سری عمران

موارد اصلاحی بانک سؤالات آزمون محاسبات

مهندسین و مخاطبین عزیز سری عمران

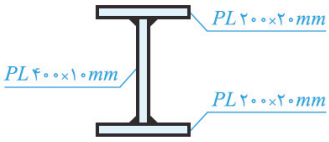
ضمن عرض پوزش بابت اشتباهات تایپی و نگارشی در برخی سؤالات بانک محاسبات، فایل اصلاحیه خدمت شما ارائه می‌گردد.
لازم به ذکر است که سؤالات ارائه شده در این فایل با در نظر گرفتن دو نکته زیر، بایستی جایگزین سؤالات مورد نظر در بانک محاسبات شوند.

- **سؤالاتی که هایلایت دارند: فقط همان قسمت‌های هایلایت شده تغییر یافته‌اند.**
- **سؤالاتی که هایلایت ندارند: پاسخ بطور کامل بازنویسی شده است.**

مهر ۱۳۹۸

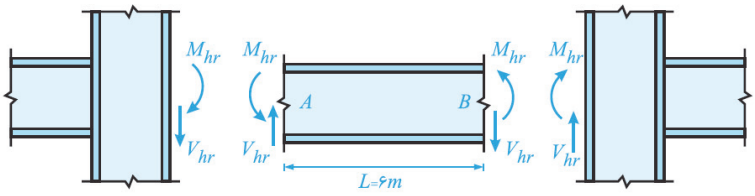
۱- با صرف‌نظر کردن از اثرات بارهای ثقلی، مقاومت خمشی مورد نیاز اتصال گیردار تقویت نشده جوشی ($WUF-W$) تیرورق فولادی ساخته شده از ورق با مشخصات $F_u = ۳۶۰\,MPa$ و $F_y = ۲۳۵\,MPa$ و با مقطع نشان داده شده در شکل زیر و طول دهانهٔ آزاد $۶\,m$ در قاب خمشی متوسط حدوداً چند $kN.m$ می‌باشد؟ (با استفاده از روش $LRFD$)

(ویرایش سؤال)



۱) ۴۸۹
۲) ۵۶۲
۳) ۶۸۴
۴) ۶۱۸

حل: در اتصال صلب تقویت نشده جوشی ($WUF-W$) مفصل پلاستیک در بر ستون ایجاد می‌شود با توجه به اینکه در روش $LRFD$ $\alpha_s = ۱$ می‌باشد، داریم:



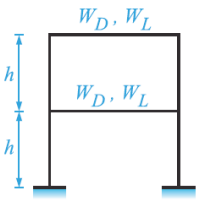
$$Z = Q_{top} + Q_{bot} = ۲Q_{top} = ۲\times[۲۰۰\times۲۰\times۲۱۰ + ۲۰۰\times۱۰\times۱۰۰] = ۲۰۸۰۰۰۰\,mm^۳$$

مقاومت خمشی مورد نیاز اتصال : $M_{hr} = \dfrac{۱/۱\,R_y M_p}{\alpha_s} = ۱/۱\times۱/۱۵\times Z\times F_y$

$$M_u = ۱/۱\times۱/۱۵\times۲۰۸۰۰۰۰\times۲۳۵ = ۶۱۸/۳۵\times۱۰^۶\,N.m \Rightarrow M_u = ۶۱۸\,kN.m$$

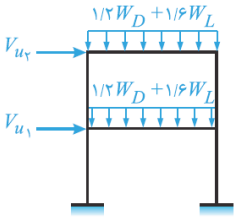
بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

۵۳- در قاب ساختمانی دو طبقهٔ شکل زیر بار مردهٔ طبقات یکسان و برابر W_D و بار زندهٔ طبقات یکسان و برابر W_L است. اگر برای تأمین پایداری این قاب از روش تحلیل مستقیم با τ_b ثابت استفاده شود، مقدار برش در طبقهٔ همکف ناشی از نواقص هندسی اولیه و آثار ناشی از τ_b ثابت در طراحی به روش $LRFD$ و در ترکیب بارگذاری ثقلی ($۱/۲DL + ۱/۶LL$) به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟



۱) $V_b = ۰/۰۰۲۴W_D + ۰/۰۰۳۲W_L$
۲) $V_b = ۰/۰۰۳۶W_D + ۰/۰۰۴۸W_L$
۳) $V_b = ۰/۰۰۴۸W_D + ۰/۰۰۶۴W_L$
۴) $V_b = ۰/۰۰۷۲W_D + ۰/۰۰۹۶W_L$

حل: براساس بند ۱۰-۲-۱-۵-۱-۱ صفحهٔ ۴۳ مبحث دهم مقررات ملّی ساختمان ویرایش ۱۴۰۱، می‌توان به جای درنظر گرفتن نواقص هندسی اولیه در مدل‌سازی، یک بار جانبی فرضی به‌صورت $N_i = ۰/۰۰۲Y_i$ در طبقات ساختمان اعمال نمود. از طرفی با توجه به بند ۳ صفحهٔ ۴۵، می‌توان به جای استفاده از τ_b متغیر برای کاهش اضافی سختی خمشی اعضاء، پارامتر τ_b را برابر یک فرض کرد، مشروط بر اینکه یک بار جانبی اضافی برابر $۰/۰۰۱Y_i$ به کلیهٔ طبقات اعمال شود. بنابراین برش طبقهٔ ناشی از نواقص هندسی اولیه با τ_b ثابت به‌صورت $(۰/۰۰۲+۰/۰۰۱)Y_i$ در هر طبقه منظور می‌شود، به‌طوری که Y_i بار ثقلی ضریب‌دار طبقهٔ iام می‌باشد.



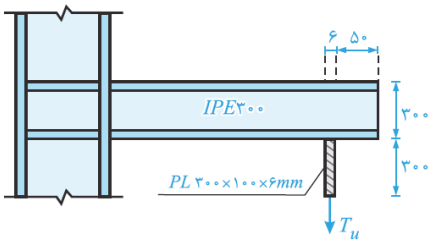
$$V_{u_۱} = ۰/۰۰۳\times(۱/۲W_D + ۱/۶W_L)$$
$$V_{u_۲} = ۰/۰۰۳\times(۱/۲W_D + ۱/۶W_L)$$

در انتها، برش طبقهٔ همکف به‌صورت زیر قابل محاسبه است:

$$V_u = V_{u_۱} + V_{u_۲} = ۲\times۰/۰۰۳\times(۱/۲W_D + ۱/۶W_L)$$
$$V_u = ۰/۰۰۷۲W_D + ۰/۰۰۹۶W_L$$

بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

۵۶- مطابق شکل مقابل، در نزدیک انتهای یک تیر طره‌ای از پروفیل IPE ۳۰۰، تسمه‌ای متصل است که نیروی کششی T_u را به تیر وارد می‌کند. مقاومت طراحی خمش موضعی بال تیر در مقابل این نیروی کششی، براساس طراحی به روش LRFD، به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (اندازه‌ها در روی شکل برحسب میلی‌متر بوده و $F_y = ۲۴۰\ MPa$ است) (ویرایش سؤال)



۱) $۷۷/۳\ kN$
۲) $۸۵/۹\ kN$
۳) $۱۱۶/۰\ kN$
۴) $۱۵۴/۶\ kN$

حل: با استفاده از جدول اشتال:

$IPE\ ۳۰۰ : t_f = ۱۰/۷$

رابطهٔ محاسبهٔ مقاومت اسمی خمش موضعی بال در مقابل نیروی کششی براساس رابطهٔ (۱۰-۲-۹-۲۹) در صفحهٔ ۲۲۹ مبحث دهم مقررات ملّی ساختمان ویرایش ۱۴۰۱، به‌صورت $R_n = ۶/۲۵\ F_{yf}\ t_f^۲$ می‌باشد. ولی طبق توضیحات آیین‌نامه اگر نیروی کششی در فاصله‌ای کمتر از $۱۰t_f$ از انتهای عضو اثر کند، باید مقدار R_n فوق را ۵۰ درصد کاهش دهیم.

بنابراین ابتدا فاصلهٔ محل اثر بار متمرکز از انتهای عضو (e) را با مقدار $۱۰t_f$ مقایسه می‌کنیم و داریم:

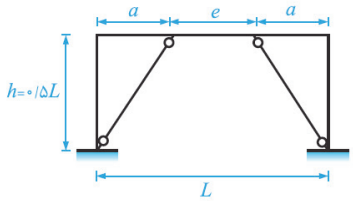
$$e = ۵۰ + \frac{۶}{۲} = ۵۳ < ۱۰t_f = ۱۰ \times ۱۰/۷ = ۱۰۷\ mm \quad \Rightarrow \quad R_n = \frac{۱}{۲} \times ۶/۲۵ \times F_{yf}\ t_f^۲$$

در انتها، مقاومت طراحی خمش موضعی بال به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_d = \phi R_n = \phi \times \frac{۱}{۲} \times ۶/۲۵\ F_{yf}\ t_f^۲ = ۰/۹ \times \frac{۱}{۲} \times ۶/۲۵ \times ۲۴۰ \times ۱۰/۷^۲ = ۷۷۲۸۰\ N = ۷۷/۳\ kN$$

بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.

۵۸- در یک قاب ساختمانی یک طبقه با مهاربندی واگرای ویژهٔ فولادی مطابق شکل، طول تیر پیوند برابر $e = ۲\ M_p / V_p = ۰/۲\ L$ می‌باشد. حداکثر مقدار قابل قبول تغییر مکان جانبی نسبی طرح طبقه (که برابر با تغییر مکان جانبی نسبی طبقه فرض می‌شود) براساس طراحی به روش LRFD، چقدر می‌تواند باشد؟ (ویرایش سؤال)



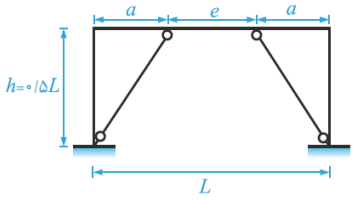
۱) $۰/۰۱۱h$
۲) $۰/۰۱۵h$
۳) $۰/۰۲۰h$
۴) $۰/۰۲۵h$

حل: در قاب‌های مهاربندی واگرای ویژه برای کنترل دوران پلاستیک تیر پیوند داریم:

$$\gamma_p \le (\gamma_p)_{max}$$

مقدار دوران پلاستیک تیر پیوند نسبت به ناحیه خارج از آن (γ_p) باید براساس تغییرمکان جانبی نسبی پلاستیک ضابطهٔ (Δ_p) محاسبه شود.

