

فهرست

فصل مقدمه (محاسبه تار خنثی پلاستیک و الاستیک)	۱
فصل اول: اعضای کششی	۹
فصل دوم: اعضای فشاری (شامل ستون‌های مختلط)	۲۱
فصل سوم: اعضای خمشی و مقاومت پیچشی مقاطع (شامل تیرهای مختلط)	۴۱
فصل چهارم: طراحی اعضا برای نیروی برشی	۸۱
فصل پنجم: الزامات بهره‌برداری	۹۷
فصل ششم: الزامات تامین پایداری و طراحی اعضا برای ترکیب نیروها	۱۰۳
فصل هفتم: طراحی اتصالات جوشی و پیچی	۱۰۹
فصل هشتم: الزامات بال و جان تحت اثر بارهای متمرکز	۱۳۳
فصل نهم: طراحی کف ستون‌ها و میل مهارها	۱۴۱
فصل دهم: مهاربندهای واگرا و تیرهای پیوند	۱۴۵
فصل یازدهم: انواع اتصالات گیردار از پیش تایید شده	۱۵۳
فصل دوازدهم: طراحی وصله‌ها	۱۵۹
فصل سیزدهم: ضوابط لرزه‌ای طراحی تیرها، ستون‌ها و مهاربندهای همگرا	۱۶۳
فصل چهاردهم: طراحی دیوار برشی‌های فولادی	۱۸۹

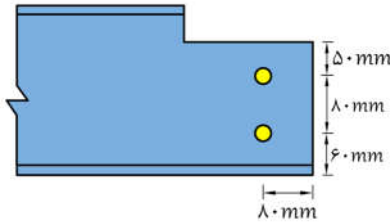
فصل اول

طراحی اعضای کششی



آزمون آذر ۱۳۹۲

تست ۱: مقاومت طراحی برش قالبی تیر نشان داده شده در شکل زیر در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ $(F_y = 240 \text{ MPa}$ و $F_u = 370 \text{ MPa})$ ، $t = 10 \text{ mm}$ ، $d = 20 \text{ mm}$ قطر سوراخ



(۱) ۳۳۵ kN

(۲) ۳۹۵ kN

(۳) ۵۲۵ kN

(۴) ۲۹۵ kN

✓ جواب: ۱ ۲ ۳ ۴

قطر محاسباتی سوراخ برابر ۲۲ mm خواهد بود.

دو مسیر محتمل برای برش قالبی وجود دارد که مسیر شماره ۱ بحرانی خواهد بود و داریم:

$$A_{nt} = 80t - 0.5Dt = 80 \times 10 - 0.5 \times 22 \times 10 = 690 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 130t - 1.5Dt = 130 \times 10 - 1.5 \times 22 \times 10 = 970 \text{ mm}^2$$

$$A_{gv} = 130 \times 10 = 1300 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 0.75 \times \min \left\{ 0.6F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \right. \\ \left. 0.6F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \right\} = 0.75 \times \min \left\{ 0.6 \times 370 \times 970 + 1 \times 370 \times 690 \right. \\ \left. 0.6 \times 240 \times 1300 + 1 \times 370 \times 690 \right\}$$

$$\phi R_n = 331.88 \text{ kN}$$

به عنوان تمرین مقدار نیروی فرضی برای گسیختگی قالبی، برای مسیر شماره ۲ را براساس حالت های حدی ممکن محاسبه نمایید.

تست ۲: تسمه‌ای به طول آزاد یک متر تحت اثر نیروی کششی ۷۰ kN قرار دارد. اگر پهنای تسمه ۵۰ mm و تنش تسلیم فولاد ۲۴۰

✓ جواب: ۱ ۲ ۳ ۴

کنترل تسلیم:

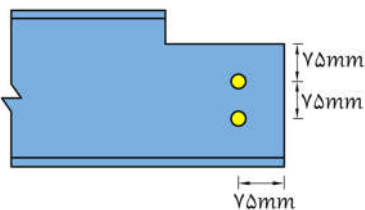
$$T_u \leq 0.9 \times F_y \times A_g = 0.9 \times 240 \times 50 \times t \rightarrow 70 \times 10^3 \leq 10800t \rightarrow t \geq 6.48 \text{ mm}$$

