

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## فهرست مطالب

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| فصل مقدمه (محاسبه تار خنثی پلاستیک و الاستیک).....                    | ۷   |
| فصل اول (طراحی اعضای کششی).....                                       | ۱۵  |
| فصل دوم (طراحی اعضای فشاری).....                                      | ۲۵  |
| فصل سوم (طراحی اعضای خمشی).....                                       | ۴۳  |
| فصل چهارم (طراحی اعضاء برای نیروی برشی).....                          | ۷۷  |
| فصل پنجم (الزامات بهره برداری).....                                   | ۹۳  |
| فصل ششم (الزامات تأمین پایداری و طراحی اعضاء برای ترکیب نیروها )..... | ۱۰۱ |
| فصل هفتم (طراحی و اتصالات جوشی و پیچی).....                           | ۱۰۵ |
| فصل هشتم (تحت اثر بارهای متمرکز).....                                 | ۱۳۱ |
| فصل نهم (طراحی کف ستون و میل مهارها).....                             | ۱۳۹ |
| فصل دهم (تیرهای پیوند).....                                           | ۱۴۳ |
| فصل یازدهم (اتصالات گیردار از پیش تأیید شده ).....                    | ۱۴۷ |
| فصل دوازدهم (طراحی وصله ها).....                                      | ۱۵۱ |
| فصل سیزدهم (ضوابط لرزه‌ای طراحی تیرها، ستون‌ها و مهاربندها).....      | ۱۵۳ |
| فصل دیوار برشی فولادی (سوالات تألیفی).....                            | ۱۷۳ |
| پیوست‌ها(جدول و فلوچارت).....                                         | ۱۷۷ |

## سخن مولف

سپاس خداوند متعال که در این مدت مرا یاری نمود تا گام مفیدی برای جامعه مهندسی بردارم. هر چند سال آیین نامه‌های طراحی تغییر می‌کنند و این یکی از دغدغه‌های مهندسین است که چگونه به آیین نامه جدید مسلط شوند. در این کتاب تمامی تست‌های از سال ۱۳۹۲ تا دی ماه ۱۴۰۱ مطابق با آیین نامه مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان (ویرایش پنجم) به صورت کاملاً تشریحی حل شده است. همچنین سعی شده تا تست‌های ادوار اخیر براساس فصل‌های مختلف، دسته بندی شود که دو مزیت مهم دارد:

۱- شخصی که شروع به مطالعه می‌کند بعد از اتمام فصل به راحتی و به صورت دسته‌بندی شده به کلیه سوالات ادوار اخیر دسترسی دارد.

۲- سر جلسه آزمون ممکن است تست مشابهی طرح شده و از ذهن فرد روش حل آن فراموش شده باشد، که در این صورت به راحتی به تست‌های اخیر مراجعه کرده و روند حل آن را مرور کند. در انتها نمونه‌ای از فلوچارت آیین نامه برای یک فصل ارائه شده تا مهندسین عزیز بتوانند تست‌های مربوط به این فصل را بدون مراجعه به آیین نامه حل کنند.

بی شک تالیف این کتاب در مدت زمان محدود بدون ایراد نیست. از این‌رو از مهندسین امتنان دارم در صورت وجود هر نوع ایراد، نظرات و پیشنهادات خود را به آیدی تلگرام **Majid\_ze@1995** برای بنده ارسال نمایند تا در چاپ‌های بعدی اصلاح گردد.

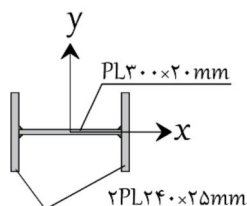
# فصل دوازدهم

(طراحی وصله‌ها)



مسابقات فردار ۱۳۹۳

**تست ۱:** در طرح لرزه‌ای یک ساختمان فولادی با شکل‌پذیری متوسط، حداقل مقاومت مورد نیاز برشی وصله ستون نشان داده شده در دو راستای قوی و ضعیف به ترتیب به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟  
(ستون از ورق نوع  $ST37$  ( $F_u = 370 \text{ MPa}$ ,  $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) ساخته شده است). ارتفاع طبقه ۳ متر فرض می‌شود. نیروی داخلی ستون تحت اثر ترکیبات بار متعارف کنترل کننده نمی‌باشد.

الف)  $440 \text{ kN}$  و  $132 \text{ kN}$ ب)  $384 \text{ kN}$  و  $120 \text{ kN}$ ج)  $192 \text{ kN}$  و  $58 \text{ kN}$ د)  $220 \text{ kN}$  و  $66 \text{ kN}$ 

۱۵۲

حل: الف ب ج د

$$Z_x = 4 \times (12 \times 2/5 \times 6) + 2 \times (30 \times 1 \times 0/5) = 750 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 2 \times (24 \times 2/5 \times 16/25) + 2 \times (15 \times 2 \times 7/5) = 2400 \text{ cm}^3$$

$$V_D \geq \frac{\sum R_y M_p}{H_c}$$

خمش حول محور  $y$  برش در جهت  $x$  و خمش حول محور  $x$  برش در راستای  $y$  ایجاد می‌کند:

$$V_{Dx} = \frac{2 \times (1/15 \times 2400 \times 2400)}{300} \times 10^{-2} = 441/6 \text{ kN}$$

$$V_{Dy} = \frac{2 \times (1/15 \times 2400 \times 750)}{300} \times 10^{-2} = 138 \text{ kN}$$

دلیل اینکه مقادیر  $V_D$  به ۲ ضرب شده این است که مقطع بالا و پایین اتصال یکسان است.

مسابقات آبان ۱۳۹۳

**تست ۲:** با لحاظ الزامات طراحی لرزه‌ای اگر لنگر خمشی پلاستیک ستون فولادی در ناحیه بالای وصله برابر  $300 \text{ kN.m}$  و در ناحیه پایین وصله برابر  $360 \text{ kN.m}$  و ارتفاع طبقه برابر  $H_s = 4 \text{ m}$  باشد، حداقل چه مقدار لنگر خمشی و چه مقدار نیروی برشی برای طراحی وصله باید در نظر گرفته شود؟ (ستون دارای مقطع ساخته شده از ورق می‌باشد).