بنابراین باتوجه به روابط ارائه شده در تبصرهٔ (۲) بند ۱-۴-۳-۴-۳-۱۰ در صفحه ۳۳۹ مبحث دهم مقررات ملّی ساختمان ویرایش ۱۴۰۱، به‌صورت زیر قابل محاسبه است:



$$\gamma_p = \frac{L}{eh} \times \Delta_p = \frac{L}{۰/۲L \times h} \times \Delta_p = ۵ \times \frac{\Delta_p}{h}$$

از طرفی برای محاسبهٔ حداکثر دوران پلاستیک $(\gamma_p)_{max}$ با استفاده از درون‌یابی خطی، داریم:

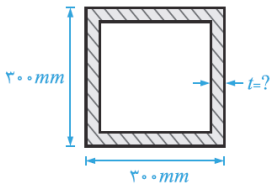
$$(\gamma_p)_{max} = ۰/۱۷۶ - ۰/۰۶ \times \frac{V_p \times e}{M_p} = ۰/۱۷۶ - ۰/۰۶ \times \frac{V_p \times \frac{۲M_p}{V_p}}{M_p} = ۰/۰۵۶\ rad$$

در انتها، از جایگذاری در رابطهٔ کنترلی داریم:

$$\gamma_p \le (\gamma_p)_{max} \quad \Rightarrow \quad ۵ \times \frac{\Delta_p}{h} \le ۰/۰۵۶ \quad \Rightarrow \quad \Delta_p = ۰/۰۱۱۲h$$

بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.

۵۹- ستون فولادی با مقطع جعبه‌ای مربع شکل با ضخامت یکنواخت به طول ۶ متر که شرایط تکیه‌گاهی آن دو سر مفصل است، تحت اثر بار نهایی ۸۰۰ kN قرار دارد. با فرض اینکه پهنای کلی مقطع ۳۰۰ mm بوده و از فولاد S۲۳۵ ($F_y = ۲۳۵\ MPa$) در ساخت آن استفاده شود، حداقل ضخامت لازم برای مقطع تحت اثر بار وارده برحسب میلی‌متر براساس طراحی به روش LRFD، به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (این ستون جزئی از سیستم قاب مهاربند همگرای معمولی فولادی است). (ویرایش سؤال)

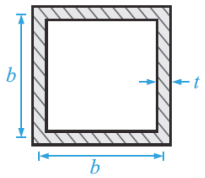


۱) $۴\ mm$
۲) $۶\ mm$
۳) $۸\ mm$
۴) $۱۰\ mm$

حل: براساس آیتم (۸) جدول (۱۰-۲-۲-۲) در صفحه ۵۴ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۴۰۱، ابتدا حداقل مقدار ضخامت را با توجه به کنترل کمانش موضعی در اجزاء مقطع ستون قوطی شکل به‌دست می‌آوریم:

ستون غیرلاغر قوطی : $\frac{b}{t} < ۱/۴۹\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{۳۰۰-۳t}{t} < ۱/۴۹\times\sqrt{\frac{۲\times۱۰^۵}{۲۳۵}} \Rightarrow t \geq ۶/۴۶\ mm \Rightarrow t = ۸\ mm$

در ادامه، با انتخاب حداقل مقدار ۸ میلی‌متر برای ضخامت ستون قوطی شکل، کفایت مقطع را برای بار نهایی ۸۰۰ کیلونیوتن کنترل می‌کنیم:



$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{۲}{۳}b^۳t}{۴\times bt}} = \frac{b}{\sqrt{۶}} = \frac{۳۰۰}{\sqrt{۶}} = ۱۲۲/۴۷\ mm$$

$$\lambda = \frac{kL}{r} = \frac{۱\times۶۰۰۰}{۱۲۲/۴۷} = ۴۹ < ۴/۷۱\times\sqrt{\frac{E}{F_y}} = ۱۳۷ \Rightarrow F_{cr} = \left[۰/۶۵۸^{\frac{F_y}{F_e}}\right]\times F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^۲E}{\lambda^۲} = \frac{\pi^۲\times۲\times۱۰^۵}{۴۹^۲} = ۸۲۲\ MPa$$

$$F_{cr} = \left[۰/۶۵۸^{\frac{۲۳۵}{۸۲۲}}\right]\times۲۳۵ = ۲۰۸/۵\ MPa$$

با جایگذاری در رابطهٔ کنترلی عضو فشاری داریم:

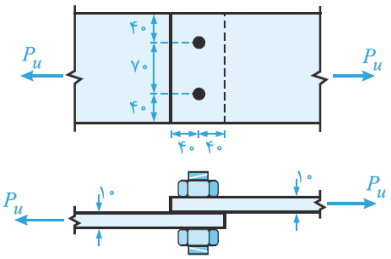
$$P_u \leq P_d = \phi P_n = ۰/۹\times F_{cr}\times A_g$$

$$\Rightarrow ۸۰۰\times۱۰^۳ \leq ۰/۹\times۲۰۸/۵\times(۳۰۰^۲ - (۳۰۰-۲\times۸)^۲) = ۱۷۵۳\times۱۰^۳ \quad OK$$

بنابراین ضخامت ۸ میلی‌متر برای این مقطع مناسب بوده و گزینهٔ (۳) پاسخ صحیح می‌باشد.

بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.

۶۰- در صورتی‌که در اتصال شکل زیر سطوح ماسه‌پاشی شده و رنگ نشده باشد، با فرض استفاده از پیچ M ۲۲ و سوراخ استاندارد، مقاومت کششی طراحی اتصال لغزش بحرانی زیر برحسب کیلونیوتن براساس طراحی به روش LRFD، به کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ (پیچ مصرفی از نوع A۴۹۰ و فولاد مصرفی ورق‌ها دارای $F_y = ۲۳۵\ MPa$ و $F_u = ۳۶۰\ MPa$ است. اندازه‌ها در شکل به میلی‌متر است) (ویرایش سؤال)



۱) ۲۷۵
۲) ۲۵۰
۳) ۲۱۰
۴) ۱۸۰

حل: دقت شود که در سؤال مقاومت کششی طراحی اتصال خواسته شده و برای یافتن آن باید خرابی‌های مختلف در اتصال، از قبیل تسلیم کششی ورق‌های اتصال، گسیختگی ورق‌ها، لغزش در صفحات اتصال، کنترل گسیختگی قالبی در ورق‌ها و مقاومت اتکایی سوراخ پیچ‌های اتصال را مورد بررسی قرار داده و کمترین مقدار به‌دست آمده را به عنوان مقاومت کششی طراحی اتصال انتخاب کنیم.

۱- محاسبهٔ مقاومت طراحی براساس کشش در ورق‌های اتصال:

قطر اسمی سوراخ: $d = ۲۲+۲ = ۲۴\ mm$

قطر محاسباتی سوراخ: $D = ۲۲+۲+۲ = ۲۶\ mm$

$$\phi P_n = min\left\{ ۰/۹ F_y A_g \ , \ ۰/۷۵ F_u \times A_e \right\} \ , \ A_e = UA_n = A_n$$

$$\phi P_n = min\left\{ ۰/۹ \times ۲۳۵ \times (۱۵۰ \times ۱۰) \ , \ ۰/۷۵ \times ۳۶۰ \times (۱۵۰ - ۲ \times ۲۶) \times ۱۰ \right\}$$

۳۱۷۲۵۰ ۲۶۴۶۰۰

$$\phi P_n = ۲۶۴ \, kN$$

۲- محاسبهٔ مقاومت طراحی براساس لغزش صفحات در اتصال پیچی لغزش بحرانی:

برای هر پیچ : $\phi R_n = \phi \, \mu \, D_u h_f \, T_b \, n_s$

$\mu = ۰/۵$: سطوح ماسه‌پاشی شده و رنگ نشده کاملاً محافظت شده

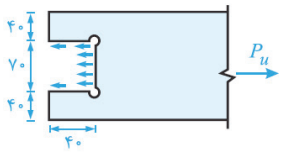
$$(M ۲۲۰ \ , \ A ۴۹۰) \ \Rightarrow \ T_b = ۲۲۱ kN$$

$\phi = ۱$: سوراخ استاندارد $n_s = ۱$: اتصال یک برشه

برای دو پیچ $\phi R_n = ۲ \times \left[۱ \times ۰/۵ \times ۱/۱۳ \times ۲۲۱ \times ۱ \right] \approx ۲۵۰ \, kN$

۳- محاسبهٔ مقاومت طراحی براساس گسیختگی قالبی:

$$R_n = min\,(۰/۶ F_y A_{gv} \ , ۰/۶ F_u A_{nv}) + U_{bs} F_u A_{nt}$$



$$A_{gv} = ۲ \times ۴۰ \times ۱۰ = ۸۰۰ \, mm^۲$$

$$A_{nv} = ۲ \times (۴۰ - \frac{۲۶}{۲}) \times ۱۰ = ۵۴۰ \, mm^۲$$

$$A_{nt} = (۷۰ - ۲۶) \times ۱۰ = ۴۴۰ \, mm^۲$$

$$U_{bs} = ۱$$

$$\phi R_n = \phi \times [min\,(۰/۶ \times ۲۳۵ \times ۸۰۰ \ , \ ۰/۶ \times ۳۶۰ \times ۵۴۰) + ۱ \times ۳۶۰ \times ۴۴۰] = ۰/۷۵ \times ۲۷۱/۲ = ۲۰۳/۴ \, kN$$

۴- محاسبهٔ مقاومت طراحی براساس مقاومت اتکایی جدار سوراخ پیچ‌ها:

مقاومت اتکایی متناظر یک پیچ : $\frac{P_u}{۲} = \phi R_n \ \Rightarrow \ P_u = ۲ \times ۰/۷۵ \times ۲/۴ dt \, F_u = ۲ \times ۰/۷۵ \times ۲/۴ \times ۲۲ \times ۱۰ \times ۳۶۰ = ۲۸۵/۱۲ \, kN$

۵- محاسبهٔ مقاومت طراحی براساس مقاومت پارگی در حد فاصل بین سوراخ‌ها و نیز در فاصلهٔ بین سوراخ‌ها تا لبهٔ قطعات:

$$l_c = ۴۰ - \frac{d}{۲} = ۴۰ - \frac{۲۴}{۲} = ۲۸ \, mm$$

توجه شود که برای محاسبهٔ l_c از قطر اسمی و نه قطر محاسباتی سوراخ استفاده می‌شود.