کنترل لاغری:

$$\frac{L}{r} \leq 300 \rightarrow \frac{1000}{\sqrt{\frac{12}{bt}}} = \frac{1000}{\sqrt{12}} \leq 300 \rightarrow t \geq 11.55 \text{ mm}$$

آزمون خرداد ۱۳۹۳

تست ۳: مقاومت برشی قالبی طراحی برحسب کیلونیوتن در محل اتصال تیر مقابل به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ فولاد از نوع ST۳۷ $(F_y = 240 \text{ MPa}$ و $F_u = 370 \text{ MPa})$ ، قطر سوراخ ۲۰ mm و ضخامت جان مقطع تیر نورد شده ۷/۵ mm است. واحد در شکل به میلی‌متر است.



(۱) ۳۸۰

(۲) ۳۴۰

(۳) ۲۸۵

(۴) ۲۵۰

جواب: ☐ ۱ ☐ ۲ ☐ ۳ ☒ ۴

$$A_{nt} = 75t - 0.5Dt = 75 \times 7.5 - 0.5 \times 22 \times 7.5 = 480 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 150t - 1/5Dt = 150 \times 7.5 - 1/5 \times 22 \times 7.5 = 877.5 \text{ mm}^2$$

$$A_{gv} = 150 \times 7.5 = 1125 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 0.75 \times \min \left\{ \begin{aligned} &0.6F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} = 0.75 \times \min \left\{ \begin{aligned} &0.6 \times 370 \times 877.5 + 1 \times 370 \times 480 \\ &0.6 \times 240 \times 1125 + 1 \times 370 \times 480 \end{aligned} \right. \end{aligned} \right.$$

$$\phi R_n = 254.7 \text{ kN}$$

آزمون آبان ۱۳۹۳

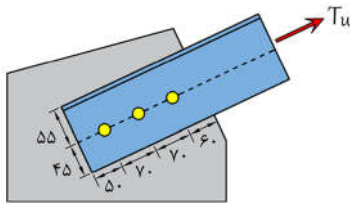
تست ۴: در اتصال یک عضو کششی به ورق اتصال از سه پیچ $M22$ استفاده شده است. عضو کششی از نبشی $100 \times 100 \times 10$ و سوراخ‌ها استاندارد هستند. ضخامت ورق اتصال 15 میلی‌متر است. مقاومت طراحی برش قالبی بر حسب کیلونیوتن به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ واحدهای روی شکل بر حسب میلی‌متر و فولاد مصرفی از نوع $ST37$ ($F_u = 370 \text{ MPa}$ و $F_y = 240 \text{ MPa}$)، است.

(۱) ۲۹۵

(۲) ۴۰۰

(۳) ۳۹۲

(۴) ۳۱۰



جواب: ☐ ۱ ☐ ۲ ☐ ۳ ☒ ۴

$$A_{nt} = 45t - 0.5Dt = 45 \times 10 - 0.5 \times 26 \times 10 = 320 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 190t - 2/5Dt = 190 \times 10 - 2/5 \times 26 \times 10 = 1250 \text{ mm}^2$$

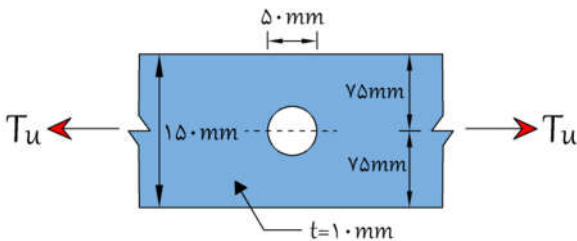
$$A_{gv} = 190 \times 10 = 1900 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 0.75 \times \min \left\{ \begin{aligned} &0.6F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} = 0.75 \times \min \left\{ \begin{aligned} &0.6 \times 370 \times 1250 + 1 \times 370 \times 320 \\ &0.6 \times 240 \times 1900 + 1 \times 370 \times 320 \end{aligned} \right. \end{aligned} \right.$$