ب)  $360 \text{ kN.m}$  و  $190 \text{ kN}$ الف)  $345 \text{ kN.m}$  و  $165 \text{ kN}$ د)  $414 \text{ kN.m}$  و  $165 \text{ kN}$ ج)  $345 \text{ kN.m}$  و  $190 \text{ kN}$ 

حل: الف ب ج د

$$M_{pTop} = 300 \text{ kN.m} , M_{pBot} = 360 \text{ kN.m}$$

$$M_D \geq R_y M_{pmin} = 1/15 \times 300 = 345 \text{ kN.m}$$

$$V_D \geq \frac{\sum R_y M_p}{H_c} = \frac{1/15 \times (300 + 360)}{400} = 189/75 \text{ kN}$$

## فصل سیزدهم

(ضوابط لرزه‌ای طراحی تیرها،  
ستون‌ها و مهاربندها)

مسابقات فروردار ۱۳۹۳

**تست ۱:** برای طراحی اتصال مهاربند همگرای ویژه در یک ساختمان، مقاومت کششی مورد نیاز  $900 \text{ kN}$  و تنش فشاری مورد انتظار ناشی از کماتش  $90 \text{ MPa}$  محاسبه شده است. حداقل مقاومت فشاری مورد نیاز در این اتصال به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (مهاربند از فولاد  $ST37$  ( $F_u = 370 \text{ MPa}$ ,  $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) و مقاطع از پروفیل ناودانی ساخته شده‌اند).

- الف)  $420 \text{ kN}$       ب)  $320 \text{ kN}$       ج)  $280 \text{ kN}$       د)  $350 \text{ kN}$

حل:

الف    ب    ج    د

مقاومت کششی مورد نیاز اتصال مهاربند همگرای ویژه باید  $R_y F_y A_g$  در نظر گرفته شود که این مقدار برابر  $900 \text{ kN}$  می‌باشد:

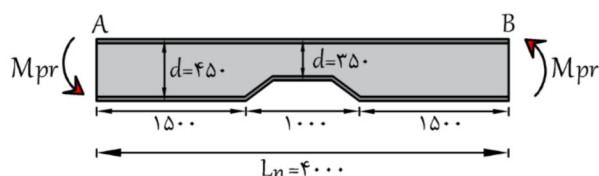
$$\Rightarrow 900 \times 10^3 = 1/2 \times 2400 \times A_g \Rightarrow A_g = 31/25 \text{ cm}^2$$

همچنین حداقل مقاومت فشاری مورد نیاز باید کمترین دو مقدار  $R_y F_y A_g$  و  $1/14 F_{cre} A_g$  در نظر گرفته شود:

$$1/14 F_{cre} A_g = 1/14 \times 900 \times 31/25 \times 10^{-2} = 320/6 \text{ kN}$$

مسابقات آبان ۱۳۹۳

**تست ۲:** شکل زیر بخش میانی یک تیر با شکل‌پذیری متوسط، بین مفاصل پلاستیک  $A$  و  $B$  را نشان می‌دهد. چنانچه آثار ناشی از بارهای مرده و زنده و سایر بارها، در مقایسه با بار زلزله بسیار ناچیز و قابل اغماض باشد با توجه به فرضیات زیر، مقدار  $M_{pr}$  در مفصل پلاستیک تیر حداکثر چه مقدار می‌تواند باشد؟ (تیر از ورق با اتصال جوش جان به بال ساخته شده و مقطع آن دارای تقارن دوشموره بوده و خمش حول محور قوی است.  $d = 450 \text{ mm}$  عمق کل مقطع بوده و ضخامت جان  $t_w = 8 \text{ mm}$  است. مقاومت برشی عضو بدون توجه به عمل میدان کششی و با فرض  $C_v = 1$  محاسبه می‌شود. فولاد مصرفی از نوع  $ST37$  با  $F_y = 240 \text{ MPa}$  بوده و واحدهای روی شکل بر حسب میلی‌متر می‌باشد. تیر در محدوده کم عمق از مقاومت کافی در برابر آثار ناشی از ایجاد  $M_{pr}$  در مفاصل پلاستیک برخوردار است).



الف)  $1450 \text{ kN.m}$

ب)  $725 \text{ kN.m}$

ج)  $930 \text{ kN.m}$

د)  $830 \text{ kN.m}$

حل:

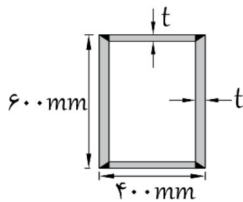
الف    ب    ج    د

$$M_{pr} = 1/11 R_y Z F_y, V_u = \frac{2 M_{pr}}{L_h} \leq \phi R_n$$

$$\frac{2 M_{pr}}{4000} \leq 0/9 \times 0/6 \times 45 \times 0/8 \times 2400 \times 10^{-4} \Rightarrow M_{pr} \leq 933/12 \text{ kN.m}$$

محاسبات مرادار ۱۳۹۴

**تست ۳:** مقطع شکل مقابل برای یکی از ستون‌های یک ساختمان با سیستم باربر جانبی در هر دو امتداد از نوع قاب خمشی فولادی با شکل‌پذیری متوسط پیشنهاد شده است. براساس کنترل کمانش موضعی، حداقل ضخامت قابل قبول برای ورق‌های تشکیل دهنده ستون کدام یک از مقادیر زیر است؟ ( $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$  و  $F_y = 240 \text{ MPa}$ )



الف) ۲۵ mm

ب) ۲۰ mm

ج) ۱۵ mm

د) ۱۲ mm

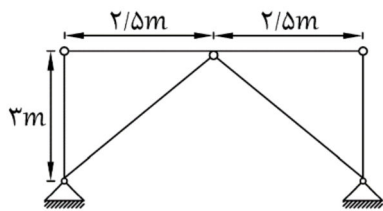
۱۵۵

حل: الف ب ج د

$$\frac{600 - 2t}{t} \leq \lambda_p = \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{1.15 \times 240}} \Rightarrow t \leq 20.7 \text{ cm} = 207 \text{ mm}$$