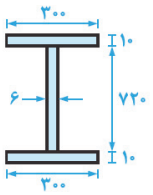
$$\frac{P_u}{۲} = \phi R_n \Rightarrow \ P_u = ۲ \times ۰/۷۵ \times ۱/۲ \, l_c t \, F_u = ۰/۷۵ \times ۱/۲ \times ۲۸ \times ۱۰ \times ۳۶۰ = ۱۸۱/۴۴ \, kN$$

$$P_d = \phi P_n = min\left\{ ۲۶۴ , ۲۵۰ , ۲۰۳/۴ , ۲۸۵/۱۲ , ۱۸۱/۴۴ \right\} = ۱۸۱/۴۴ \, kN$$

بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

مهر ۱۳۹۹

۱- در یک تیر فولادی ساخته شده از ورق با مقطع شکل مقابل، فاصلهٔ آزد بین سخت‌کننده‌های عرضی در یک چشمه برابر ۱۵۰۰mm است. در صورتی که استفاده از عمل میدان کششی در این چشمه مجاز باشد، نسبت مقاومت برشی اسمی مقطع با توجه به عمل میدان کششی به مقاومت برشی اسمی مقطع بدون توجه به عمل میدان کششی، براساس طراحی به روش LRFD، به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ در شکل ابعاد به میلی‌متر است. $(F_y = ۲۳۵\ MPa \ , \ E = ۲\times۱۰^۵\ MPa)$ (ویرایش سؤال)



۱) ۱/۰ ۲) ۱/۱۰ ۳) ۱/۲۰ ۴) ۱/۳۰

حل: در حالتی که از عمل میدان کششی استفاده نشود، با توجه به توضیحات بند (۱۰-۲-۶-۲-۱ ب-۲) در صفحه ۱۲۶، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۴۰۱، داریم:

$$V_{n۱} = ۰/۶ F_y A_w C_{v۱} \ , \ k_v = ۵ + \frac{۵}{(\frac{a}{h})^۲} = ۵ + \frac{۵}{(\frac{۱۵۰۰}{۷۲۰})^۲} = ۶/۱۵۲$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{۷۲۰}{۶} = ۱۲۰ > ۱/۱ \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = ۱/۱ \sqrt{\frac{۶/۱۵۲ \times ۲ \times ۱۰^۵}{۲۳۵}} = ۷۹/۵۹$$

$$C_{v۱} = \frac{۱/۱}{(\frac{h}{t_w})} \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = \frac{۱/۱}{\frac{۷۲۰}{۶}} \sqrt{\frac{۶/۱۵۲ \times ۲ \times ۱۰^۵}{۲۳۵}} = ۰/۶۶۳$$

در حالتی که از عمل میدان کششی استفاده شود با توجه به بند ۱۰-۲-۶-۲-۲ در صفحات ۱۲۶ و ۱۲۷، داریم:

چک کردن شروط بند ب-۱ در صفحه ۱۲۷ برای تعیین $V_{n۲}$:

$$\frac{h}{b_{ft}} = \frac{h}{b_{fc}} = \frac{۷۲۰}{۳۰۰} = ۲/۴ \le ۶ \ , \ \frac{۲A_w}{A_{fc} + A_{ft}} = \frac{۲ \times ۷۴۰ \times ۶}{۳۰۰ \times ۱۰ + ۳۰۰ \times ۱۰} = ۱/۴۸ \le ۲/۵$$

$$V_{n۲} = ۰/۶ F_y A_w [C_v + \frac{۱ - C_v}{۱/۱۵ \sqrt{۱ + (\frac{a}{h})^۲}}]$$

$$\frac{h}{t_w} = ۱۲۰ > ۱/۳۷ \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = ۱/۳۷ \sqrt{\frac{۶/۱۵۲ \times ۲ \times ۱۰^۵}{۲۳۵}} = ۹۹/۱۳$$

$$C_{v۲} = \frac{۱/۵۱ k_v E}{(h/t_w)^۲ F_y} = \frac{۱/۵۱ \times ۶/۱۵۲ \times ۲ \times ۱۰^۵}{(۱۲۰)^۲ \times ۲۳۵} = ۰/۵۴۹$$ (رابطه ۱۰-۲-۶-۱۳ در صفحه ۱۲۸)

$$\frac{V_{n۲}}{V_{n۱}} = \frac{C_{v۲} + \frac{۱ - C_{v۲}}{۱/۱۵ \sqrt{۱ + (\frac{a}{h})^۲}}}{C_{v۱}} = \frac{۰/۵۴۹ + \frac{۱ - ۰/۵۴۹}{۱/۱۵ \sqrt{۱ + (\frac{۱۵۰۰}{۷۲۰})^۲}}}{۰/۶۶۳} = ۱/۰۸$$

بنابراین گزینهٔ (۲) صحیح است.

۴۹- فرض کنید مقاومت برشی اسمی یک مقطع I شکل ساخته شده از ورق با $\frac{h}{t_w} = ۵۰$ برابر V_n است. اگر ضخامت جان این مقطع نصف شود، مقدار مقاومت برشی اسمی این مقطع حدوداً چقدر خواهد بود؟ فرض کنید مقاومت برشی اسمی در امتداد جان مقطع مدنظر است. همچنین فرض کنید عضو در طول خود فاقد سخت‌کننده‌های عرضی بوده و استفاده از آثار عمل میدان کششی مدنظر نیست. $(F_y = ۲۴۰ MPa \ , E = ۲\times۱۰^۵\ MPa)$

۱) $۰/۶۳ V_n$ ۲) $۰/۵۰ V_n$ ۳) $۰/۴۲ V_n$ ۴) $۰/۳۷ V_n$

حل: با توجه به اینکه تیرورق در طول خود فاقد سخت‌کننده‌های عرضی است، ضریب کمانش برشی ورق جان (k_v) برابر ۵/۳۴ می‌باشد. قبل از نصف شدن ضخامت جان تیرورق، داریم:

$$\lambda_۱ = \frac{h}{t_w} = ۵۰ < ۱/۱ \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = ۱/۱ \sqrt{\frac{۵/۳۴ \times ۲ \times ۱۰^۵}{۲۴۰}} = ۷۳ \Rightarrow C_{v۱} = ۱/۰$$

$$V_n = ۰/۶ F_y A_w C_{v۱}$$

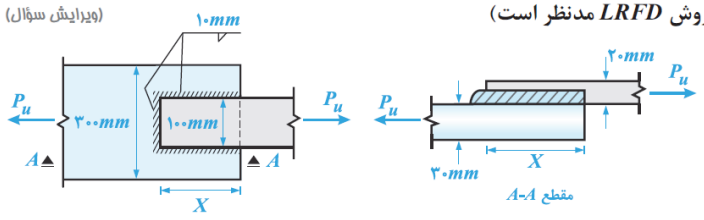
$$\lambda_۲ = \frac{h}{\frac{t_w}{۲}} = ۲ \times \frac{h}{t_w} = ۲ \times ۵۰ = ۱۰۰ > ۱/۱ \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = ۱/۱ \sqrt{\frac{۵/۳۴ \times ۲ \times ۱۰^۵}{۲۴۰}} = ۷۳ \Rightarrow C'_{v۱} = \frac{۱/۱}{\frac{h}{t_w}} \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = ۰/۷۳$$

$$\frac{V_n'}{V_n}=\frac{۰/۶F_y A_w' C_{v۱}'}{۰/۶F_y A_w C_{v۱}}=\frac{۱}{۲}\times\frac{۰/۷۳}{۱}=۰/۳۷$$

توجه شود که گزینهٔ اول تست بدون محاسبه رد می‌شود و گزینهٔ نامناسبی است. چون با نصف شدن ضخامت جان تیرورق، مساحت جان تیرورق نصف می‌شود و از طرف دیگر هم با دو برابر شدن لاغری جان مقطع، قطعاً اگر وضعیت جان تیرورق از نظر کمانشی بدتر نشود، بهتر نمی‌شود و بنابراین انتظار می‌رود ضریب برشی جان تیرورق (C_v) ثابت باقی مانده و یا کاهش یابد و در نتیجه با توجه به کاهش ۵۰ درصدی مساحت جان تیرورق، انتظار حداقل ۵۰ درصد کاهش در مقاومت برشی اسمی تیرورق را داریم ($\frac{V_{۲n}}{V_{۱n}}\le ۰/۵$) و بنابراین گزینهٔ اول بلاموضوع است و تحت هیچ شرایطی نمی‌تواند صحیح باشد. **بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.**

۵۱- در اتصال جوشی شکل زیر اگر مقدار نیروی کششی نهایی (P_u) برابر ۳۴۰kN باشد، بر این اساس حداقل مقدار قابل‌قبول برای طول x به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ الکترود مصرفی از نوع E۷۰ بوده و در شکل ابعاد به میلی‌متر است. فرض کنید جوش از طریق آزمایش التراسونیک مورد بررسی قرار خواهد گرفت. (طراحی براساس روش LRFD مدنظر است)

(ویرایش سؤال)



۱) ۶۰ mm
۲) ۱۰۰ mm
۳) ۱۲۰ mm
۴) ۱۵۰ mm

حل: ابتدا با توجه به مقدار نیروی وارد بر اتصال جوشی، طول جوش لازم را محاسبه می‌کنیم و سپس آن را با حداقل طول همپوشانی در اتصالات پوششی مقایسه و کنترل می‌کنیم:

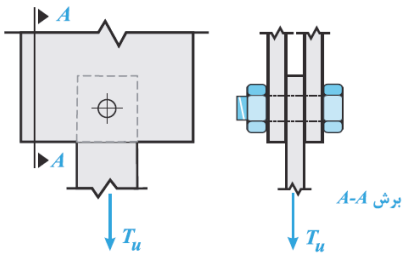
$$R_d=\phi R_n=\phi\times ۰/۶F_u\times ۰/۷۰۷D\times L_w$$

$$R_d=۰/۷۵\times ۰/۶\times ۴۹۰\times ۰/۷۰۷\times ۱۰\times(۲x+۱۰۰)=۱۵۵۸/۹۳۵(۲x+۱۰۰)\ge P_u=۳۴۰\,kN=۳۴۰\times ۱۰^۳N$$

$$\Rightarrow\ ۲x+۱۰۰\ge\frac{۳۴۰\times ۱۰^۳}{۱۵۵۸/۹۳۵}=۲۱۸\,mm\ \Rightarrow\ x\ge\frac{۲۱۸-۱۰۰}{۲}=۵۹\,mm$$

باتوجه به پاراگراف دوم توضیحات بند ۶ صفحه ۱۹۶ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، در وضعیتی که اتصال به اندازه کافی مقید شده باشد یا از طریق حداقل دو ردیف طولی جوش انگشتانه یا کام و یا دو یا چند خط جوش گوشهٔ طولی از تغییرشکل ناحیهٔ هم‌پوشانی و در نتیجه از باز شدن اتصال تحت اثر بار محوری جلوگیری شود، می‌توان از جوش گوشهٔ عرضی فقط از یک طرف اتصال استفاده کرد و در این حالت نیازی به تأمین حداقل طول هم‌پوشانی نیست. با توجه به اینکه در این اتصال جوشی، دو پاس جوش طولی و یک پاس جوش عرضی وجود دارد، شرایط فوق‌الذکر وجود دارد و در نتیجه نیازی نیست که حداقل طول هم‌پوشانی رعایت شود. در بین گزینه‌ها، نزدیکترین گزینه به طول ۵۹ میلی‌متر محاسبه شده، طول ۶۰ mm است. **بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.**

