

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

جدول شناسنامه اثر	
کد آموزش	۳۱۳-۰۰۶-۰۰۲
عنوان اثر	پاسخ سوالات آزمون نظام مهندسی - پاسخ سوالات مبحث ۱۰ (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی) آزمون محاسبات نظام مهندسی آبان ماه ۱۴۰۳
تالیف	گروه مهندسی سیویل ژئوتک (civilgeotech)
نویسنده	مهندس سید محمد صادق آل محمد
آدرس سایت	https://civilgeotech.ir/
ایمیل	info@civilgeotech.ir
نوع	فایل pdf
تعداد کل صفحات	۲۸ صفحه
فرهیخته گرامی: بازنشر این فایل باعث تضییع حقوق مادی و معنوی سایت سیویل ژئوتک خواهد شد و کپی بخش یا تمام این اثر شرعا و قانونا حرام و ممنوع است. لطفا فایل این آموزش را از سایت اصلی ما دریافت کنید.	

فهرست مطالب

پاسخ سوالات مبحث ۱۰ (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی) آزمون محاسبات نظام مهندسی آبان ماه ۱۴۰۳.....	۲
۱- آنچه در این آموزش خواهیم خواند.....	۲
۲- پاسخ سوالات مبحث ۱۰ آزمون محاسبات نظام مهندسی آبان ماه ۱۴۰۳.....	۲
۱-۲- سوال ۴۳.....	۲
۲-۲- سوال ۴۴.....	۴
۳-۲- سوال ۴۵.....	۶
۴-۲- سوال ۴۶.....	۷
۵-۲- سوال ۴۷.....	۹
۶-۲- سوال ۴۸.....	۱۰
۷-۲- سوال ۴۹.....	۱۲
۸-۲- سوال ۵۰.....	۱۳
۹-۲- سوال ۵۱.....	۱۶
۱۰-۲- سوال ۵۲.....	۱۸
۱۱-۲- سوال ۵۳.....	۱۹
۱۲-۲- سوال ۵۴.....	۲۰
۱۳-۲- سوال ۵۵.....	۲۰
۱۴-۲- سوال ۵۶.....	۲۱
۱۵-۲- سوال ۵۷.....	۲۳
۱۶-۲- سوال ۵۸.....	۲۶
۳- مراجع.....	۲۷



پاسخ سوالات مبحث ۱۰ (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی) آزمون محاسبات نظام مهندسی آبان ماه ۱۴۰۳

۱- آنچه در این آموزش خواهیم خواند...

در این آموزش پاسخ تشریحی سوالات مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی) از آزمون محاسبات نظام مهندسی آبان ماه ۱۴۰۳ داده شده است. پاسخ سوالات براساس ویرایش سال ۱۴۰۱ این مبحث می‌باشد. در آموزش قبل پاسخ سوالات مبحث ۶ و استاندارد ۲۸۰۰ از آزمون محاسبات نظام مهندسی آبان ماه ۱۴۰۳ بررسی شدند. برای فهم بهتر پاسخ سوالات می‌توانید ویدیوی آموزشی را مشاهده کنید.

۲- پاسخ سوالات مبحث ۱۰ آزمون محاسبات نظام مهندسی آبان ماه ۱۴۰۳

۲-۱- سوال ۴۳

در یک ساختمان فولادی مقطع یکی از ستون‌ها از نوع IPB300 بوده و طراحی به روش LRFD و روش تحلیل مستقیم مدنظر است. حداکثر نیروی محوری قابل تحمل توسط این ستون برای آنکه مقدار ضریب τ_b از ۰٫۸ کمتر نباشد، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟

$$F_y = 360 \text{ MPa}, E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

2580 kN (۱) 3880 kN (۲)

1480 kN (۳) 980 kN (۴)

حداکثر نیروی محوری قابل تحمل توسط ستون، همان مقاومت فشاری طراحی ستون است. برای محاسبه مقاومت فشاری طراحی ستون باید کمانش خمشی و کمانش پیچشی در نظر گرفته شود. با توجه به اینکه طول ستون داده نشده است حل امکان پذیر نیست. احتمالاً منظور طراح محاسبه مقاومت محوری فشاری مورد نیاز (P_T) بوده است.

