \rightarrow B_2 = 1.23$$

حسابات استوارت مورد نیاز (نیروی محوری و گشتاور خمشی) :

$$\begin{cases} P_u = P_{nt} + B_2 P_{et} = 1101 + 1.23 \times 121 = 1250 \text{ KN} \\ M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{et} \rightarrow \begin{cases} M_u^B = 1 \times 95 + 1.23(-196) = -146 \text{ KN.m} \\ M_u^A = 1 \times (-64) + 1.23(601) = +675 \end{cases} \end{cases}$$



کنترل ستون AB فولاد I (IPBm-220) ( $A = 9100 \text{ mm}^2$ ,  $r_x = 94.3 \text{ mm}$ ,  $r_y = 55.9 \text{ mm}$ ,  $Z_x = 827 \times 10^3 \text{ mm}^3$ )

$$\lambda_x = \frac{1.0 \times L}{r_x} = 42.4$$

$$\lambda_y = \frac{1.0 \times L}{r_y} = 71.6$$

$$\lambda_{max} = 71.6 \xrightarrow{\text{جدول}} F_{cr} = 182 \text{ MPa} \xrightarrow{\times A_g} P_n = 1656 \text{ KN} \xrightarrow{\times \phi_c = 0.9}$$

$$P_c = 1490.4 \text{ KN}$$

$$M_{ux} = M_{px} = F_y \cdot Z_x = 194.3 \text{ KN.m}$$

$$\phi_b = 0.9 \rightarrow M_{cx} = 174.9 \text{ KN.m}$$

فولاد I :  $M_{cx} = \phi_b \cdot M_{ux}$

...  $M_{cy} = \phi_b \cdot M_{ny}$

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{1250}{1490.4} = 0.84 > 0.2 \rightarrow \frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{ny}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$0.84 + \frac{8}{9} \left( \frac{675}{174.9} + \frac{0}{M_{cy}} \right) = 4.27 \neq 1.0 \text{ N.G.}$$

مثال روش طول موثر

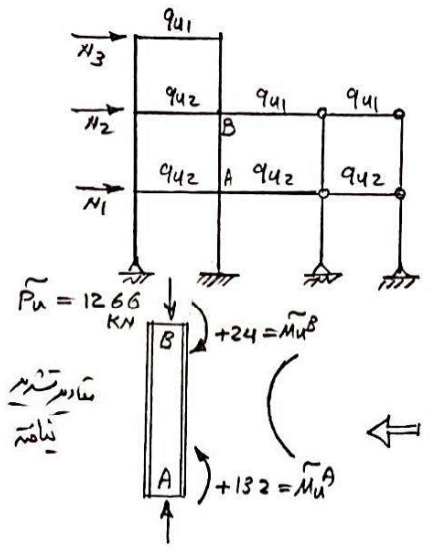
مثال در روش مستقیم با برای ترکیب بار (1.2D+1.6L+0.5Lr) حل کنید.

$$q_{u1} = 1.2 \times 60 + 0 + 0.5 \times 12 = 78 \text{ KN/m}$$

$$q_{u2} = 1.2 \times 70 + 1.6 \times 40 + 0 = 148$$

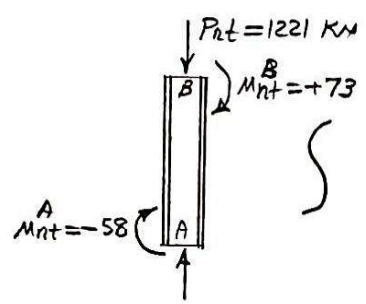
$$\begin{cases} Y_3 = 546 \text{ KN} \xrightarrow{\times 0.002} N_3 = 1.1 \text{ KN} \\ Y_2 = 2167 \rightarrow N_2 = 4.3 \\ Y_1 = 3182 \rightarrow N_1 = 6.4 \end{cases}$$

حساب بارهای جانبی

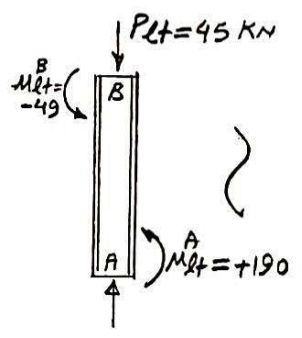


تحلیل مرتبه اول سازه تحت بارهای ثقلی ضربیبار و نیز های شکل بالا و درین کاهش سختی

تعیین P<sub>nt</sub> و M<sub>nt</sub>



تعیین P<sub>2t</sub> و M<sub>2t</sub>



حساب B<sub>1</sub>

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2} = 0.6 - 0.4 \frac{24}{132} = 0.67$$

$$2PFb_m - 220 \quad (I_x = 8090 \times 10^4 \text{ mm}^4) \rightarrow P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2} = 9981 \text{ KN}$$