محاسبات مرادار ۱۳۹۴

**تست ۴:** مهاربندهای همگرای ویژه نشان داده شده در شکل مقابل مربوط به یک ساختمان فولادی مقاوم در برابر زلزله، از مقطع لوله به قطر خارجی ۱۶۰ mm و ضخامت ۵ mm تشکیل شده است. چنانچه  $F_{cre} = 217 \text{ MPa}$  باشد، حداقل مقاومت خمشی طراحی تیر طبقه (با صرف نظر از اثر بارهای ثقلی) به کدام یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟



( $F_y = 240 \text{ MPa}$ )

الف) ۵۳۰ kN.m

ب) ۷۰۰ kN.m

ج) ۱۱۵ kN.m

د) ۰ kN.m

حل: الف ب ج د

اگر  $\theta$  را زاویه بین تیر و مهاربند در نظر بگیریم آنگاه:

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{3}{2} \right) = 56.3^\circ$$

$$A_g = \frac{\pi}{4} (16^2 - 5^2) = 243.5 \text{ cm}^2$$

مقاومت مورد نیاز تیرها باید با استفاده از تحلیل‌های زیر، هر کدام که بزرگتر است صورت گیرد:

الف) تحلیلی که در آن فرض می‌شود نیروی مهاربندهای کششی برابر  $R_y F_y A_g$  و نیروی مهاربندهای فشاری برابر  $1/4 F_{cre} A_g$  است.

ب) تحلیلی که در آن فرض می‌شود نیروی مهاربندهای کششی برابر  $R_y F_y A_g$  و نیروی مهاربندهای فشاری برابر  $0.3 \times 1/14 F_{cre} A_g$  است.

از بین این دو تحلیل تحلیل ب با توجه به اینکه برآیند نیروها به سمت پایین خواهد بود بحرانی تر است: نیروی کششی در مهاربند کششی برابر است با:

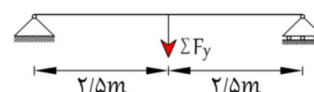
$$T = R_y F_y A_g = 1/25 \times 2400 \times 24/35 \times 10^{-2} = 730/5 \text{ kN.m}$$

و همچنین نیروی مهاربند فشاری:

$$P = 0.3 \times 1/14 F_{cre} A_g = 0.3 \times 1/14 \times 2170 \times 24/35 \times 10^{-2} = 180/7 \text{ kN.m}$$

$$\downarrow F_y = (R_y F_y A_g - 0.3 \times 1/14 F_{cre} A_g) \sin \theta = (730/5 - 180/7) \sin(50/2^\circ) = 422/4 \text{ kN}$$

$$M_u = \frac{F_y L}{4} = \frac{422/4 \times 5}{4} = 528 \text{ kN.m}$$



مسابقات بهمن ۱۳۹۴

**تست ۵:** در یک قاب ساختمانی ساده با مهاربندهای همگرای ویژه، پس از اتمام عملیات تحلیل و طراحی و در هنگام تیپ‌بندی مقاطع اعضاء افزایش مقطع کدام یک از اعضاء قاب صحیح نیست؟ (فرض کنید پس از تیپ‌بندی اعضاء تحلیل و طراحی مجدد صورت نمی‌گیرد. همچنین فرض کنید سختی جانبی ستون‌ها در برابر سختی جانبی مهاربندها بسیار ناچیز بوده و تغییر ابعاد اعضاء قاب تاثیری در نحوه توزیع نیروی جانبی قاب بین عناصر مقاوم ندارد).

الف) ستون‌ها      ب) مهاربندها      ج) تیرهای اصلی      د) تیرهای فرعی (تیرچه‌ها)

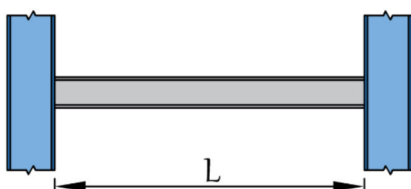
حل: د ج ب الف

افزایش شماره مقطع در مهاربند باعث می‌شود سختی بالا رفته و جذب نیروی مهاربند بیشتر می‌شود. در این حالت ۲ مشکل اساسی می‌تواند پیش بیاید:

- ۱- ورق گاست برای مقطع با شماره بزرگتر طراحی نشده است
- ۲- چون جذب نیرو بالا هست انتقال نیرو به ستون افزایش می‌یابد و ممکن است ستون جوابگوی بار وارده نباشد.

مسابقات اسفند ۱۳۹۵

**تست ۶:** تیر شکل زیر مربوط به یک قاب خمشی فولادی ویژه بوده و اتصال آن از نوع  $WUF - W$  است. مقاومت برشی مورد نیاز این تیر به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (فرض کنید وزن واحد طول تیر و نیز بارهای ثقلی وارد بر آن ناچیز است. همچنین فرض کنید تیر و ستون‌ها از ورق ساخته شده‌اند.  $M_p$  لنگر پلاستیک مقطع تیر می‌باشد).



الف)  $3/22 \frac{M_p}{L}$

ب)  $2/5 \frac{M_p}{L}$

ج)  $2/3 \frac{M_p}{L}$

د)  $1/15 \frac{M_p}{L}$

حل: الف ب ج د

در این نوع اتصال محل تشکیل مفصل پلاستیک در برستون می‌باشد:

$$M_{hr} = 1/15 \times 1/4 \times M_p = 1/61 M_p$$

$$V_r = \frac{2M_r}{L_h} = \frac{2 \times 1/61 M_p}{L} = 3/22 \frac{M_p}{L}$$

محاسبات اسفندر ۱۳۹۵ با تغییر

تست ۷: مهارهای جانبی یک تیر با مقطع IPE ۳۰۰ و مربوط به یک قاب خمشی ویژه در محل نواحی مفصل پلاستیک،

حداقل برای چه مقدار نیرو باید طراحی شود؟ ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ )

الف) ۳۸ kN      ب) ۱۱ kN      ج) ۲۹ kN      د) ۳۱ kN

حل: الف ب ج د

$$P_{br} = \frac{0.06 R_y F_y Z}{h_o} = \frac{0.06 \times 1/2 \times 2400 \times 628}{28/93} \times 10^{-2} = 37/5 \text{ kN}$$