۵۶- در اتصال با عملکرد لغزش بحرانی و دارای وضعیت سطحی فلس‌دار و رنگ نشدهٔ نشان داده شده در شکل مقابل پیچ به قطر ۱۶ میلی‌متر (M۱۶) از ردهٔ A۴۹۰ بوده و سوراخ از نوع بزرگ‌شده است. اگر لبه‌های ورق با گیوتین بریده شود، فقط براساس کنترل لغزش اتصال، حداکثر نیروی کششی نهایی قابل تحمل توسط اتصال (T_u) و حداقل فاصلهٔ مرکز سوراخ تا لبهٔ ورق به ترتیب به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟



۱) ۳۳ kN و ۳۲ mm
۲) ۳۳ kN و ۳۵ mm
۳) ۶۵ kN و ۳۲ mm
۴) ۶۵ kN و ۳۵ mm

حل: در این اتصال لغزش بحرانی، سه ورق توسط پیچ به یکدیگر متصل شده‌اند و بنابراین پیچ اتصال دو برشه است و دو سطح لغزش دارد. حداکثر نیروی کششی نهایی قابل تحمل توسط اتصال (T_u) همان مقاومت طراحی لغزشی اتصال است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$R_d=\phi R_n$ ، $\phi=۰/۸۵$ (سوراخ بزرگ شده) ، $R_n=\mu D_u h_f T_b n_s$ (رابطه ۱۰-۲-۹-۱۱ در صفحه ۲۱۴ مبحث دهم)

$\mu=۰/۳$ (سطح فلش‌دار تمیز و رنگ نشده) ، $D_u=۱/۱۳$ ، $h_f=۱$ (ورق پرکننده نداریم) ، $n_s=۲$ (تعداد صفحات لغزش)

$T_b=۱۱۴\,kN$ (جدول ۱۰-۲-۹-۵ در صفحه ۲۰۷ مبحث دهم)

$$R_d=۰/۸۵\times ۰/۳\times ۱/۱۳\times ۱\times ۱۱۴\times ۲=۶۵/۷\,kN$$

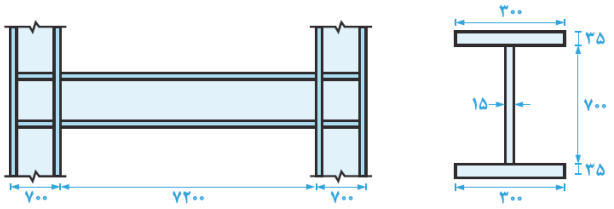
براساس ضابطهٔ حداقل فاصلهٔ مرکز سوراخ‌ها تا لبه در اتصالات پیچی و جداول (۱۰-۲-۹-۷) و (۱۰-۲-۹-۸) در صفحه ۲۱۰ مبحث دهم مقررات ملّی ساختمان ویرایش ۱۴۰۱، نتیجه می‌شود که حداقل فاصلهٔ مرکز سوراخ تا لبهٔ ورق برابر است با $2d+3\ mm$ که d قطر اسمی پیچ است:

$$2d+3\ mm=2\times16+3=35\ mm$$

بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

۵۸- کدام گزینه نوع اتصال گیردار مجاز از پیش تائید شده تیر فولادی از جنس $S235\ JR$، با مقطع زیر که به ستون H شکل در قاب خمشی متوسط متصل می‌شود را مشخص می‌کند؟ ابعاد در شکل به میلی‌متر بوده و فرض کنید تیر در سرتاسر طول خود از مهارهای جانبی کافی برخوردار است.

۱) RBS
۲) $WUF\text{-}W$
۳) BFP
۴) WFP



حل: براساس ضوابط ۱۰-۳-۷ اتصالات صلب از پیش تأیید شده در صفحه ۳۹۱، مبحث دهم مقررات ملّی ساختمان ویرایش ۱۴۰۱، در هر سه اتصال BFP، WFP و $WUF-W$، ضخامت بال مقطع تیر نباید از ۳۰ میلی‌متر تجاوز نماید در حالی‌که در اتصال RBS، ضخامت بال مقطع تیر نباید از ۵۵ میلی‌متر تجاوز نماید. با توجه به اینکه در شکل تیرورق ارائه شده در صورت تست، ضخامت بال تیر $35\ mm$ است، نتیجه می‌شود برای این اتصال صلب تیر به ستون، صرفاً اتصال RBS مجاز و قابل قبول می‌باشد و بنابراین گزینهٔ اول صحیح است.

برای کامل بودن حل، محدودیت‌های دیگری از اتصال RBS را کنترل می‌کنیم:

الف) جرم واحد طول تیر نباید از ۶۰۰ کیلوگرم تجاوز کند:

$$A=2A_f+A_w=2\times300\times35+700\times15=31500\ mm^2=31500\times10^{-6}\ m^2=0/0315\ m^2$$

$$\lambda=A\rho=0/0315\ m^2\times7850\ kg/m^3\simeq247/3\ kg/m<600\ kg/m\qquad OK$$

ب) عمق مقطع تیر نباید از ۱۱۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید. با توجه به شکل تیرورق، عمق مقطع تیر برابر $700+35+35=770\ mm$ بوده که از $1100\ mm$ کوچکتر است و این محدودیت ارضاء می‌شود.

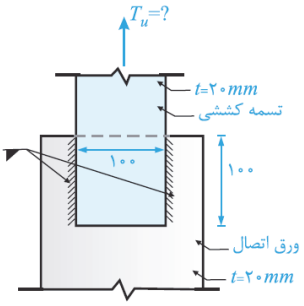
ج) عمق مقطع ستون‌های H شکل و صلیبی نباید از ۱۰۰۰ میلی‌متر تجاوز کند. با توجه به شکل، عمق مقطع ستون H شکل برابر ۷۰۰ میلی‌متر بوده و بنابراین این محدودیت نیز ارضاء می‌شود.

د) براساس آیتم (۴) از صفحه ۳۹۸، نسبت دهانهٔ آزاد تیر به عمق مقطع آن نباید از ۷ در قاب‌های خمشی ویژه و از ۵ در قاب‌های خمشی متوسط کمتر در نظر گرفته شود. با توجه به صورت تست، قاب خمشی متوسط بوده و نسبت دهانهٔ آزاد تیر به عمق آن برابر است با $\frac{7200}{770}=9/35$ که بزرگتر از ۵ بوده و در نتیجه این محدودیت آیین‌نامه نیز ارضاء می‌شود.

با توجه به جمیع توضیحات فوق، نتیجه می‌شود در این تست، اتصال RBS مجاز می‌باشد. **بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.**

مرداد ۱۴۰۰

۴۶- فقط براساس کنترل مقاومت طراحی تسمهٔ کششی، حداقل بار نهایی (T_u) قابل تحمل توسط تسمهٔ کششی با $F_u = ۳۶۰\,MPa$ و $F_y = ۲۳۵\,MPa$ که با استفاده از جوش‌های گوشهٔ یک طرفه به ورق اتصال جوش شده است. براساس طراحی به روش LRFD، به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ در شکل ابعاد به میلی‌متر است ضخامت تسمهٔ کششی و ورق اتصال برابر ۲۰ میلی‌متر است. (ویرایش سؤال)



۱) $۵۶۰\,kN$
۲) $۴۲۰\,kN$
۳) $۳۶۰\,kN$
۴) $۴۰۵\,kN$

حل: براساس بند ۱۰-۲-۳-۴ در صفحه ۶۳ و ۶۴ آیین نامه مبحث دهم ویرایش ۱۴۰۱، برای محاسبهٔ مقاومت کششی طراحی تسمهٔ کششی در ناحیهٔ اتصال داریم:

$$T_u \le min\ \{۰/۹\,F_y A_g\ ,\ ۰/۷۵\,F_u A_e\}$$

$$A_g = ۱۰۰ \times ۲۰ = ۲۰۰۰\,mm^۲$$

برای محاسبهٔ سطح مقطع مؤثر تسمه (A_e) با توجه به دو خط جوش در امتداد نیروی کششی ابتدا ضریب تأخیر برش U را با توجه به جدول (۱۰-۲-۳-۱) آیتم ۴ در صفحه ۶۱، به صورت مقابل به‌دست می‌آوریم:

$$l = ۱۰۰\,mm\ ,\ W = ۱۰۰\,mm\ ,\ \bar{x} = \frac{t}{۲}$$

$$U = \frac{(۳l^۲)}{(۳l^۲ + W^۲)}\left(۱ - \frac{\bar{x}}{l}\right) = \frac{(۳ \times ۱۰۰^۲)}{(۳ \times ۱۰۰^۲ + ۱۰۰^۲)}\left(۱ - \frac{\frac{۲۰}{۲}}{۱۰۰}\right) = ۰/۶۷۵$$

$$A_e = UA_g = ۰/۶۷۵ \times ۲۰۰۰ = ۱۳۵۰\,mm^۲$$

در انتها با جایگذاری در رابطهٔ کنترلی عضو کششی در ناحیهٔ اتصال داریم:

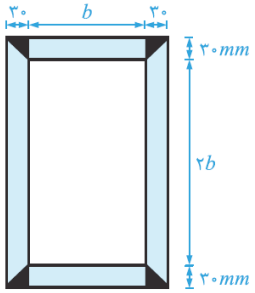
$$T_u \le min\ \{۰/۹ \times ۲۳۵ \times ۲۰۰۰\ ,\ ۰/۷۵ \times ۳۶۰ \times ۱۳۵۰\} = min\ \{۴۲۳۰۰۰\,N\ ,\ ۳۶۴۵۰۰\,N\}$$

$$\Rightarrow T_u \le ۳۶۴۵۰۰\,N = ۳۶۴/۵\,kN$$

تذکر: در صورت سؤال حداقل بار نهایی (T_u) قابل تحمل تسمه خواسته شده است که این بیان، نادرست بوده و حداکثر بار نهایی (T_u)، عبارت صحیح می‌باشد.

بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.