CIVILGEOTECH



۲-۱-۵-۱-۲-۱۰ کاهش سختی اعضا

در تحلیل و طراحی به روش تحلیل مستقیم برای تعیین مقاومت‌های موردنیاز در تحلیل مرتبه دوم، باید به شرح زیر از ضرایب کاهش سختی استفاده شود:

(۱) ضریب کاهش 0.8 برای کلیه سختی‌هایی که در پایداری سازه مؤثرند. اعمال این ضریب کاهش برای کلیه سختی‌های تمامی اعضا، حتی اگر در پایداری سازه نقشی نداشته باشند، نیز مجاز است.

(۲) علاوه بر ضریب کاهش 0.8 یک ضریب کاهش اضافی τ_b نیز به شرح زیر در سختی خمشی اعضایی که در پایداری سازه مؤثر هستند:

$$(EI)^* = 0.8 \tau_b EI \quad (2-1-2-10)$$

که در آن:

$(EI)^*$ = صلبیت خمشی کاهش یافته عضو

E = مدول الاستیسیته فولاد

I = ممان اینرسی مقطع عضو حول محور خمش

τ_b = ضریب کاهش اضافی خمشی مطابق رابطه زیر:

$$\tau_b = \begin{cases} 1.0 & \alpha \frac{P_r}{P_y} \leq 0.5 \\ 4\alpha \frac{P_r}{P_y} \left(1 - \frac{\alpha P_r}{P_y}\right) & \alpha \frac{P_r}{P_y} > 0.5 \end{cases} \quad (3-1-2-10)$$

$\alpha = 1.0$ (LRFD) و $\alpha = 1.6$ (ASD)

در رابطه ۳-۱-۲-۱۰، P_r مقاومت محوری فشاری موردنیاز و P_y مقاومت تسلیم محوری عضو است. در صورتی که عضو فشاری لاغر باشد، در تعیین مقاومت تسلیم محوری باید از مساحت مؤثر مقطع (A_e) استفاده شود.

استثناء: در اعضای با مقطع مختلط پرشده با بتن یا محاط در بتن، مقدار τ_b باید برابر 0.8 در نظر گرفته شود.

$\alpha = 1$ (LRFD)

برای IPB300 در جدول اشتال داریم: $A_g = 149 * 100 \text{ mm}^2$

$$\tau = 4 * \alpha \frac{P_r}{P_y} \left(1 - \alpha \frac{P_r}{P_y}\right) \geq 0.8$$

$$\rightarrow P_y = A_g * f_y = 149 * 100 * 360 * 10^{-3} = 5364 \text{ kN}$$

$$\text{mm}^2 * \text{MPa} \rightarrow \text{kN} \quad \text{mm}^2 * \left[10^6 * \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * \frac{1\text{m}^2}{10^6\text{mm}^2}\right] * \frac{1\text{kN}}{10^3\text{N}} = 10^{-3}\text{kN}$$

$$\tau = 4 * \alpha \frac{P_r}{P_y} \left(1 - \alpha \frac{P_r}{P_y}\right) \geq 0.8 \rightarrow 4 * 1 \frac{P_r}{5364} \left(1 - 1 \frac{P_r}{5364}\right) \geq 0.8$$

$$\rightarrow P_r \leq 3888.9 \text{ kN}$$

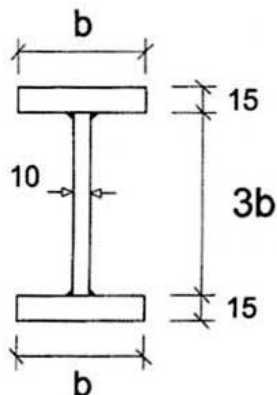
پاسخ صحیح گزینه ۲ می‌باشد.