$$\phi R_n = 294 \text{ kN}$$

آزمون مرداد ۱۳۹۴

تست ۵: حداکثر نیروی کششی نهایی قابل تحمل T_u ، توسط تسمه کششی سوراخ‌دار نشان داده شده در شکل زیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (فرض کنید طول تسمه نسبتاً زیاد بوده و فولاد مصرفی با $F_y = 240 \text{ MPa}$ و $F_u = 370 \text{ MPa}$ می‌باشد).



(۱) ۳۶۰ kN

(۲) ۳۲۰ kN

(۳) ۲۷۰ kN

(۴) ۲۲۰ kN

جواب: ☐ ۱ ☐ ۲ ☒ ۳ ☐ ۴

$$A_n = (150 - 52) \times 10 = 980 \text{ mm}^2 \rightarrow T_u < 0.75 \times F_u \times A_n = 0.75 \times 370 \times 980 \times 10^{-3} = 271.95 \text{ kN}$$

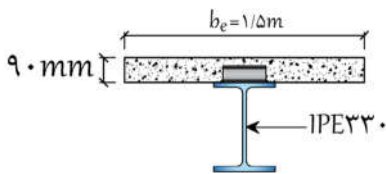
$$A_g = 150 \times 10 = 1500 \text{ mm}^2 \rightarrow T_u < 0.9 \times F_y \times A_g = 0.9 \times 240 \times 1500 \times 10^{-3} = 324 \text{ kN}$$

$$T_u = \min \left[(271.95) \text{ و } (324) \right] = 271.95 \text{ kN}$$

آزمون آبان ۱۴۰۳

تست ۷۶: در تیر مختلط دو سر ساده شکل زیر به طول L و تحت اثر بار گسترده یکنواخت q_u از ۲۴ عدد ناودانی $UNP60$ به طول 50 mm به عنوان برشگیر استفاده شده است. در خصوص این تیر مختلط کدام یک از عبارتهای زیر صحیح است؟ فرض کنید فاصله ناودانی‌ها از یکدیگر در محدوده مجاز قرار داشته و در فواصل مساوی در طول تیر توزیع شده‌اند.

$$F_y = 240\text{ MPa}, E = 10 \times 10^5\text{ MPa}, f'_c = 30\text{ MPa}, W_c = 2500\text{ kg/m}^3$$



(۱) بستگی به q_u دارد و ممکن است دارای عملکرد مختلط کامل یا ناقص باشد.

(۲) تیر دارای عملکرد مختلط ناقص است.

(۳) بستگی به طول تیر (L) دارد و ممکن است دارای عملکرد مختلط کامل یا ناقص باشد.

(۴) تیر دارای عملکرد مختلط کامل است.

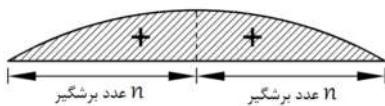
✓ جواب: ۴ ۳ ۲ ۱

$$V_h = \min \left\{ 0.185 \times 30 \times 90 \times 1500 \text{ و } 62/6 \times 10^2 \times 240 \right\} \times 10^{-3} = 150.2\text{ kN}$$

$$E_c = 0.43 W_c^{1/5} \sqrt{f'_c (\text{MPa})} = 0.43 \times 2500^{1/5} \times \sqrt{30} = 29440\text{ MPa}$$

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)l_a \sqrt{f'_c E_c} = 0.3 \times (6 + 0.5 \times 6) \times 50 \times \sqrt{30 \times 29440} \times 10^{-3} = 126/9\text{ kN}$$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{150.2}{126/9} = 11/8 \Rightarrow n = 12\text{ عدد}$$



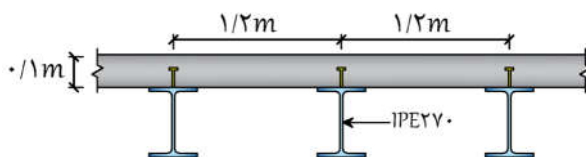
۱۲ عدد برشگیر در حد فاصل لنگر خمشی صفر و ماکزیمم برای عملکرد مختلط کامل مورد نیاز هست و چون تیر دوسر ساده هست دیاگرام لنگر خمشی آن به صورت شکل مقابل خواهد بود:

تعداد کل برشگیرهای مورد نیاز در کل طول تیر برای اینکه عملکرد مختلط کامل باشد برابر ۲۴ عدد است که این مقدار در طول استفاده شده است.