۵۶- فرض کنید برای اعضای مهاربندی یک ساختمان که سیستم مقاوم باربر لرزه‌ای آن از نوع قاب مهاربندی شدهٔ همگرای ویژه است، برای اعضای مهاربندی از مقطع شکل مقابل استفاده شده است. حداکثر مقدار مجاز b به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ در شکل ابعاد به میلی‌متر، $E = ۲ \times ۱۰^۵\,MPa$ و $F_y = ۳۴۰\,MPa$ است. (ویرایش سؤال)



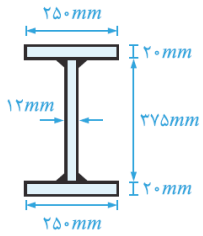
۱) $۱۸۶\,mm$
۲) $۲۲۰\,mm$
۳) $۴۰۰\,mm$
۴) $۴۶۵\,mm$

حل: مطابق بند ۱۰-۳-۴-۲ در صفحهٔ ۲۶۰ آیین‌نامه مبحث دهم ویرایش ۱۴۰۱، مقاطع اعضای مهاربندی‌ها در قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه باید از نوع فشرده لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر با λ_{hd} باشند. بنابراین با استفاده از جدول (۱۰-۲-۳-۴) آیتم ۳ در صفحه ۲۶۲ و جدول (۱۰-۲-۳-۱) در صفحه ۲۵۳ داریم:

$$\frac{b}{t} \le \lambda_{hd} \Rightarrow \frac{(۲b)}{۳۰} \le ۰/۶۵\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = ۰/۶۵\sqrt{\frac{۲ \times ۱۰^۵}{۱/۱۵ \times ۳۴۰}} = ۱۴/۷۰ \Rightarrow b \le ۲۲۰/۵\,mm$$

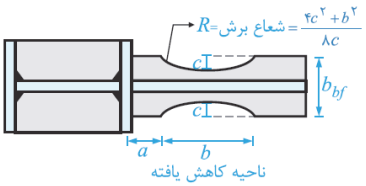
تذکر: دقت شود در کنترل بال مقطع برای عضو مهاربندی تحت فشار، کافی است ضلع بلندتر مقطع را کنترل کنیم. **بنابراین گزینهٔ (۲) صحیح است.**

۵۹- در یک قاب خمشی فولادی ویژه قرار است برای تیر با مقطع شکل زیر از اتصال گیردار مستقیم با مقطع کاهش یافته استفاده شود. اگر طول ناحیهٔ کاهش یافته ۳۳۰ میلی‌متر باشد، کدام‌یک از مقادیر زیر نمی‌تواند به عنوان شعاع برش انتخاب شود؟



۱) $۲۷۰\,mm$
۲) $۳۷۰\,mm$
۳) $۴۷۰\,mm$
۴) $۵۷۰\,mm$

حل: مطابق بند (۱۰-۳-۷-۲-۱) مورد (۹) در صفحهٔ ۳۹۸، شعاع برش در اتصال RBS به‌صورت $R=\frac{۴c^۲+b^۲}{۸c}$ می‌باشد که در آن طول ناحیهٔ کاهش یافته $b=۳۳۰\,mm$ می‌باشد و c می‌تواند در محدوده مجاز زیر قرار گیرد:



$$۰/۱\,b_{bf}\le c\le ۰/۲۵\,b_{bf}\ \Rightarrow\ ۰/۱\times ۲۵۰\le c\le ۰/۲۵\times ۲۵۰\ \Rightarrow\ ۲۵\,mm\le c\le ۶۲/۵\,mm$$

در ادامه، با جایگذاری مقادیر حداقل و حداکثر c در رابطه شعاع برش (R) داریم:

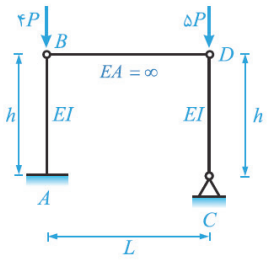
$$c_{min}=۲۵\,mm\ \Rightarrow\ R=\frac{۴c^۲+b^۲}{۸c}=\frac{۴\times ۲۵^۲+۳۳۰^۲}{۸\times ۲۵}=۵۵۷\,mm$$

$$c_{max}=۶۲/۵\,mm\ \Rightarrow\ R=\frac{۴c^۲+b^۲}{۸c}=\frac{۴\times ۶۲/۵^۲+۳۳۰^۲}{۸\times ۶۲/۵}=۲۴۹\,mm$$

بنابراین محدودهٔ مجاز شعاع برش به‌صورت $۲۴۹\,mm<R<۵۵۷\,mm$ می‌باشد. ملاحظه می‌شود که مقدار شعاع $۵۷۰\,mm$ خارج از محدودهٔ فوق بوده و در نتیجه گزینهٔ (۴) پاسخ صحیح می‌باشد.

شهریور ۱۴۰۱

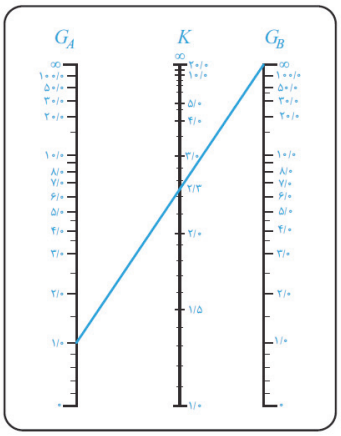
۴۳- در قاب شکل زیر، براساس روش طول مؤثر، طول مؤثر ستون AB با در نظر گرفتن تأثیر انتقال آثار $P-\Delta$ ناشی از بار وارد بر ستون CD، به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (کمانش در داخل صفحه مدنظر است) برای پاسخ از روال رایج برای قاب‌های خمشی استفاده کنید.



۱) $۱۰h$
۲) $۱/۱h$
۳) $۲/۶۹h$
۴) $۳/۴۵h$

حل: با کمی دقت می‌توان دریافت که عملکرد ستون دو سر مفصل CD ثقلی بوده و پایداری جانبی قاب فقط از طریق سختی خمشی ستون کنسولی AB تأمین می‌شود. بنابراین در قاب، ستون CD نقش قاب‌های ثقلی و ستون AB نقش قاب‌های خمشی را ایفا کرده و در نتیجه ضریب طول مؤثر ستون CD برابر واحد و ضریب طول مؤثر ستون AB برای در نظر گرفتن تأثیر $P-\Delta$ قاب‌های ثقلی به اعضای فشاری قاب‌های خمشی به شرح زیر محاسبه می‌شود:

ابتدا با استفاده از نموگراف، مقدار ضریب طول مؤثر ستون AB را محاسبه کرده و سپس مقدار آن را اصلاح می‌کنیم.



$$\begin{cases} G_B = \dfrac{E(۲I)}{L} = \infty \\ G_A = ۱/۰ \quad \text{(برای تکیه‌گاه گیردار)} \end{cases} \xrightarrow{\text{از نموگراف}} K_{AB} = ۲/۳$$

در ادامه، ضریب طول مؤثر اصلاح شده AB به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$K'_{AB} = \sqrt{\frac{\pi^۲EI}{\frac{L^۲}{P_r}\left[\frac{P_{story}}{\sum\frac{\pi^۲EI}{(K_{n۲}L)^۲}}\right]}} \geq \left(\sqrt{\frac{۵}{۸}}K_{AB}\ ,\ ۱\right)$$

$$(P_r)_{AB} = ۴P\ ,\ P_{story} = ۴P + ۵P = ۹P$$

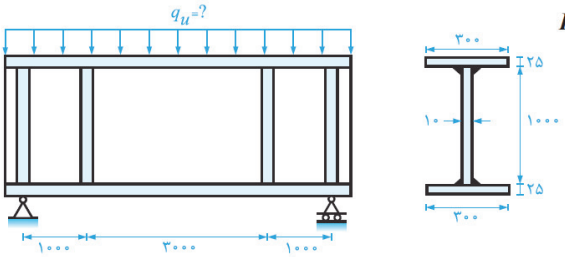
$$K'_{AB} = \sqrt{\frac{\pi^۲EI}{\frac{L^۲}{۴P}\times\left[\frac{۹P}{\frac{\pi^۲EI}{(۲/۳L)^۲}}\right]}} = ۳/۴۵ \geq \left(\sqrt{\frac{۵}{۸}}\times ۲/۳\ ,\ ۱\right) = (۱/۸۲\ ,\ ۱) \quad OK$$

$$\Rightarrow K'_{AB} = ۳/۴۵ \Rightarrow (L_e)_{AB} = K'_{AB}L = ۳/۴۵h$$

بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

دی ۱۴۰۱

۴۴- فقط براساس کنترل برش در چشمه‌های ابتدایی و انتهایی، حداکثر مقدار q_u قابل تحمل توسط تیر شکل زیر به کدام‌یک از گزینه‌ها نزدیک‌تر است؟ در شکل ابعاد به میلی‌متر است. $E = ۲\times۱۰^۵ MPa$ و $F_y = ۲۴۰ MPa$



۱) $۳۵۰\ kN/m$
۲) $۶۰۵\ kN/m$
۳) $۵۴۰\ kN/m$
۴) $۱۳۶۰\ kN/m$

حل: طبق بند ۱۰-۲-۶-۲-۲ در صفحه ۱۲۶ مبحث دهم ویرایش ۱۴۰۱، در مواردی که قطعات سخت‌کننده عرضی با $a/h \le ۳$ در جان تیر تعبیه شود، در چشمه‌های داخلی فاقد بازشو در جان می‌توان برای تعیین مقاومت برشی اسمی اعضا از عمل میدان کششی استفاده نمود. بنابراین در چشمه‌های ابتدایی و انتهایی، نمی‌توان از عمل میدان کششی استفاده کرد. با توجه به رابطه ۱۰-۲-۶-۶ در صفحه ۱۲۶ داریم:

$$\frac{a}{h}=\frac{۱۰۰۰}{۱۰۰۰}=۱<۳ \quad \Rightarrow \quad k_v = ۵+\frac{۵}{(\frac{a}{h})^۲}=۵+\frac{۵}{۱^۲}=۱۰$$

با توجه به حالت ب - ۱ در صفحه ۱۲۵ داریم:

$$\frac{h}{t_w}=\frac{۱۰۰۰}{۱۰}=۱۰۰<۱/۱\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}=۱/۱\sqrt{\frac{۱۰\times۲\times۱۰^۵}{۲۴۰}}=۱۰۰/۴ \quad \Rightarrow \quad C_{v۱}=۱/۰$$

$$V_d=\phi_v V_n=\phi_v\ (۰/۶ F_y\ A_w\ C_{v۱})=۰/۹\times۰/۶\times۲۴۰\times(۱۰۰۰+۲۵+۲۵)\times۱۰\times۱=۱۳۶۰۸۰۰ N=۱۳۶۰/۸ kN$$

با توجه به اینکه در یک تیر دو سر مفصل تحت اثر بار گسترده یکنواخت به شدت q_u ، نیروی برشی حداکثر در تکیه‌گاه‌ها به وجود می‌آید که برابر است با $\frac{q_u L}{۲}$ ، داریم:

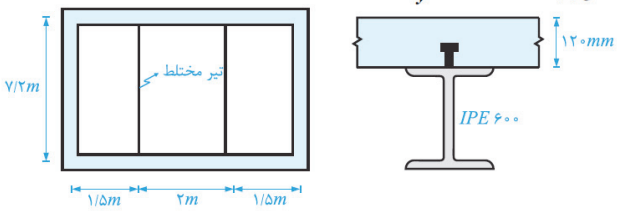
$$L=۱۰۰۰+۳۰۰۰+۱۰۰۰=۵۰۰۰ mm=۵ m$$

$$(V_u)_{max}=V_d \quad \Rightarrow \quad \frac{q_u\ L}{۲}=\frac{q_u\times۵}{۲}=۲/۵ q_u=۱۳۶۰/۸ \quad \Rightarrow \quad q_u=\frac{۱۳۶۰/۸}{۲/۵}=۵۴۴/۳۲\ kN/m$$

با توجه به گزینه‌ها دیده می‌شود که گزینه (۳) صحیح است.