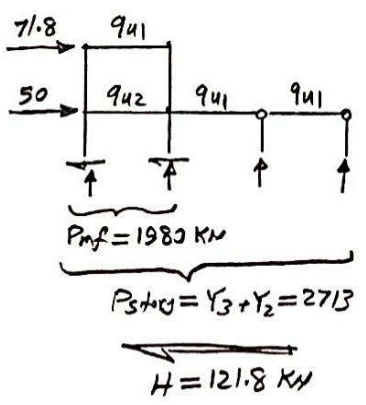
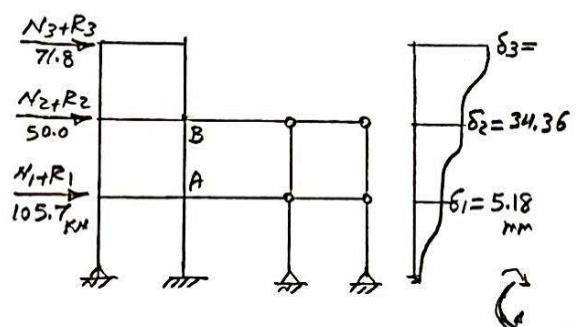
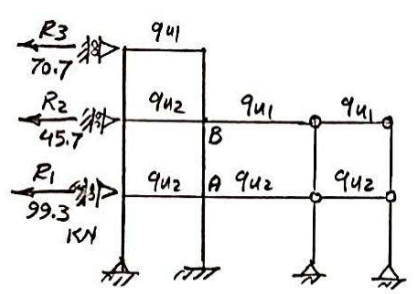
$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_{e1}}} = \frac{0.67}{1 - \frac{1266}{9981}} = 0.77 \neq 1.0 \rightarrow B_1 = 1.0$$

حساب B<sub>2</sub>

$$\Delta H = \delta_2 - \delta_1 = 29.18 \text{ mm}$$

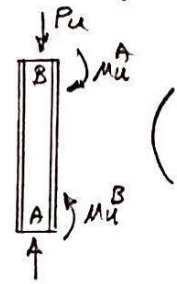
$$P_{e2nd} = \left(1 - 0.15 \frac{1980}{2713}\right) \frac{121.8 \times 4000}{29.18} = 14869 \text{ KN}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{2713}{14869}} \rightarrow B_2 = 1.22$$



— محاسبه تکیهات سازه (بررسی محاسباتی در کلاس) —

$$\begin{cases} P_u = P_{nt} + B_2 P_{et} = 1221 + 1.22 \times 45 = 1280 \text{ KN} \\ M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{et} \rightarrow \begin{cases} M_{ux}^B = 1 \times 73 + 1.22(-49) = +13.2 \text{ KN.m} \\ M_{ux}^A = 1 \times (-58) + 1.22(190) = +174 \end{cases} \end{cases}$$



— کنترل ستون در مقطع A — فولاد I

محاسبه ضرایب  $B_1$  و  $B_2$

$$B_2 = 1.22 > 1.0 \rightarrow \text{مورد دوم}$$

محاسبه  $P_c = \phi_c P_n$

$$\left. \begin{array}{l} G_A = 2.3 \\ G_B = 4.2 \end{array} \right\} \rightarrow K_x = 1.85 \rightarrow \lambda_x = \frac{1.85 L}{r_x} = 78.5 \rightarrow \lambda_{max} = 78.5$$

$$K_y = 1.0 \rightarrow \lambda_y = \frac{1.0 L}{r_y} = 71.6$$

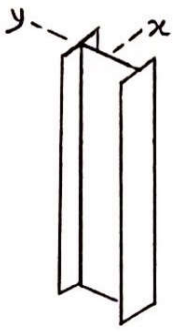
$$P_c = 1416.9 \text{ KN} \xleftarrow{\times \phi_c = 0.9} P_n = 1574.3 \text{ KN} \xleftarrow{\times A_g} F_{cr} = 173 \text{ MPa}$$

— محاسبه  $M_{cx}$  :  $M_{cx} = 174.9 \text{ KN.m}$  —

— محاسبه  $M_{cy} = \dots$  —

— کنترل :  $\frac{P_u}{P_c} = \frac{1280}{1416.9} = 0.90 > 0.2 \rightarrow \frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$

$$0.9 + \frac{8}{9} \left( \frac{174}{174.9} + \frac{0}{M_{cy}} \right) = 1.78 \neq 1.0 \text{ N.G.}$$



تیر مستوی با  $L = 3.6 \text{ m}$  با مقطع  $2PB_m-320$  از فولاد S235 ( $F_y = 235$ ) دارای  $M_F$

$K_x = 2.5$  ،  $K_y = 1.2$  و  $K_z = 1.0$  است. تکیه تحلیل مرتبه دوم عاریت های فشاری

و خمشی مورد نیاز برای ترکیب بارهای مختلف در مقطع بحرانی ستون ، عبارتست از :

$$1.2D + 1.6L \begin{cases} P_u = 1800 \text{ KN} \\ M_{ux} = 50 \text{ KN.m} \\ M_{uy} = 20 \text{ "} \end{cases} \quad 1.2D + L + F_x \begin{cases} P_u = 440 \\ M_{ux} = 65 \\ M_{uy} = 180 \end{cases} \quad 1.2D + L + E_y \begin{cases} P_u = 800 \\ M_{ux} = 300 \\ M_{uy} = 15 \end{cases}$$

مقطع تیر ستون را برای این ترکیب بارها کنترل کنید .