محاسبات اسفندر ۹۵

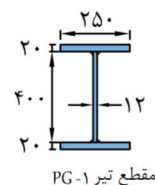
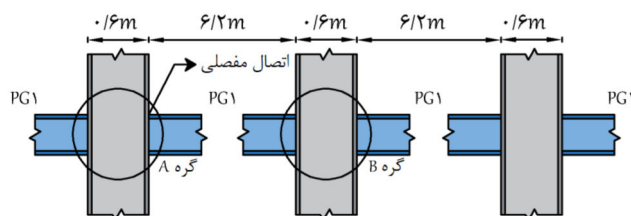
تست ۸: شکل زیر بخشی از قاب‌های خمشی یک ساختمان فولادی با شکل‌پذیری ویژه را نشان می‌دهد. تمام اتصالات تیر

به ستون غیر از اتصال گره A، گیردار و از نوع  $WUF - W$  می‌باشند. اگر از بارهای ثقلی وارد به تیرها صرف نظر شود، حداقل

مجموع لنگرهای خمشی ستون‌های بالا و پایین گره B ( $\sum M_{pc}$ ) برای تامین نسبت لنگر خمشی ستون به لنگر خمشی تیر

به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر خواهد بود؟ ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) (ابعاد نشان داده شده روی مقطع عرضی تیر به

میلی‌متر است).



الف) ۲۱۴۰ kN.m

ب) ۲۲۴۰ kN.m

ج) ۲۰۴۰ kN.m

د) ۱۲۴۰ kN.m

حل: الف ب ج د

$$\sum M_{pc}^* > \sum M_{pb}^*$$

$$Z_b = 2[25 \times 2 \times 21 + 20 \times 1/2 \times 10] = 2580 \text{ cm}^3$$

$$M_{pb_{Right}} = M_{pb_{Left}} = R_y C_{pr} M_p = 1/15 \times 1/4 \times 2580 \times 2400 \times 10^{-4} = 996/9 \text{ kN.m}$$

چون در تیر سمت چپ گره B اتصال انتهای دور آن مفصلی است در آن نقطه مفصل پلاستیک تشکیل نمی‌شود (لنگری هم

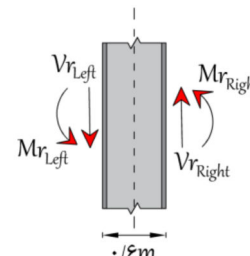
انتقال نمی‌دهد).

$$V_{prLeft} = \frac{M_{pbLeft}}{L_{Left}} = \frac{996/9}{6/2} = 160/8 \text{ kN}$$

در تیر سمت راست گره B، اتصال دو انتهای آن گیردار است و در هر دو انتها مفصل پلاستیک می‌تواند تشکیل شود:

$$V_{prRight} = \frac{2 \times M_{pbRight}}{L_{Left}} = \frac{2 \times 996/9}{6/2} = 321/6 \text{ kN}$$

محل تشکیل مفصل پلاستیک در این نوع اتصال در بر ستون در نظر گرفته می‌شود:



$$\begin{aligned} \sum M_{pb}^* &= M_{pbLeft} + M_{pbRight} + V_{prLeft} \times 0/3 + V_{prRight} \times 0/3 \\ &\Rightarrow 996/9 + 996/9 + 160/8 \times 0/3 + 321/6 \times 0/3 = 2138/5 \text{ kN.m} \\ &\Rightarrow \sum M_{pc}^* > 2138/5 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

مسابقات مهر ۱۳۹۶

**تست ۹:** در یک ساختمان مسکونی مقدار نیروی محوری یک ستون فولادی واقع در یک قاب خمشی فولادی با شکل‌پذیری متوسط در هردو راستای  $X$  و  $Y$  ناشی از بارهای مرده برابر  $200 \text{ kN}$ ، ناشی از بارهای زنده برابر  $100 \text{ kN}$  و ناشی از نیروی زلزله طرح در امتداد  $X$  با در نظر گرفتن برون مرکزی اتفاقی برابر  $700 \text{ kN}$  و ناشی از نیروی زلزله طرح در امتداد  $Y$  بدون در نظر گرفتن برون مرکزی اتفاقی برابر  $700 \text{ kN}$  برآورد شده است. براساس این اطلاعات، حداقل مقاومت محوری مورد نیاز این ستون ( $P_u$ ) به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (فرض کنید فولاد مصرفی از نوع S235 است).

- الف)  $1200 \text{ kN}$       ب)  $3020 \text{ kN}$       ج)  $2400 \text{ kN}$       د)  $1700 \text{ kN}$

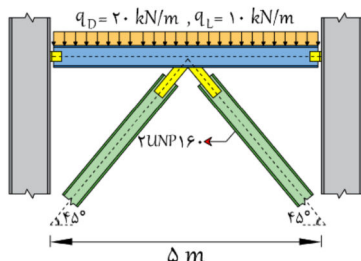
حل: الف ب ج د

طبق بند ۱۰-۳-۹-۱-ب مقاومت فشاری باید با استفاده از ترکیبات بارگذاری شامل زلزله تشدید یافته بدست آید و همچنین مطابق تبصره ۱ همین بند، ترکیب نیروهای زلزله راستاهای متعامد نیز باید در نظر گرفته شود:

$$P_u = 1/2 D + L + \Omega_0 E = 1/2 \times 200 + 100 + 3 \times (700 + 0/3 \times 700) = 3070 \text{ kN}$$

مسابقات مهر ۱۳۹۶

**تست ۱۰:** ک در شکل زیر یکی از دهانه‌های یک قاب ساختمانی ساده توام با مهاربندی همگرای ویژه از نوع ۸ و با کاربری مسکونی نشان داده شده است. چنانچه مقدار تنش فشاری مورد انتظار اعضای مهاربندی با مقطع دبل UNP160 ناشی از کمانش برابر  $0/9 R_y F_y$  فرض شود، حداقل مقاومت خمشی مورد انتظار ( $M_u$ ) تیر به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (تنش تسلیم فولاد اعضای مهاربندی را برابر  $240 \text{ MPa}$  در نظر بگیرید).