بنابراین گزینه (۳) صحیح است.

۴۵- برای پوشش یک سقف از دو تیر دو سر ساده با مقطع مختلط به دهانه ۷/۲ متر و با عملکرد مختلط کامل استفاده شده است. مقاومت خمشی مثبت اسمی این تیرها به کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ $f'_c = ۳۰ MPa$ و $F_y = ۲۴۰ MPa$



۱) $۱۶۰۰\ kN.m$
۲) $۱۸۰۰\ kN.m$
۳) $۱۲۰۰\ kN.m$
۴) $۱۴۰۰\ kN.m$

حل: برای محاسبه پهنای مؤثر دال بتنی در این مقطع مختلط از ضابطه ۱۰-۲-۸-۳-۱ اعضای خمشی با مقطع مختلط (صفحه ۱۵۴ مبحث دهم) استفاده می‌کنیم. فاصله تیر مختلط میانی نشان داده شده در شکل تا تیرهای مجاور چپ و راست آن متفاوت است و داریم:

$$b_e = min\ (\frac{۷/۲}{۸}, \frac{۲}{۲}) + min\ (\frac{۷/۲}{۸}, \frac{۱/۵}{۲}) = ۰/۹ + ۰/۷۵ = ۱/۶۵\ m$$

در ادامه با فرض اینکه تحت اثر لنگر خمشی مثبت، ارتفاع بلوک فشاری ویتنی، کوچکتر از ضخامت دال بتنی باشد، این ارتفاع را محاسبه می‌کنیم:

$$IPE\ ۶۰۰ : A_s = ۱۵۶\ cm^۲ = ۱۵۶۰۰\ mm^۲$$

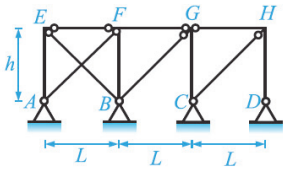
$$C=T \quad \Rightarrow \quad ۰/۸۵ f'_c \times a b_e = A_s f_y \quad \Rightarrow \quad a=\frac{A_s F_y}{۰/۸۵ f'_c \times b_e}=\frac{۱۵۶۰۰\times۲۴۰}{۰/۸۵\times۳۰\times۱۶۵۰}=۸۸/۹۸\ mm \simeq ۸۹\ mm < t_c = ۱۲۰\ mm$$

بنابراین فرض اولیه صحیح می‌باشد. مقاومت خمشی مثبت تیرها در ادامه محاسبه شده است:

$$M_n = A_s F_y (\frac{d}{۲}+t_c-\frac{a}{۲})=۱۵۶۰۰\times۲۴۰(\frac{۶۰۰}{۲}+۱۲۰-\frac{۸۹}{۲})=۱۴۰۵۸۷۲۰۰۰ N.mm \simeq ۱۴۰۶\ kN.m$$

بنابراین گزینه (۴) صحیح است.

۴۷- در قاب مهاربندی شده شکل مقابل، سطح مقطع اعضای AF و BE یکسان و برابر A_1 و سطح مقطع اعضای BG و CH یکسان و برابر A_2 است. حداقل نسبت قابل قبول $\frac{A_1}{A_2}$ برای آنکه قاب مذکور را بتوان به‌عنوان یک قاب مهاربندی شده همگرای ویژه در نظر گرفت، به‌کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ از تغییر طول محوری ستون‌ها صرف‌نظر نموده و سختی محوری تیرها بینهایت فرض شود.



۱) $\frac{۵}{۳}$ ۲) $\frac{۹}{۷}$ ۳) $\frac{۳}{۲}$ ۴) $\frac{۶}{۷}$

حل: براساس آیتم (ت) از بند ۱۰-۳-۴-۲-۴-۱ الزامات سیستم طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه (صفحه ۳۲۷ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۴۰۱)، در هر طبقه و در امتداد هر محور از مهاربندهای همگرای ویژه، مهاربندها باید طوری در نظر گرفته شوند که در هر راستای بارگذاری، حداقل ۳۰ درصد و حداکثر ۷۰ درصد نیروی جانبی سهم آن محور در کشش تحمل شود. در این قاب با توجه به اینکه سختی محوری تیرها، بی‌نهایت است، تغییرمکان افقی گره‌های فوقانی مهاربندها یکسان است و مهاربندها به‌صورت فنرهای موازی با یکدیگر ترکیب شده‌اند و نیروی جانبی به نسبت سختی بین آنها توزیع می‌شود.

در رابطه سختی جانبی $K=\frac{AE}{L}cos^2\alpha$، مدول الاستیسیته (E)، طول مهاربندها (L) و زاویه مهاربندها با امتداد افقی یکسان است و تنها پارامتر متفاوت در سختی مهاربندها، سطح مقطع آنها (A) می‌باشد و می‌توان گفت نیروی جانبی به نسبت سطح مقطع بین آنها توزیع می‌شود. تحت اثر نیروی جانبی که از چپ به راست بر قاب اثر می‌کند، مهاربندهای AF، BG و CH تحت کشش قرار می‌گیرند و مهاربند BE نیز تحت فشار خواهد بود و بنابراین سهم مهاربندهای کششی از بارگذاری جانبی برابر $\frac{A_1+2A_2}{2A_1+2A_2}$ می‌باشد که باید در محدوده ۰/۳ تا ۰/۷ قرار گیرد:

$$\frac{A_1+2A_2}{2A_1+2A_2}\geq ۰/۳ \quad \Rightarrow \quad A_1+2A_2\geq ۰/۳\,(2A_1+2A_2)=۰/۶A_1+۰/۶A_2$$

$$\Rightarrow \quad ۰/۴A_1+۱/۴A_2\geq ۰ \quad \text{این نامساوی همواره برقرار است}$$

$$\frac{A_1+2A_2}{2A_1+2A_2}\leq ۰/۷ \quad \Rightarrow \quad A_1+2A_2\leq ۰/۷\,(2A_1+2A_2)=۱/۴A_1+۱/۴A_2 \quad \Rightarrow \quad ۰/۴A_1\geq ۰/۶A_2$$

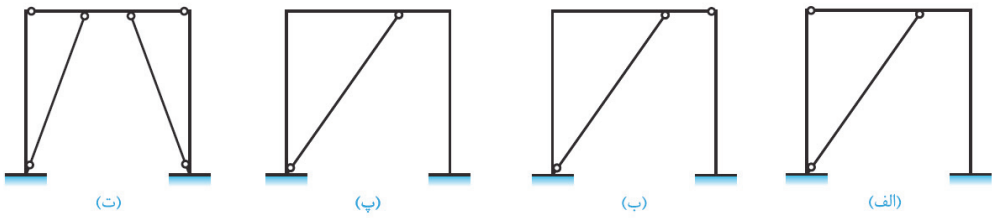
$$\Rightarrow \quad \frac{A_1}{A_2}\geq \frac{۰/۶}{۰/۴}=\frac{۳}{۲}$$

تذکر: در این حالت که نیروی جانبی زلزله از چپ به راست در نظر گرفته شد، مهاربند BE تحت فشار و سایر مهاربندها تحت کشش قرار می‌گیرند. اگر جهت نیروی جانبی زلزله از راست به چپ باشد، فقط مهاربند BE تحت کشش و سایر مهاربندها تحت فشار قرار می‌گیرند.

بنابراین گزینه (۳) صحیح است.

۴۸- کدام‌یک از قاب‌های شکل زیر نمی‌تواند به‌عنوان قاب مهاربندی شده واگرا در نظر گرفته شود؟

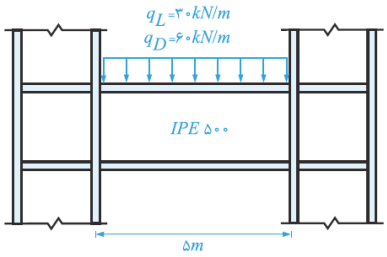
۱) (ب)
۲) (ت)
۳) (الف)
۴) (پ)



حل: با توجه به هندسه قاب‌ها دیده می‌شود که تیر پیوند در قاب‌های مهاربندی واگرای شکل‌های (الف)، (ب) و (پ) از نوع کناری و تیر پیوند در قاب مهاربندی واگرای شکل (ت) میانی است. با توجه به مورد ۲ از بند ۱۰-۳-۴-۳-۶-۳ (صفحه ۳۴۸ مبحث دهم ویرایش ۱۴۰۱) اتصال تیرهای پیوند به ستون در قاب‌های مهاربندی شده واگرا باید به‌صورت صلب (گیردار کامل) باشد. این ضابطه الزام می کند که در تیرهای پیوند کناری، اتصال تیر پیوند به ستون باید صلب باشد و بنابراین قاب شکل (ب) که در آن اتصال تیر پیوند به ستون مفصلی است، قابل قبول نیست و نمی‌تواند به‌عنوان قاب مهاربندی شده واگرا در نظر گرفته شود. شکل (ت) یک قاب مهاربندی شده واگرا با تیر پیوند میانی را نشان می‌دهد. با توجه به مورد ۱ از بند ۱۰-۳-۴-۳-۶-۳ (صفحه ۳۴۸ مبحث دهم ویرایش ۱۴۰۱) اتصالات تیرهای خارج از ناحیه پیوند به ستون می‌توانند به‌صورت مفصلی و یا گیردار طراحی شوند و بنابراین اتصال تیر به ستون در شکل (ت) می‌تواند مفصلی یا گیردار باشد که در نتیجه اتصالات مفصلی در این حالت قابل قبول است.

بنابراین گزینه (۱) صحیح است.