۲-۲- سوال ۴۴

در مقطع فولادی شکل زیر حداکثر مقدار b برای آنکه مقطع تحت اثر لنگر خمشی حول محور قوی غیر لاغر باشد به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ در شکل ابعاد به میلیمتر است.

$$F_y = 240 \text{ MPa} \text{ و } E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$



545 mm (۱)

525 mm (۲)

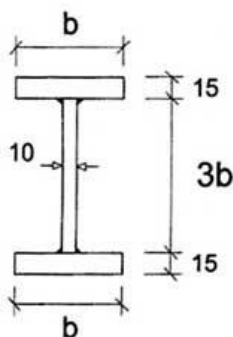
620 mm (۳)

580 mm (۴)

برای اینکه مقطع غیر لاغر باشد باید بال و جان غیر لاغر باشند. پس هم لاغری جان و هم لاغری بال مقطع کوچکتر از مقدار لاغری λ_r متناظرشان باشد. ابتدا لاغری جان مقطع کنترل می‌شود.

جدول ۱۰-۲-۴: نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری با دو لبه مقید در اعضای تحت اثر خمشی

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		مثال‌های نمونه
			(مرز فشرده و غیر فشرده) λ_p	(مرز غیر فشرده و لاغر) λ_r	
۱۵	جان مقطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی	h/t_w	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	



$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{3b}{10} \leq 5.7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5.7 * \sqrt{\frac{2 * 10^5}{240}} \rightarrow b \leq 548.49 \text{ mm}$$



برای کنترل لاغری بال مقطع داریم:

[۲] مقدار k_c از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$0.35 \leq k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \leq 0.76$$

[۳] برای خمش حول محور قوی در مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با جان فشرده و غیرفشرده مقدار F_L از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$F_L = 0.7F_y$$

$$\bullet \text{ برای } S_{xt}/S_{xc} \geq 0.7$$

$$F_L = \frac{S_{xt}}{S_{xc}} F_y \geq 0.5F_y$$

$$\bullet \text{ برای } S_{xt}/S_{xc} < 0.7$$

که در آن:

S_{xt} = اساس مقطع الاستیک نسبت به بال کششی

S_{xc} = اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری

جدول ۱۰-۲-۳: نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری با یک لبه مقید در اعضای تحت اثر خمش

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		مثال‌های نمونه
			(مرز فشرده و غیرفشرده)	(مرز غیرفشرده و لاغر)	
۱۱	بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با یک یا دو محور تقارن	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$	
			[۲] و [۳]	[۲]	

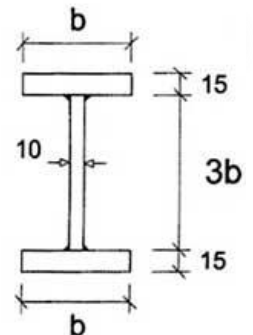
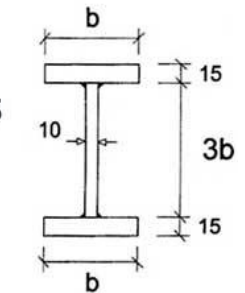
$$b \leq 548.49 \text{ mm} \rightarrow h_w = 3b \leq 3 * 548.49 = 1645.47 \text{ mm}$$

$$0.35 \leq k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \leq 0.76 \rightarrow 0.35 \neq k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{1645.47}{10}}} = 0.312 \leq 0.76 \rightarrow k_c = 0.35$$

$$S_{xt} = S_{xc} \rightarrow \frac{S_{xt}}{S_{xc}} = 1 \geq 0.7 \rightarrow F_L = 0.7F_y = 0.7 * 240 = 168 \text{ MPa}$$

$$\lambda_f = \frac{b_f - t_w}{2t_f} \leq \lambda_{rf} = 0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}} \rightarrow \frac{b - 10}{2 * 15} \leq 0.95 \sqrt{\frac{0.35 * 2 * 10^5}{168}} \rightarrow b \leq 591.75 \text{ mm}$$