آزمون آبان ۱۴۰۳

تست ۷۷: در یک سازه فولادی با سقف مختلط با دال تخت از تیر آهن $IPE270$ به طول ۶ متر مطابق شکل زیر استفاده شده است. در صورت تامین عملکرد مختلط کامل، حداکثر فاصله گل‌میخ‌های به قطر ۱۶ میلی‌متر به عنوان برشگیر به کدام یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ فرض کنید تیر مختلط تحت اثر بار گسترده یکنواخت قرار دارد.

$$F_y = 235\text{ MPa و } f'_c = 25\text{ MPa و } E_c = 4/2 \times 10^4\text{ MPa و } F_u = 420\text{ MPa}$$



(۱) ۲۲۰ mm

(۲) ۱۶۰ mm

(۳) ۲۷۰ mm

(۴) ۳۰۰ mm

✓ جواب: ۴ ۳ ۲ ۱

$$b_e = \min \left\{ 1/2, \frac{f}{4} \right\} = 1/2\text{ m}$$

$$V_h = \min \left\{ 0.185 \times 25 \times 100 \times 1200 \text{ و } 45/9 \times 10^2 \times 235 \right\} \times 10^{-3} = 1078/65\text{ kN}$$

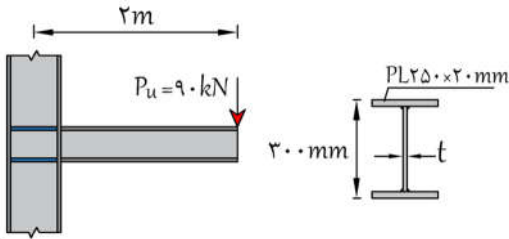
فصل هشتم

الزامات بال و جان تحت اثر بارهای متمرکز



آزمون آذر ۱۳۹۲

تست ۱: بخشی از یک سازه فولادی شامل یک ستون و تیر طره‌ای متصل به آن که برای حمل بار زنده متمرکز 90 kN طراحی شده، در شکل مقابل نشان داده شده است. در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، چشمه اتصال باید برای چه مقدار نیروی برشی مورد کنترل قرار گیرد؟ مشخصات مقطع برای تیر و ستون را یکسان و مطابق شکل در نظر گرفته و از وزن سازه صرف نظر نمایید.

(۱) $166/5 \text{ kN}$ (۲) 555 kN (۳) 45 kN (۴) 90 kN 

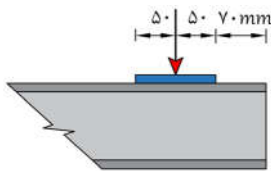
✓ جواب: ۱ ۲ ۳ ۴

$$M_u = 90 \times \left(2 - \frac{0.3}{2}\right) = 166/5 \text{ kN.m}$$

$$V = \frac{M_u}{d} = \frac{166/5}{0.3} = 555 \text{ kN}$$

آزمون آبان ۱۳۹۲

تست ۲: در صورتی که نیروی متمرکز مطابق شکل روی صفحه فولادی $100 \times 100 \times 20 \text{ mm}$ در نزدیکی انتهای آزاد تیر طره‌ای فولادی با مقطع $IPE200$ وارد گردد، مقاومت طراحی در برابر تسلیم موضعی جان به کدامیک مقادیر زیر برحسب کیلونیوتن نزدیکتر است؟ فولاد تیر از نوع $ST37$ با تنش تسلیم 240 MPa می‌باشد.