۴۹- در شکل مقابل یک دهانه از یک قاب خمشی معمولی با اتصال از نوع *WUF-W* نشان داده شده است. فرض کنید تیر در یک فضای با کاربری مسکونی (بدون کاهش در مقدار بار زنده ولی کاهش در ضریب بار زنده) قرار دارد. حداقل مقاومت برشی موردنیاز (V_u) اتصال تیر به ستون در روش طراحی *LRFD*، به کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ $F_y = ۳۶۰\ MPa$ (ویرایش سؤال)



۱) $۴۹۵\ kN$
۲) $۷۵۰\ kN$
۳) $۶۳۵\ kN$
۴) $۴۲۰\ kN$

حل: براساس شکل ۱۰-۳-۳-۱-۱ در صفحه ۲۸۶ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۴۰۱، اگر اتصال از پیش تأیید شده *WUF-W* در اتصالات صلب قاب‌های خمشی متوسط و ویژه استفاده شود، لنگر محل مفصل پلاستیک (بَرِ ستون) از رابطه $M_{pr} = C_{pr} R_y M_p$ به‌دست می‌آید که ضریب سختشدگی C_{pr} به‌صورت دستوری بایستی برابر ۱/۴ در نظر گرفته شود ولی در این تست که اتصال در قاب خمشی معمولی استفاده شده است، ضریب C_{pr} برابر حداقل آن (۱/۱) فرض شده و لنگر محل اتصال تیر و ستون در محل مفصل پلاستیک (بَرِ ستون) از رابطه $M_r = ۱/۱ R_y M_p / \alpha_s$ به‌دست می‌آید که $\alpha_s = ۱$ (روش *LRFD*) است و داریم:

$$V_r = \frac{۲ M_r}{L} + \frac{q_u L}{۲} = \frac{۲ \times ۱/۱ R_y M_p}{L} + \frac{(۱/۲ q_D + ۰/۵ q_L) L}{۲} = \frac{۲ \times ۱/۱ R_y Z F_y}{L} + (۱/۲ q_D + ۰/۵ q_L) \frac{L}{۲}$$

(مقاطع نورد شده، براساس جدول (۱۰-۳-۲-۱) صفحه ۲۵۳، مبحث دهم ویرایش ۱۴۰۱) $IPE\ ۵۰۰ : R_y = ۱/۲$

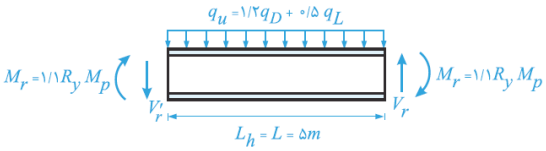
$$Z = Z_x = ۲۱۹۴\ cm^۳ = ۲۱۹۴ \times ۱۰^۳\ mm^۳$$

برای تبدیل N.mm به kN.m

$$V_r = \frac{۲ \times ۱/۱ \times ۱/۲ \times ۲۱۹۴ \times ۱۰^۳ \times ۳۶۰ \times ۱۰^{-۶}}{۵} + (۱/۲ \times ۶۰ + ۰/۵ \times ۳۰) \frac{۵}{۲} = ۴۱۷\ kN + ۲۱۷/۵\ kN$$

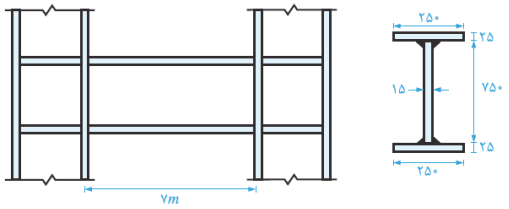
$$V_r = ۶۳۴/۵\ kN \simeq ۶۳۵\ kN$$

تذکر: با توجه به مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، ضریب بار زنده در حالت‌هایی که بار زنده کاهش نمی‌یابد و ضریب آن کاهش می‌یابد، برابر ۰/۵ است (بند ۶-۲-۳-۲ ترکیب بارها در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت صفحات ۱۰ تا ۱۲ مبحث ششم مقررات ملی ساختمان)



بنابراین گزینه (۳) صحیح است.

۵۰- تیر شکل زیر مربوط به یک دهانه از یک قاب خمشی ویژه است. براساس اطلاعات موجود در شکل، کدام‌یک از اتصالات از پیش تأیید شده زیر برای اتصال این تیر به ستون مجاز نیست؟ ابعاد مقطع تیر به میلی‌متر است.



۱) *WUF-W*
۲) *RBS*
۳) *BUEEP*
۴) *BFP*

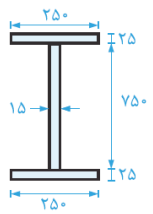
حل: با توجه به ضوابط اتصالات گیردار پیش تأیید شده که در بخش ۱۰-۳-۷ در صفحه ۳۹۱، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۴۰۱، ارائه شده است، در اتصال گیردار تیر با مقطع کاهش یافته (*RBS*)، اتصال گیردار فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی (*BUEEP*) و اتصال گیردار تقویت نشده جوشی (*WUF − W*) نسبت دهانه آزاد تیر به عمق آن، نباید از ۷ برای قاب‌های خمشی ویژه و از ۵ برای قاب‌های خمشی متوسط کمتر در نظر گرفته شود ولی در اتصال گیردار پیچی به کمک ورقهای روسری و زیر سری (*BFP*)، نسبت دهانه آزاد تیر به عمق مقطع آن، نباید از ۹ در قاب‌های خمشی ویژه و از ۷ در قاب‌های خمشی متوسط کمتر در نظر گرفته شود. در این تست، داریم:

$$\frac{L}{h} = \frac{۷ \times ۱۰^۳}{۷۵۰ + ۲۵ + ۲۵} = \frac{۷۰۰۰}{۸۰۰} = \frac{۷۰}{۸} = ۸/۷۵ < ۹$$

بنابراین دیده می‌شود که تیر در اتصال گیردار پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (*BFP*) مجاز نیست و بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

برای کامل بودن حل، دو مورد دیگر، یکی ضخامت بال‌ها و دیگری جرم واحد طول (۱ متر) آن باید بررسی شود.

در اتصالات *WUF − W*، ضخامت بال مقطع تیرها نباید از ۳۰ میلی‌متر بیشتر باشد، در اتصالات *RBS*، ضخامت بال مقطع تیر نباید از ۵۵ میلی‌متر بیشتر باشد، در اتصالات *BUEEP* محدودیتی برای ضخامت بال مقطع تیر در نظر گرفته نشده است و در اتصالات *BFP*، ضخامت بال مقطع تیر نباید از ۳۰ میلی‌متر بیشتر باشد. با توجه به اینکه ضخامت بال تیر، ۲۵ میلی‌متر است، نتیجه می‌شود که با توجه به معیار ضخامت، هر چهار اتصال مجاز است. برای محاسبه جرم واحد طول تیر (جرم یک متر طول تیر) داریم:



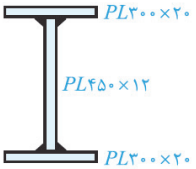
$$A = ۲ b_f t_f + h_w t_w = ۲ \times ۲۵۰ \times ۲۵ + ۷۵۰ \times ۱۵ = ۲۳۷۵۰\ mm^۲ = ۲۳۷۵۰ \times (۱۰^{-۳})^۲\ m^۲ = ۰/۰۲۳۷۵\ m^۲$$

$$\lambda = \rho V = \rho A = ۷۸۵۰\ kg/m^۳ \times ۰/۰۲۳۷۵ = ۱۸۶/۴\ kg/m$$

جرم واحد طول تیر در اتصالات RBS، BFP و $WUF-W$ به‌ترتیب نباید از $۶۰۰\ kg/m$، $۲۵۰\ kg/m$ و $۳۰۰\ kg/m$ بیشتر باشد و در اتصالات $BUEEP$ نیز محدودیتی برای جرم واحد طول تیر در نظر گرفته نشده است. با توجه به جرم واحد طول تیرورق مطرح شده دیده می‌شود که استفاده از آن در همه اتصالات ارائه شده در گزینه‌ها مجاز می‌باشد.

بنابراین گزینه (۴) صحیح است.

۵۲- در صورتی‌که بخواهیم برای یک تیر با مقطع شکل زیر که در یک قاب خمشی متوسط مورد استفاده قرار گرفته است، مهار جانبی در نظر بگیریم، این مهارهای جانبی باید حدوداً برای حداقل چه نیرویی براساس روش $LRFD$ طراحی شوند؟ در شکل ابعاد به میلی‌متر است. $F_y = ۲۴۰\ MPa$ (ویرایش سؤال)



۱) $۴۰\ kN$
۲) $۱۰۰\ kN$
۳) $۱۱۰\ kN$
۴) $۱۳۰ kN$

حل: براساس مورد ۳ از بند ۱۰-۳-۲-۸-۱-الف در صفحه ۲۶۶، الزامات لرزه‌ای مهار جانبی تیرها در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۴۰۱، مهارهای جانبی تیرهای باربر جانبی لرزه‌ای باید براساس بند ۳ در صفحه ۲۶۶ و تعریف M_r در صفحه ۲۶۷، برای نیرویی حداقل برابر با P_{bu} طراحی شوند:

$$P_{bu} = \frac{۰/۰۲\, M_r}{h_۰} = \frac{۰/۰۲\, R_y\, F_y\, Z}{\alpha_s \times h_۰} \quad , \quad \alpha_s = ۱ \ (LRFD \text{ روش})$$

در رابطهٔ فوق، Z اساس مقطع پلاستیک مقطع تیر و $h_۰$ فاصله مرکز تا مرکز بال‌های تیر است و داریم:

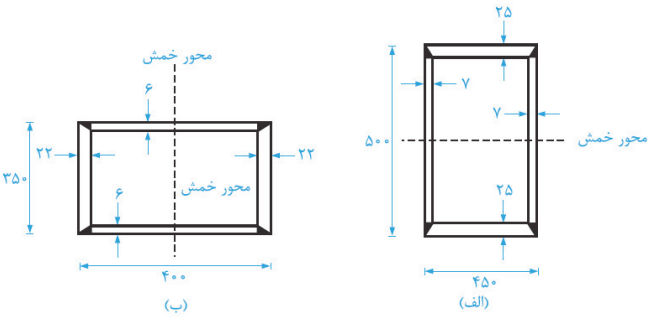
$$R_y = ۱/۱۵ \ (\text{مقطع تیرورق}) \quad , \quad h_۰ = ۴۵۰ + \frac{۲۰}{۲} + \frac{۲۰}{۲} = ۴۷۰\ mm$$

$$Z = \sum A_i\, d_i = ۲\left[۳۰۰\times۲۰\times(\frac{۴۵۰}{۲}+\frac{۱۰}{۲}) + \frac{۴۵۰}{۲}\times۱۲\times\frac{۴۵۰}{۴}\right] = ۲\times۱۷۱۳۷۵۰ = ۳۴۲۷۵۰۰\ mm^۳$$

$$P_{bu} = \frac{۰/۰۲\, R_y\, F_y\, Z}{\alpha_s \times h_۰} = \frac{۰/۰۲\times۱/۱۵\times۲۴۰\times۳۴۲۷۵۰۰}{۱\times۴۷۰} = ۴۰۲۵۴/۹\ N \simeq ۴۰/۳\ kN$$

بنابراین گزینه (۱) صحیح است.