الف)  $M_u = 521 \text{ kN.m}$

ب)  $M_u = 940 \text{ kN.m}$

ج)  $M_u = 125 \text{ kN.m}$

د)  $M_u = 262 \text{ kN.m}$

حل: ☐ الف ☐ ب ☐ ج ☐ د

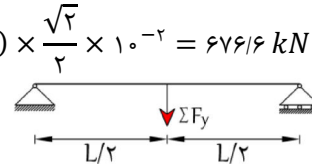
برآیند نیروهای مهاربندها برابر است با:

$$q_u = 1/2 \times 20 + 10 = 34 \text{ kN/m}$$

$$\sum \downarrow F_y = (R_y F_y A_g - 0/3 \times 1/14 \times 0/9 R_y F_y A_g) \sin 45^\circ$$

$$= (1/2 \times 2400 \times 2 \times 24 - 0/3 \times 1/14 \times 0/9 \times 1/2 \times 2400 \times 2 \times 24) \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times 10^{-2} = 676/6 \text{ kN}$$

$$M_u = \frac{q_u L^2}{8} + \frac{PL}{4} = \frac{34 \times 5^2}{8} + \frac{676/6 \times 5}{4} = 952 \text{ kN.m}$$



۱۵۹

محاسبات مهر ۱۳۹۶

**تست ۱۱:** حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز اتصال تیر IPE۳۰۰ به ستون در قاب خمشی معمولی از فولاد با تنش تسلیم

$F_y = 240 \text{ MPa}$  و تنش کششی نهایی  $F_u = 370 \text{ MPa}$  بر حسب  $\text{kN.m}$  به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟

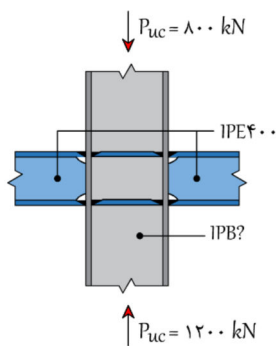
الف) ۲۲۰ (ب) ۱۵۰ (ج) ۱۸۰ (د) ۲۰۰

حل: ☐ الف ☐ ب ☐ ج ☐ د

$$M_r = 1/1 R_y M_p = 1/1 \times 1/2 \times 628 \times 2400 \times 10^{-4} = 198/95 \text{ kN.m}$$

محاسبات اردیبهشت ۹۷

**تست ۱۲:** شکل مقابل یکی از اتصالات قاب‌های خمشی یک ساختمان فولادی با شکل پذیری ویژه را در تراز طبقات میانی



نشان می‌دهد. اگر اتصال تیرها به ستون از نوع  $WUF - W$  باشد و از اثرات برش انتهایی تیرها بر روی مقاومت مورد نیاز ستون صرف نظر شود، آنگاه فقط از منظر کنترل نسبت لنگر خمشی ستون به لنگر خمشی تیر، کدام یک از مقاطع زیر باید به عنوان حداقل شماره مقطع ستون انتخاب شود؟ ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ ،  $F_u = 370 \text{ MPa}$ )

الف) IPB۳۲۰

ب) IPB۴۰۰

ج) IPB۳۶۰

د) IPB۳۴۰

حل: ☐ الف ☐ ب ☐ ج ☐ د

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1/0 \Rightarrow \sum M_{pc}^* > \sum M_{pb}^*$$

$$M_{hr} = R_y C_{pr} M_p = 1/2 \times 1/4 \times 1307 \times 2400 = 526/98 \times 10^4 \text{ kgf.cm}$$

$$\sum M_{pb}^* = \sum (M_{hr} + \circ) = 2 \times (526/98 \times 10^4) = 1053/96 \times 10^4 \text{ kgf.cm}$$

$$\sum M_{pc}^* = Z_{c_{top}} \left( F_{yc} - \frac{P_{r_{top}}}{A} \right) + Z_{c_{Bot}} \left( F_{yc} - \frac{P_{r_{Bot}}}{A} \right)$$

چون مقطع ستون در بالا و پایین محل اتصال یکسان است پس  $Z_{c_{top}} = Z_{c_{Bot}} = Z_c$

$$\Rightarrow Z_c \left( F_{yc} - \frac{P_{r_{top}}}{A} \right) + Z_c \left( F_{yc} - \frac{P_{r_{Bot}}}{A} \right) = Z_c \left( 2F_{yc} - \frac{P_{r_{top}} + P_{r_{Bot}}}{A} \right)$$

$$\Rightarrow \sum M_{pc}^* = Z_c \left( 2 \times 2400 - \frac{(800 + 1200) \times 10^2}{A} \right)$$

بررسی گزینه‌ها:

$$\text{IPB}320: 2149 \times \left( 2 \times 2400 - \frac{(800 + 1200) \times 10^2}{161} \right) = 764/6 \times 10^4 < 1053/96 \times 10^4$$

$$\text{IPB}340: 2408 \times \left( 2 \times 2400 - \frac{(800 + 1200) \times 10^2}{171} \right) = 874/2 \times 10^4 < 1053/96 \times 10^4$$

$$\text{IPB}360: 2683 \times \left( 2 \times 2400 - \frac{(800 + 1200) \times 10^2}{181} \right) = 991/4 \times 10^4 < 1053/96 \times 10^4$$

$$\text{IPB}400: 3233 \times \left( 2 \times 2400 - \frac{(800 + 1200) \times 10^2}{198} \right) = 1225/3 \times 10^4 > 1053/96 \times 10^4 \text{ O.K}$$

مسابقات مهر ۹۸

**تست ۱۳:** در یک تیر فولادی با مقطع  $I$  شکل یکنواخت و ساخته شده از ورق به طول دهانه آزاد ۶ متر مربوط به یک قاب خمشی فولادی ویژه، لنگر پلاستیک مقطع برابر  $600 \text{ kN.m}$  محاسبه شده است. همچنین نیروی برشی در برستون حاصل از بارهای ثقلی ضریب‌دار (با ضرایب بار در حضور زلزله) برابر  $150 \text{ kN}$  محاسبه شده است. اگر اتصال گیردار (صلب) تیر به ستون از نوع  $WUF - W$  بوده و بارهای ثقلی به صورت گسترده یکنواخت باشد، مقاومت برشی مورد نیاز این تیر در دو انتها به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر خواهد بود؟ ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ ،  $F_u = 370 \text{ MPa}$ )