(۱) 270 (۲) 180 (۳) 200 (۴) 250 

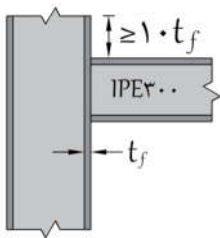
✓ جواب: ۱ ۲ ۳ ۴

$$e = 12 \text{ cm} < d = 20 \text{ cm} \Rightarrow \phi R_n = 1 \times F_{yw} t_w (2/5 k + l_b)$$

$$\phi R_n = 2400 \times 0.56 \times (2/5 \times 20.5 + 10) \times 10^{-2} = 203/28 \text{ kN}$$

آزمون مرداد ۱۳۹۴

تست ۳: در طراحی اتصال گیردار شکل مقابل از یک قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط، اگر سخت کننده برای ستون در مقابل بال کششی تیر در نظر گرفته نشده باشد، حداقل ضخامت لازم بال ستون بر حسب میلی‌متر به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ (عرض بال تیر حدود 0.7 عرض بال ستون است. مقطع ستون IPB نورد شده بوده و فولاد مصرفی با $F_y = 240 \text{ MPa}$ می‌باشد. عرض بال تیر 150 mm و ضخامت بال آن $10/7 \text{ mm}$ می‌باشد).

(۱) 30 (۲) 25 (۳) 20 (۴) 15 

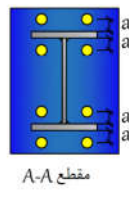
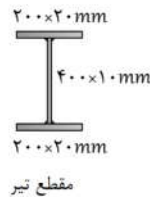
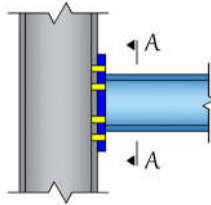
✓ جواب: ۱ ۲ ۳ ۴

با توجه به بند ۱۰-۳-۳-۱۰-ب در حالتی که ضخامت بال ستون کمتر از یک ششم عرض بال یا ورق اتصال باشد تعبیه ورق‌های پیوستگی در مقابل بال‌های تیر ضروری است.

$$t_{cf} \geq \frac{1}{6} b_{bf} \Rightarrow t_{cf} \geq \frac{1}{6} \times 150 = 25 \text{ mm}$$

تست ۱۰: تیر شکل زیر با طول آزاد $L_h = 7m$ به ستون H شکل در قاب خمشی متوسط با اتصال پیش تأیید شده BUEEP از نوع پیش تنیده متصل شده است. حداقل قطر قابل قبول پیچ‌ها مطابق کدام یک از گزینه‌های زیر است؟ کنترل پیچ‌ها در برابر لنگر خمشی مدنظر این سؤال است. از آثار بارهای ثقلی صرف‌نظر نموده و طراحی به روش LRFD مدنظر است.

پیچ از نوع ۱۰.۹ و $F_y = 225MPa$



(۱) ۳۰ mm

(۲) ۲۴ mm

(۳) ۲۲ mm

(۴) ۲۷ mm

✓ جواب: ۱ ۲ ۳ ۴

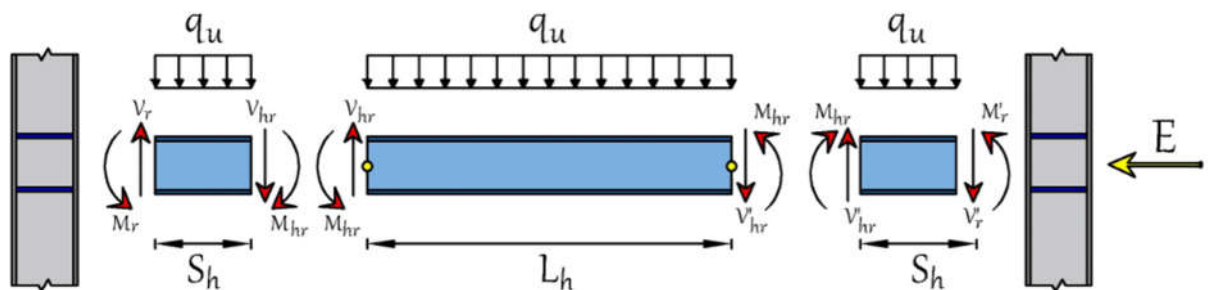
طبق مورد الف از بند ۱۰-۳-۳-۲-۶ در صفحه ۲۹۳ مبحث ۱۰، مقاومت خمشی مورد نیاز (M_r) و مقاومت برشی مورد نیاز (V_r) اتصال باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی (با ضرایب بار مربوطه) که با آثار نیروی زلزله محدود به ظرفیت مولفه خمش در محل تشکیل مفاصل پلاستیک در طول تیر ترکیب می‌شوند، تعیین شود. در شکل زیر این نیروها نشان داده شده‌اند.