گام ۱) بارگذاری ، تحلیل ، ترکیب بارها ✓

گام ۱) تعیین ضوابط هندسی مقطع ← از مثال ۱

گام ۲) تعیین  $P_n = P_c$

- با کنترل نسبت میانه ضوابط افزای مقطع تیرین ← مقطع ستون تیر لانگراس است .

الف) تعیین  $P_n$  برای گمانش خمشی (و تسلیم)

$$\lambda_x = \frac{K_x \cdot L}{r_x} = 65.2 \quad \lambda_y = \frac{K_y \cdot L}{r_y} = 57.1 \quad \rightarrow \quad \lambda_{max} = 65.2 \xrightarrow{\text{جدول ۱۰۱}} F_{cr} = 190.1 \text{ MPa} \rightarrow P_n = F_{cr} \cdot A_g = 3060.6 \text{ KN}$$

ب) تعیین  $P_n$  برای گمانش پیچشی .

$$\tilde{F}_e = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z \cdot L)^2} + GJ \right] \frac{1}{(I_x + I_y)} = 1147.8 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{\tilde{F}_e} = 0.20 < 2.25 \rightarrow \tilde{F}_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{\tilde{F}_e} \right] F_y = 215.7 \text{ MPa} \rightarrow \tilde{P}_n = \tilde{F}_{cr} \cdot A_g = 3472.8 \text{ KN}$$

$$P_n = \text{Min} \{ 3060.6 \text{ و } 3472.8 \} = 3060.6 \xrightarrow{\phi_c = 0.9} \boxed{P_c = 2754.5 \text{ KN}}$$

گام ۳) تعیین  $M_n = M_c$

کنترل گمانش برضی ← بال در جان C ← جدول (۱-۲-۱) ← بند (۱-۲-۱) ← تبیین  $M_n$

$$M_{n1x} = M_{P_x} = F_y \cdot Z_x = 505 \text{ KN.m}$$

از مثال قبل  $L_b = L = 3600 \text{ mm} < L_p = 3887 \text{ mm} \Rightarrow M_{n2x} = M_{P_x}$   
فقط دو انشای ستون مقید است

$$\boxed{M_{c1x} = 454.5 \text{ KN.m}} \xrightarrow{\phi_b = 0.9} M_{n1x} = 505 \text{ KN.m}$$

$$\phi_b M_{ny} = M_{cy} \quad \text{تعیین (4)} \quad \text{---|---|---}$$

$$M_{ny} = M_{py} = F_y \cdot z_y \leq 1.6 F_y \cdot S_y \rightarrow M_{ny} = 220.7 \text{ KN.m} \quad \text{که به مثال قبل:}$$

$$M_{cy} = 198.6 \text{ KN.m} \quad \leftarrow \phi_b = 0.9$$

کام (5) کنترل

$$\begin{cases} P_u = 1800 \text{ KN} \\ M_{ux} = 50 \text{ KN.m} \\ M_{uy} = 20 \end{cases}$$

(I) برای ترکیب بار (1.2D + 1.6L)

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{1800}{2754.5} = 0.65 \geq 0.2$$

$$\frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \rightarrow \frac{1800}{2754.5} + \frac{8}{9} \left( \frac{50}{454.5} + \frac{20}{198.6} \right) = 0.84 \leq 1.0 \quad \text{O.K.} \checkmark$$

(II) برای ترکیب بار (1.2D + L + E\_x)

$$\begin{cases} P_u = 440 \text{ KN} \\ M_{ux} = 65 \text{ KN.m} \\ M_{uy} = 180 \end{cases}$$

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{440}{2754.5} = 0.16 < 0.2$$

$$\frac{P_u}{P_c} + \left( \frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \rightarrow \frac{440}{2 \times 2754.5} + \left( \frac{65}{454.5} + \frac{180}{198.6} \right) = 1.13 \not\leq 1.0 \quad \text{N.G.}$$

(III) برای ترکیب بار (1.2D + L + E\_y)

$$\begin{cases} P_u = 800 \text{ KN} \\ M_{ux} = 300 \text{ KN.m} \\ M_{uy} = 15 \end{cases}$$

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{800}{2754.5} = 0.29 \geq 0.2$$

$$\frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \rightarrow \frac{800}{2754.5} + \frac{8}{9} \left( \frac{300}{454.5} + \frac{15}{198.6} \right) = 0.94 \leq 1.0 \quad \text{O.K.} \checkmark$$

نتیجه: مقطع جوابگو نیست.

تمرین: با افزایش شماره مقطع به 2PBm-340 حل کنید.