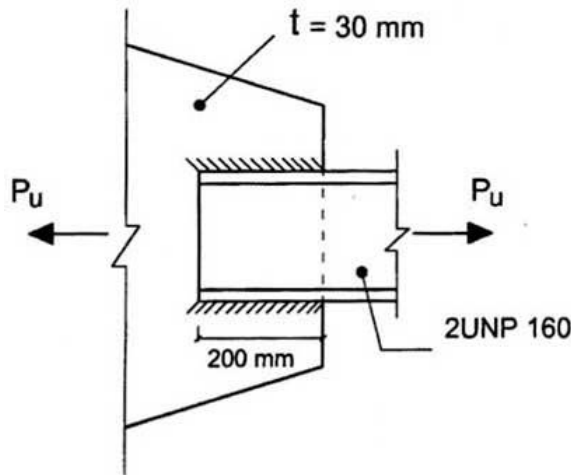
$$b = \min\{548.49, 591.75\} = 548.49 \text{ mm}$$



پاسخ صحیح گزینه ۱ می‌باشد.

۲-۳- سوال ۴۵

در عضو کششی زیر با مقطع دوپل ناودانی ۱۶۰ مقدار ضریب تأخیر برش به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟



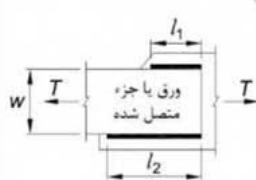
(۱) 0.86

(۲) 0.82

(۳) 0.75

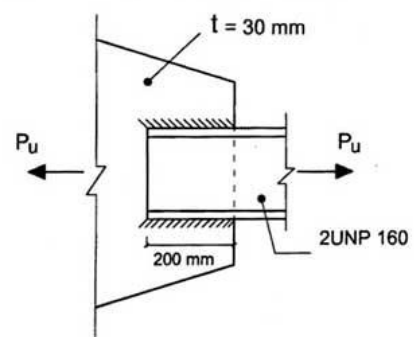
(۴) 0.91

جدول ۱۰-۲-۳-۱: ضریب تأخیر برش (U) در محل اتصالات و وصله‌های اعضای کششی

حالت	شرح	ضریب تأخیر برش، U	مثال‌های نمونه
۴	ورق‌ها (تسمه‌های کششی)، نبشی‌ها، ناودانی‌ها و مقاطع I شکل با قطعات متصل‌شونده که در آن‌ها نیروی کششی فقط از طریق جوش‌های طولی در دو لبه موازی (در انتهای قطعه) منتقل می‌شود.	$U = \frac{(3t^2)}{(3t^2 + W^2)} \left(1 - \frac{\bar{x}}{l}\right)$ [۱] و [۲] مقدار $\bar{x}$ براساس حالت ۲ این جدول تعیین می‌شود.	

برای UNP160 در جدول اشتال داریم: $\bar{x} = e_y = 18.4mm$

$$U = \frac{3 * 200^2}{3 * 200^2 + 160^2} * \left(1 - \frac{18.4}{200}\right) = 0.7484$$



پاسخ صحیح گزینه ۳ می‌باشد.



۴-۲- سوال ۴۶

یک عضو فشاری با مقطع ناودانی تک UNP320 و به طول ۳ متر مفروض است. بر اساس حالات حدی کمانش خمشی - پیچشی، مقدار تنش فشاری (F_{cr}) به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ ضریب طول مؤثر برای کمانش‌های خمشی و پیچشی برابر واحد در نظر گرفته شوند.

$$F_y = 240 \text{ MPa}, E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$0.74 F_y \quad (۱)$$

$$0.83 F_y \quad (۲)$$

$$0.67 F_y \quad (۳)$$

$$0.62 F_y \quad (۴)$$

۱-۴-۲-۴۶ مقاومت فشاری اسمی براساس کمانش پیچشی و کمانش خمشی-پیچشی در اعضای با مقطع بدون اجزای لاغر