الف) ۳۲۲ kN

ب) ۳۵۰ kN

ج) ۴۲۶ kN

د) ۴۷۲ kN

حل:

د

ج

ب

الف

$$V_r = \frac{2M_r}{L} + \frac{q_u L}{2} = \frac{2 \times 1/4 \times 1/15 \times 600}{6} + 150 = 472 \text{ kN}$$



**تست ۱۴:** در یک قاب خمشی فولادی ویژه در یک اتصال، مقطع ستون بالا و پایین یکسان است. اگر فرض شود نیروی محوری ستون در حالت‌های مختلف بارگذاری برابر  $P_{Dead} = 250 \text{ kN}$ ،  $P_{Live} = 200 \text{ kN}$  و  $P_{EQ} = 500 \text{ kN}$  باشد و ستون برای بارهای وارده جوابگو باشد، برای کنترل الزام ستون قوی-تیر ضعیف کدام یک از مقاطع زیر برای این ستون بهینه است؟ ( $\sum M_{pb} = 50 \text{ kN.m}$ ،  $F_y = 240 \text{ MPa}$ )

الف) IPB ۲۲۰      ب) IPB ۲۴۰      ج) IPB ۲۸۰      د) IPB ۳۰۰

۱۶۱

حل: الف      ب      ج      د

$$P_r = 1/2 D + L + \Omega_o E = 1/2 \times 250 + 200 + 3 \times 500 = 2000 \text{ kN}$$

$$\sum M_{pc}^* > \sum M_{pb}^*$$

$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_c \left( 2400 - \frac{P_r}{A_g} \right) = 2 Z_c \left( 2400 - \frac{2000 \times 10^2}{A_g} \right) > 50 \times 10^4$$

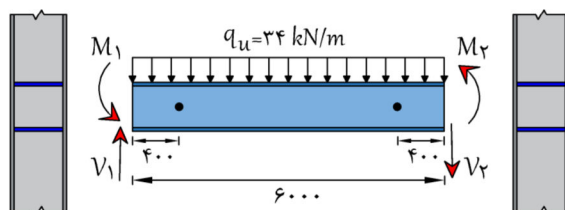
بررسی گزینه‌ها:

$$\text{IPB ۲۲۰} \Rightarrow \sum Z_c \left( 2400 - \frac{P_r}{A_g} \right) = 2 \times 1827 \left( 2400 - \frac{2000 \times 10^2}{91} \right) = 33/44 \times 10^4 < 50 \times 10^4$$

$$\text{IPB ۲۴۰} \Rightarrow \sum Z_c \left( 2400 - \frac{P_r}{A_g} \right) = 2 \times 1053 \left( 2400 - \frac{2000 \times 10^2}{106} \right) = 108/08 \times 10^4 > 50 \times 10^4$$

پس مقطع IPB ۲۴۰ قابل قبول است.

**تست ۱۵:** تیر نشان داده شده در شکل زیر مربوط به یک قاب خمشی ویژه با اتصالات گیردار از نوع BFP و مقدار لنگر پلاستیک مقطع تیر ساخته شده از ورق برابر  $375/6 \text{ KN.m}$  است. اگر طول دهانه آزاد تیر برابر ۶ متر و محل مفصل پلاستیک در فاصله ۴۰۰ میلی‌متر از هر دو سمت تیر و بار ثقلی ضربیدار ناشی از بارهای مرده و زنده (با ضرایب بار مربوط به ترکیب بارگذاری شامل نیروی زلزله) برابر  $34 \text{ KN.m}$  باشد، حداکثر لنگرهای خمشی مورد انتظار  $M_1$  و  $M_2$  در وجه اتصال تیر به ستون (براساس جهت لنگرهای نشان داده شده در شکل) به ترتیب به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ ابعاد روی شکل به میلی‌متر است. ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ ،  $F_u = 360 \text{ MPa}$ )



الف)  $458 \text{ KN.m}$  و  $558 \text{ KN.m}$

ب)  $636 \text{ KN.m}$  و  $636 \text{ KN.m}$

ج)  $560 \text{ KN.m}$  و  $636 \text{ KN.m}$

د)  $558 \text{ KN.m}$  و  $558 \text{ KN.m}$

حل: الف      ب      ج      د

$$R_y = 1/15 \text{ و } C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} = \frac{2400 + 3600}{2 \times 2400} = 1/25 \leq 1/2 \Rightarrow C_{pr} = 1/2$$

$$M_{hr} = R_y C_{pr} M_p = 1/15 \times 1/2 \times 375/6 = 518/3 \text{ kN.m}$$

$$V_{hr(1)} = \frac{2M_{hr}}{L_h} + \frac{q_u L}{2} = \frac{2 \times 518/3}{5/2} + \frac{34 \times 5/2}{2} = 287/7 \text{ kN}$$

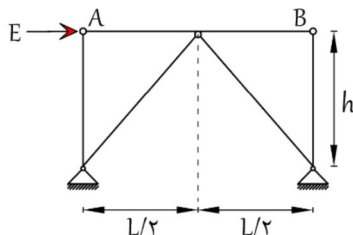
$$V_{hr(2)} = \frac{2M_{hr}}{L_h} - \frac{q_u L}{2} = \frac{2 \times 518/3}{5/2} - \frac{34 \times 5/2}{2} = 110/9 \text{ kN}$$

$$M_1 = M_{hr} + V_{hr(1)} S_h + \frac{q_u S_h^2}{2} = 518/3 + 287/7 \times 0/4 + \frac{34 \times 0/4^2}{2} = 636/1 \text{ kN.m}$$

$$M_2 = M_{hr} + V_{hr(2)} S_h - \frac{q_u S_h^2}{2} = 518/3 + 110/9 \times 0/4 - \frac{34 \times 0/4^2}{2} = 559/9 \text{ kN.m}$$