طبق مورد ۴ از بند ۱۰-۳-۷-۳-۱ در صفحه ۴۰۴ مبحث ۱۰ در اتصالات BUEEP محل تشکیل مفصل پلاستیک کوچکترین دو مقدار زیر است:

$$S_h = \min\left(\frac{d}{4} \text{ \& } 3b_{bf}\right) = \min\left(\frac{44}{4}, 60\right) = 22 \text{ cm}$$

$$L_h = 7 - 2 \times 0.22 = 6.56 \text{ m}$$

محاسبه لنگر پلاستیک محتمل در محل تشکیل مفصل پلاستیک:



$$Z = 2 \times [200 \times 200 \times 210 + 200 \times 10 \times 100] = 2080 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{hr} = 1/1 R_y M_p = 1/1 \times 1/15 \times 2080 \times 10^3 \times 240 \times 10^{-4} = 592 \text{ kN.m}$$

محاسبه برش در محل مفصل پلاستیک (از لنگر گیری حول مفصل پلاستیک سمت چپ تیر به دست می‌آید):

$$V_{hr} = \frac{2M_{hr}}{L_h} + \frac{q_u L_h}{2} = \frac{2 \times 592}{6.56} + 0 \approx 180 \text{ kN}$$

محاسبه لنگر و برش در محل اتصال تیر به ستون:

$$M_r = 592 + 180 \times 0.22 \approx 632 \text{ kN.m}$$

$$V_r = 180 + 0 = 180 \text{ kN}$$

این لنگر خمشی در محل اتصال باعث ایجاد کشش در پیچ‌ها خواهد شد که مقدار کل این نیروی کششی برابر است با:

$$\frac{632}{0.42} = 1505 \text{ kN}$$

پس در محل اتصال یک نیروی برشی به اندازه 180 kN و نیروی کششی برشی به اندازه 1505 kN داریم. در طراحی فرض می‌شود ۴ پیچ نیروی کششی و ۴ پیچ دیگر نیروی برشی را تحمل می‌کنند پس حداقل قطر لازم برای پیچ‌های تحت کشش برابر است با:

$$1505 \leq \phi R_{nv} = 0.9 \times 4 \times \frac{\pi \times d^2}{4} \times 0.75 \times 1000 \times 10^{-3} \Rightarrow d \geq 26.6 \text{ mm}$$

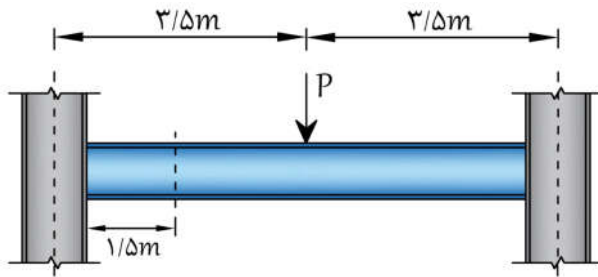
۱۵۸

نکته: طبق مورد ب از بند ۱۰-۳-۲-۴-۵ در صفحه ۲۵۹ مبحث ۱۰ در مواردی که مقاومت مورد نیاز اجزاء و اتصالات براساس ترکیبات بارگذاری شامل زلزله محدود به ظرفیت (E_{cl}) تعیین می‌شود، ضریب کاهش مقاومت (ϕ) برای حالت‌های حدی تسلیم (حالت‌های حدی شکل‌پذیر) به جای 0.9 باید برابر 1 و برای حالت حدی گسیختگی (حالت‌های حدی غیر شکل‌پذیر و ترد) به جای 0.75 باید برابر 0.9 در نظر گرفته شود.