۵۳- در صورتی‌که مقاطع (الف) و (ب) به‌عنوان ستون مورد استفاده قرار گیرند، با در نظر گرفتن $C_a = ۰/۱۵$ کدام گزینه صحیح است؟ در شکل ابعاد به میلی‌متر است. $F_y = ۲۴۰\ MPa$ **و** $E = ۲\times۱۰^۵\ MPa$



۱) مقاطع (الف) و (ب) در قاب خمشی ویژه مجاز هستند.
۲) مقطع (الف) در قاب خمشی متوسط و مقطع (ب) در قاب خمشی ویژه مجاز است.
۳) مقطع (الف) در قاب خمشی ویژه و مقطع (ب)در قاب خمشی متوسط مجاز است.
۴) مقاطع (الف) و (ب) در قاب خمشی ویژه مجاز نیستند.

حل: می‌دانیم‌که در کنترل فشردگی لرزه‌ای مقطع ستون، بال و جان معنا ندارد و وجه بلندتر آن بایستی در نظر گرفته شود.
براساس آیتم ۶ جدول (۱۰-۳-۲-۴) صفحه ۲۶۴ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ویرایش ۱۴۰۱، λ_{md} برای جان مقاطع قوطی شکل ساخته شده از ورق به شرح زیر است:

$$C_a \le ۰/۱۱۳ \quad \Rightarrow \quad \lambda_{md} = ۳/۷۶\,(۱-۳/۰۵C_a)\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$$

$$C_a > ۰/۱۱۳ \quad \Rightarrow \quad \lambda_{md} = ۲/۶۱\,(۱-۰/۴۹C_a)\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \ge ۱/۵۶\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$$

$$R_y = ۱/۱۵ \ (\text{جدول ۱۰-۲-۳-۱}) \ , \ C_a = ۰/۱۵$$

$$\Rightarrow \lambda_{md} = ۲/۶۱\,(۱-۰/۴۹\times۰/۱۵)\sqrt{\frac{۲\times۱۰^۵}{۱/۱۵\times۲۴۰}} = ۶۵/۰۹ \ge ۱/۵۶\sqrt{\frac{۲\times۱۰^۵}{۱/۱۵\times۲۴۰}} = ۴۱/۹۹$$

(الف) مقطع : $\lambda_{max} = (\frac{b}{t})_{max} = max\ (\frac{۴۵۰-۲\times۷}{۲۵}, \frac{۵۰۰-۲\times۲۵}{۷}) = max\ (۱۷/۴, ۶۴/۳) = ۶۴/۳ < ۶۵/۰۹$ $\quad OK$

(ب) مقطع : $\lambda_{max}=(\frac{b}{t})_{max}=max\ (\frac{۴۰۰-۲\times۲۲}{۶},\frac{۳۵۰-۲\times۶}{۲۲})=max\ (۵۹/۳\ ,۱۵/۴)=۵۹/۳<۶۵/۰۹ \qquad OK$

بنابراین هر دو مقطع (الف) و (ب) در قاب خمشی متوسط قابل قبول هستند. حال استفاده از این مقاطع را در قاب خمشی ویژه بررسی می‌کنیم.

براساس آیتم ۶ جدول (۱۰-۳-۲-۴) در صفحه ۲۶۴، λ_{hd} برای جان مقاطع قوطی شکل ساخته شده از ورق به شرح زیر است:

$$C_a\le ۰/۱۱۳ \quad\Rightarrow\quad \lambda_{hd}=۲/۴۵\,(۱-۱/۰۴C_a)\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$$

$$C_a>۰/۱۱۳ \quad\Rightarrow\quad \lambda_{hd}=۲/۲۶\,(۱-۰/۳۸C_a)\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}\ge ۱/۵۶\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$$

$$C_a=۰/۱۵ \quad\Rightarrow\quad \lambda_{hd}=۲/۲۶\,(۱-۰/۳۸\times۰/۱۵)\sqrt{\frac{۲\times۱۰^۵}{۱/۱۵\times۲۴۰}}=۵۷/۳۷$$

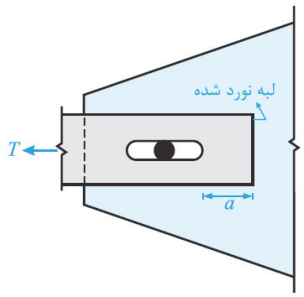
(الف) مقطع : $\lambda_{max}=۶۴/۳>۵۷/۳۷ \qquad Not\ Good$

(ب) مقطع : $\lambda_{max}=۵۹/۳>۵۷/۳۷ \qquad Not\ Good$

با توجه به روابط فوق دیده می‌شود که مقاطع (الف) و (ب) در قاب خمشی ویژه قابل استفاده نیستند. بنابراین به عنوان جمع‌بندی می‌توان گفت مقاطع الف و ب در قاب خمشی متوسط قابل قبول، اما در قاب خمشی ویژه قابل استفاده نمی‌باشند.

بنابراین گزینه (۴) صحیح است.

۵۷- برای اتصال یک تسمهٔ فولادی که تحت نیروی کششی T قرار دارد به صفحهٔ زیرین از پیچ M ۲۴ استفاده شده است و سوراخ لوبیایی بلند (با حداکثر ابعاد مجاز) مطابق شکل ایجاد شده است. حداقل فاصله قابل قبول a روی شکل به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (ویرایش سؤال)



۱) $۶۰\ mm$

۲) $۲۴\ mm$

۳) $۴۰\ mm$

۴) $۳۰\ mm$

حل: با توجه به جدول ابعاد اسمی سوراخ پیچ که در صفحه ۲۰۹ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ویرایش ۱۴۰۱ ارائه شده است، برای پیچ M۲۴، طول و عرض سوراخ لوبیایی بلند به ترتیب، $۶۰\ mm$ و $۲۷\ mm$ است و بنابراین فاصله مرکز سوراخ لوبیایی تا انتهای سمت راست سوراخ، برابر $\frac{۶۰}{۲}=۳۰\ mm$ می‌باشد. با توجه به جداول صفحه ۲۱۰ که حداقل فاصله سوراخ‌ها تا لبه را در اتصالات پیچی ارائه می‌کند، حداقل فاصله مرکز سوراخ تا لبه قائم نورد شده ورق برابر است با:

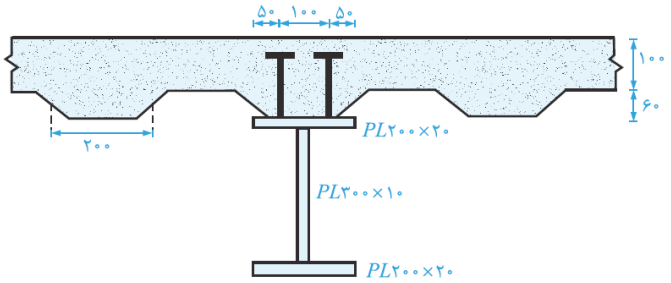
$$۱/۵d+۰/۷۵d=۲/۲۵d=۲/۲۵\times۲۴=۵۴\ mm$$

در محاسبه فوق توجه شود که مقدار افزایش فاصله C از حالت عمود بر امتداد لبه برای سوراخ لوبیایی بلند برداشته شده است. اگر از حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه نورد شده $(۲/۲۵d=۵۴\ mm)$ نصف طول سوراخ لوبیایی $(۳۰\ mm)$ را کم کنیم، فاصله a که همان فاصله انتهای سوراخ لوبیایی بلند از لبه نورد شده قائم ورق است، به‌دست می‌آید:

$$a=۵۴-۳۰=۲۴\ mm$$

بنابراین گزینه (۲) صحیح است.

۵۸- در تیر با مقطع مختلط شکل زیر مقاومت برشی اسمی هر یک از گل‌میخ‌ها به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ بتن معمولی و از ردهٔ ۳۰ C، فولاد مقطع تیر از نوع ۲۳۵ S، تنش کشش نهایی گل‌میخ‌ها ۵۰۰ MPa، جرم مخصوص بتن ۲۵۰۰ kg/m^3 و قطر گل‌میخ‌ها ۱۹ میلی‌متر فرض شود. در شکل ابعاد به میلی‌متر است.



۱) $۷۵\ kN$
۲) $۱۳۳\ kN$
۳) $۱۵۰\ kN$
۴) $۱۰۶\ kN$

حل: مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع گل‌میخ کلاهک‌دار با توجه به ضابطه (ب) صفحه ۱۷۷ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۴۰۱ به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$Q_n = ۰/۵\, A_{sa}\sqrt{f'_c\, E_c} \le R_g\, R_p\, A_{sa}\, F_u = min\,(۰/۵\, A_{sa}\sqrt{f'_c\, E_c}\ ,\ R_g\, R_p\, A_{sa}\, F_u)$$

$$A_{sa} = \frac{\pi d^2}{۴} = \frac{\pi \times ۱۹^2}{۴} = ۲۸۳/۵\ mm^2 \quad ,\quad f'_c = ۳۰\ MPa \quad ,\quad E_c = ۰/۰۴۳ W_c^{1/5}\sqrt{f'_c} = ۰/۰۴۳ \times ۲۵۰۰^{1/5}\sqrt{۳۰} = ۲۹۴۴۰\ MPa$$

برای مشخص کردن ضرایب R_g و R_p از جدول (۱۰-۲-۸-۴) در صفحه ۱۷۷ مبحث دهم استفاده می‌کنیم. با توجه به شکل تست دیده می‌شود که از ورق‌های فولادی شکل داده شده استفاده گردیده است و همچنین کنگره‌ها موازی محور تیر فولادی هستند و داریم:

$$W_r = ۵۰+۱۰۰+۵۰ = ۲۰۰\ mm \quad ,\quad h_r = ۶۰\ mm \quad \Rightarrow \quad \frac{W_r}{h_r} = \frac{۲۰۰}{۶۰} = ۳/۳۳ > ۱/۵ \quad \Rightarrow \quad R_g = ۱ \quad ,\quad R_p = ۰/۷۵$$

$$Q_n = min\,(۰/۵\, A_{sa}\sqrt{f'_c E_c}\ ,\ R_g\, R_p A_{sa}\, F_u) = min\,(۰/۵ \times ۲۸۳/۵\sqrt{۳۰ \times ۲۹۴۴۰}\ ,\ ۱ \times ۰/۷۵ \times ۲۸۳/۵ \times ۵۰۰)$$

$$Q_n = min\,(۱۳۳۲۱۴/۸\ ,\ ۱۰۶۳۱۲/۵) = ۱۰۶۳۱۲/۵\ N \simeq ۱۰۶/۳\ kN$$

بنابراین گزینه (۴) صحیح است.