محاسبات مهر ۹۹

**تست ۱۶:** در قاب مهاربندی شده همگرای معمولی شکل زیر فرض نمائید مقادیر بارهای ثقلی وارد بر تیر  $AB$  ناچیز بوده و در مهاربند کششی، مقدار نیروی کششی نهایی ناشی از ترکیبات بار زلزله تشدید یافته از حداکثر مقاومت کششی مورد نیاز مهاربندها ( $R_y F_y A_g$ ) بیشتر است. اگر  $P_n$  مقاومت فشاری اسمی مهاربندها باشد، حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز تیر  $AB$  به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر خواهد بود؟



- الف)  $(R_y F_y A_g - 0/3 P_n) \frac{L^2}{\sqrt{L^2 + 4h^2}}$   
 ب)  $(R_y F_y A_g - 0/3 P_n) \frac{hL}{\sqrt{L^2 + 4h^2}}$   
 ج)  $(R_y F_y A_g - 0/3 P_n) \frac{hL}{\sqrt{L^2 + 4h^2}}$   
 د)  $(R_y F_y A_g - 0/3 P_n) \frac{L^2}{\sqrt{L^2 + 4h^2}}$

حل: الف ب ج د

چون قاب با شکل‌پذیری معمولی است آثار نیروی مهاربند کششی کمترین دو مقدار  $R_y F_y A_g$  و نیروی کششی ناشی از ترکیبات بارگذاری شامل زلزله تشدید یافته ( $\Omega_o E$ ) و در مهاربند فشاری برابر  $0/3 P_n$  در نظر گرفته می‌شود. چون در اینجا نیروی مهاربند کششی را نداریم از مقدار  $R_y F_y A_g$  استفاده می‌کنیم. (در جهت اطمینان است)

محاسبه طول مهاربند:

$$L = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + h^2} = \sqrt{\frac{L^2}{4} + h^2} = \sqrt{\frac{L^2 + 4h^2}{4}} = \frac{1}{2} \sqrt{L^2 + 4h^2}$$

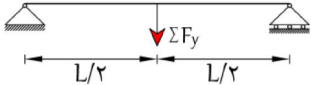
زاویه بین مهاربند و تیر را  $\theta$  در نظر بگیریم آنگاه:

$$\sin \theta = \frac{h}{\frac{1}{2} \sqrt{L^2 + 4h^2}} = \frac{2h}{\sqrt{L^2 + 4h^2}}$$

برآیند نیروهای به جهت پایین برابر خواهد بود با:

$$\sum \downarrow F_y = (R_y F_y A_g - 0.3 P_n) \sin \theta$$

$$= (R_y F_y A_g - 0.3 P_n) \frac{2h}{\sqrt{L^2 + 4h^2}}$$

$$M_u = \frac{\sum \downarrow F_y L}{4} = \frac{(R_y F_y A_g - 0.3 P_n) \frac{2h}{\sqrt{L^2 + 4h^2}} L}{4} = (R_y F_y A_g - 0.3 P_n) \frac{hL}{2\sqrt{L^2 + 4h^2}}$$


محاسبات مهر ۹۹

تست ۱۷: کدامیک از عبارت های زیر در خصوص قاب های مهاربندی شده فولادی صحیح است؟

$$(F_y = 240 \text{ MPa} \text{ \& } E = 2 \times 10^5 \text{ MPa})$$

(الف) در قاب های مهاربندی شده همگرای معمولی با مهاربندی های از نوع ۷ و ۸، محدودیت نسبت لاغری اعضای مهاربندی نسبت به قاب های مهاربندی شده همگرای ویژه با مهاربندی های از نوع ۷ و ۸، سخت گیرانه تر است.

(ب) در قاب های مهاربندی شده همگرای معمولی با مهاربندی های ضربدری، محدودیت نسبت پهنا به ضخامت اجزای مقطع اعضای مهاربندی نسبت به قاب های مهاربندی شده همگرای ویژه با مهاربندی های ضربدری، سختگیرانه تر است.

(ج) در قاب های مهاربندی شده همگرای معمولی با مهاربندی های از نوع ۷ و ۸، طراحی اعضای مهاربندی به صورت کششی تنها مجاز است.

(د) در قاب های مهاربندی شده همگرای ویژه ضربدری، طراحی اعضای مهاربندی به صورت کششی تنها مجاز است.

حل: ☐ الف ☐ ب ☐ ج ☐ د

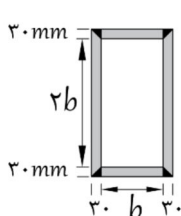
در قاب های مهاربندی شده همگرای معمولی محدودیت لاغری به صورت زیر است:

$$\lambda < 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 115.5$$

و همچنین محدودیت حداکثر لاغری در اعضاء مهاربندی با شکل پذیری ویژه برابر ۲۰۰ می باشد پس گزینه الف صحیح است.

محاسبات مرز ۱۴۰۰

تست ۱۸: فرض کنید برای اعضای مهاربندی یک ساختمان که سیستم مقاوم باربر لرزه ای آن از نوع قاب مهاربندی شده همگرای ویژه است، برای اعضای مهاربندی از مقطع شکل زیر استفاده شده است. حداکثر مقدار مجاز  $b$  به کدام یک از مقادیر



زیر نزدیک تر است؟ در شکل ابعاد به میلی متر،  $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$  و  $F_y = 240 \text{ MPa}$  است.

(الف) ۲۰۰ mm

(ب) ۲۲۰ mm

(ج) ۴۰۰ mm

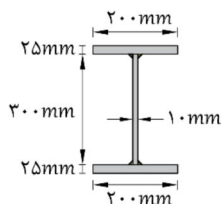
(د) ۴۶۵ mm

حل: ☐ الف ☐ ب ☐ ج ☐ د

$$\frac{rb}{t} \leq 0.65 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \Rightarrow \frac{rb}{3} \leq 0.65 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{1/15 \times 3400}} = 14/7 \Rightarrow b \leq 22/0.5 \text{ cm}$$

مسابقات مردار ۱۴۰۰

**تست ۱۹:** در یک قاب خمشی فولادی ویژه برای تیرهای یکی از دهانه‌ها از مقطع شکل زیر استفاده شده است. در این تیر با اتصال گیردار در دو انتها، حداکثر فاصله مهارهای جانبی در محدوده خارج از نواحی محافظت شده به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ ابعاد در شکل میلی متر،  $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$  و  $F_y = 340 \text{ MPa}$  است. فرض کنید در این فاصله به خاطر بزرگ بودن مقدار  $C_b$ ، در تیر حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی تعیین کننده نخواهد بود.