(این نکته در صفحه ۱ فلوچارت فولاد نیز ذکر شده است)

چون در صورت سوال ذکر شده که فقط کنترل پیچ‌ها فقط در برابر لنگر خمشی مد نظر است پس کنترل پیچ‌ها برای برش انجام نمی‌شود و گزینه ۴ صحیح است.

تست ۳: در شکل زیر بخشی از یک قاب خمشی متوسط، با اتصالات از نوع $WUF - W$ نشان داده شده است. بارهای بدون ضریب مرده و زنده (غیرقابل کاهش در مقدار و ضریب) به ترتیب برابر است با $P_D = 100 \text{ kN}$ و $P_L = 70 \text{ kN}$. در روش $LRFD$ مقاومت خمشی مورد نیاز وصله تیر در فاصله $1/5$ متری از هر ستون به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ ستون‌ها از قوطی با ابعاد مقطع 400×400 میلی‌متر و لنگر پلاستیک مقطع در کل تیر (ساخته شده از ورق) 360 kN.m است. واحدها در شکل به متر است. (از مولفه قائم زلزله صرف‌نظر کنید)



$$407 \text{ kN.m} \quad (1)$$

$$459 \text{ kN.m} \quad (2)$$

$$391 \text{ kN.m} \quad (3)$$

$$360 \text{ kN.m} \quad (4)$$

جواب: ☒ ۱ ☐ ۲ ☐ ۳ ☐ ۴

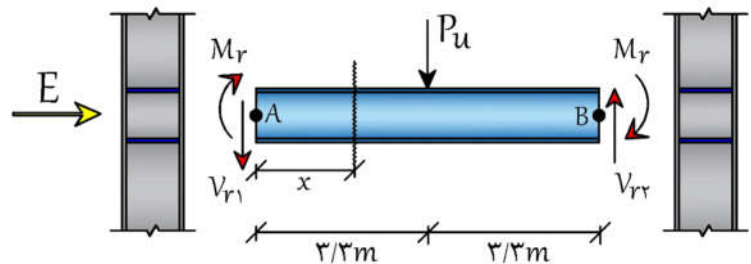
در این نوع اتصال محل تشکیل مفصل پلاستیک بر ستون می‌باشد.

$$M_r = M_{hr} = 1/1 R_y M_p = 1/1 \times 1/15 \times 360 = 455/4 \text{ kN.m}$$

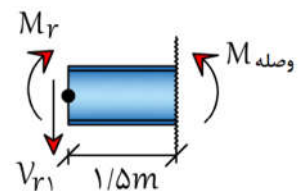
$$P_u = 1/2 \times 100 + 70 = 190 \text{ kN}$$

اگر جهت زلزله از چپ به راست باشد:

$$\begin{aligned} \sum M_B = 0 &\Rightarrow V_{r1} L = 2M_r - P_u \frac{L}{2} \\ \Rightarrow V_{r1} &= \frac{2M_r}{L} - \frac{P_u}{2} = \frac{2 \times 455/4}{6/6} - \frac{190}{2} \\ \Rightarrow V_{r1} &= 43 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$M_{\text{وصله}} = 455/4 - 43 \times 1/5 = 390/9 \text{ kN}$$



اگر جهت زلزله از راست به چپ باشد:

$$\begin{aligned} \sum M_B = 0 &\Rightarrow V_{r1} L = 2M_r + P_u \frac{L}{2} \\ \Rightarrow V_{r1} &= \frac{2M_r}{L} + \frac{P_u}{2} = \frac{2 \times 455/4}{6/6} + \frac{190}{2} \\ \Rightarrow V_{r1} &= 233 \text{ kN} \end{aligned}$$