الف) ۳/۶ m

ب) ۲/۵ m

ج) ۲/۲ m

د) ۱/۶ m

حل: ☐ الف ☒ ب ☐ ج ☐ د

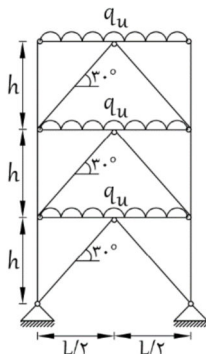
$$L_b = \frac{0.086 r_y E}{R_y F_y}$$

$$I_y = 2 \times \frac{2/5 \times 20^3}{12} + \frac{30 \times 1^3}{12} = 3335/8 \text{ cm}^4, r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3335/8}{130}} = 5/0.6 \text{ cm}$$

$$L_b = \frac{0.086 \times 5/0.6 \times 2 \times 10^6}{1/15 \times 3400} = 222/6 \text{ cm}$$

مسابقات مردار ۱۴۰۰

**تست ۲۰:** در قاب مهاربندی شده همگرای ویژه شکل زیر، اگر مقدار بارهای ثقلی در واحد طول تیر با ضرایب بار در حضور زلزله برابر  $q_u$  بوده و برای اعضای مهاربندی  $F_{cre} = 0.6 R_y F_y$  باشد، تیرهای دهانه‌های مهاربندی باید برای چه نیروی برشی طراحی شوند؟



$A_g$  = سطح مقطع اعضای مهاربندی

$F_y$  = تنش تسلیم مشخصه فولاد اعضای مهاربندی

$R_y$  = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به تنش تسلیم مشخصه اعضای مهاربندی

ب)  $\frac{q_u L}{4} + 0.18 R_y F_y A_g$

الف)  $\frac{q_u L}{4} + 0.08 R_y F_y A_g$

د)  $\frac{q_u L}{4} + 0.2 R_y F_y A_g$

ج)  $\frac{q_u L}{4} + 0.4 R_y F_y A_g$

حل: ☐ الف ☐ ب ☒ ج ☐ د

مقاومت مورد نیاز تیرها باید با استفاده از تحلیل‌های زیر، هر کدام که بزرگتر است صورت گیرد:

الف) تحلیلی که در آن فرض می‌شود نیروی مهاربندهای کششی برابر  $R_y F_y A_g$  و نیروی مهاربندهای فشاری برابر  $1/14 F_{cre} A_g$  است.

ب) تحلیلی که در آن فرض می‌شود نیروی مهاربندهای کششی برابر  $R_y F_y A_g$  و نیروی مهاربندهای فشاری برابر  $0/3 \times 1/14 F_{cre} A_g$  است.

از بین این دو تحلیل تحلیل ب با توجه به اینکه برآیند نیروها به سمت پایین خواهد بود بحرانی تر است: نیروی مهاربند کششی برابر است با:

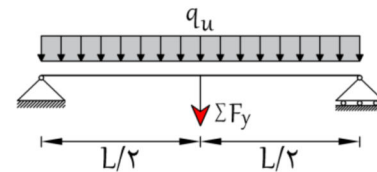
$$T_u = R_y F_y A_g$$

و نیروی مهاربند فشاری برای این که برابر است با:

$$P_u = 0/3 \times 1/14 F_{cre} A_g = 0/3 \times 1/14 \times 0/6 R_y F_y A_g = 0/2 R_y F_y A_g$$

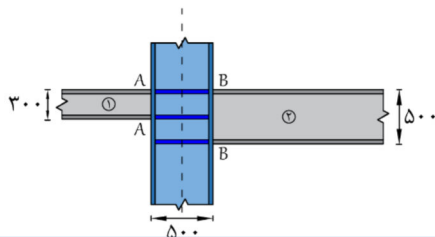
$$\sum \downarrow F_y = (R_y F_y A_g - 0/2 R_y F_y A_g) \sin 30^\circ = 0/4 R_y F_y A_g$$

$$V_u = \frac{q_u L}{2} + \frac{0/4 R_y F_y A_g}{2} = \frac{q_u L}{2} + 0/2 R_y F_y A_g$$



محاسبات ممرار ۱۴۰۰

**تست ۲۱:** شکل نشان داده شده به گره اتصالی در یک سازه فولادی با سیستم قاب خمشی ویژه مربوط است. بارهای ثقیلی وارد بر تیرهای نشان داده شده (شامل وزن تیرها) ناچیز بوده و در محاسبات از آنها صرف نظر شده است. محاسبات نشان می‌دهند که مقاومت خمشی و برشی مورد نیاز اتصال برای تیر شماره یک،  $M_u = 500 \text{ kN.m}$  و  $V_u = 280 \text{ kN}$  و برای تیر شماره دو،  $M_u = 950 \text{ kN.m}$  و  $V_u = 370 \text{ kN}$  است. در این گره اتصال با فرض اینکه کنترل ضابطه تیر ضعیف-ستون قوی الزامی باشد، کوچکترین مقدار قابل قبول برای  $\sum M_{pc}^0$ ، یعنی مجموع لنگرهای خمشی ستون‌های بالا و پایین گره اتصال در امتداد نشان داده شده به کدام یک از گزینه‌های زیر نزدیک تر است؟ در شکل ابعاد به میلی متر است.



الف) ۱۶۱۵ kN.m

ب) ۱۵۲۵ kN.m

ج) ۱۴۵۰ kN.m

د) ۱۴۷۵ kN.m

حل: الف ب ج د

$$\sum M_{pb}^* = (\sum M_{pr} + M_v) = (500 + 950 + 280 \times 0/25 + 370 \times 0/25) = 1612/5 \text{ kN}$$

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1/0 \Rightarrow \sum M_{pc}^* > \sum M_{pb}^* = 1612/5 \text{ kN}$$