همان‌طور که در جدول ۱-۴-۲-۱۰ نیز عنوان شده است، الزامات این بند برای تعیین مقاومت فشاری اسمی اعضای فشاری با مقاطع دارای دو محور تقارن، یک محور تقارن و نامتقارن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مقاومت فشاری اسمی (P_n) در اعضای فشاری با مقاطع بدون اجزای لاغر براساس کمانش پیچشی و کمانش خمشی-پیچشی (حسب مورد) برابر $F_{cr} A_g$ است که در آن A_g سطح مقطع کلی عضو و

F_{cr} تنش فشاری بوده که مقدار آن با استفاده از روابط ۲-۴-۲-۱۰ و ۳-۴-۲-۱۰ ولی براساس تنش‌های کمانش پیچشی الاستیک و خمشی-پیچشی الاستیک (F_e) که برای حالت‌های مختلف به شرح زیر تعیین می‌شود، به دست می‌آید:

برای UNP320 در جدول اشتال داریم:

$$k_x = k_y = k_z = 1 \quad \text{با توجه به صورت سوال}$$

مدول برشی:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{2 \times 10^5}{2(1+0.3)} = 76923 \text{ MPa}$$

$$UNP320 \left\{ \begin{array}{l} A_g = 7580 \text{ mm}^2 \\ r_y (\text{محور تقارن}) = 121 \text{ mm} \\ I_x (\text{عمود بر محور تقارن}) = 598 \times 10^4 \times \text{mm}^2 \\ I_y (\text{حول محور تقارن}) = 10870 \times 10^4 \times \text{mm}^2 \\ j = 68.5 \times 10^4 \times \text{mm}^2 \\ C_w = 95690 \times 10^6 \times \text{mm}^6 \\ y_0 = x_m = 48.2 \text{ mm} \\ x_0 = 0 \end{array} \right.$$



$H =$ ضریبی است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2} \quad (9-4-2-10)$$

$\bar{r}_o =$ شعاع ژیراسیون قطبی نسبت به مرکز برش که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} \quad (8-4-2-10)$$

$A_g =$ سطح مقطع کلی عضو

۴-۲-۱۰ مقاومت فشاری اسمی براساس کمانش پیچشی و کمانش خمشی-پیچشی در

اعضای با مقطع بدون اجزای لاغر

(ب) برای مقاطع با یک محور تقارن که محور تقارن آن‌ها y نام‌گذاری شده است، براساس حالت

حدی کمانش خمشی-پیچشی حول محور y و محور طولی برابر مرکز برش:

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \quad (6-4-2-10)$$

F_{ey} و F_{ez} از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$F_{ey} = \frac{3.14^2 * 2 * 10^5}{\left(\frac{1 * 3000}{121} \right)^2} = 3207.8 \text{ MPa} \quad \begin{cases} L_y = 3m = 3000mm \\ \text{اشتال} \rightarrow r_y = 121 \text{ mm} \end{cases} \quad (11-4-2-10)$$

$$\bar{r}_o^2 = 0^2 + 48.2^2 + \frac{598 * 10^4 + 10870 * 10^4}{7580} = 17452.6 \text{ mm}^2 \quad (12-4-2-10)$$

L_x و $L_y =$ طول مهارنشده عضو به ترتیب حول محوره‌های کمانش x ، y و z

$$F_{ez} = \left[\left(\frac{3.14^2 * 2 * 10^5 * 95690 * 10^6}{(1 * 3000)^2} + (76923 * 68.5 * 10^4) \right) \right] * \left(\frac{1}{7580 * 17452.6} \right) \quad H = 1 - \frac{0 + 48.2^2}{17452.6} = 0.867$$

$$F_{ez} = 556.8 \text{ MPa}$$

$$F_e = \left(\frac{3207.8 + 556.8}{2 * 0.867} \right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(4 * 3207.8 * 556.8 * 0.867)}{(3207.8 + 556.8)^2}} \right)$$

$$F_e = 542.77 \text{ MPa}$$

$F_{cr} =$ تنش فشاری ناشی از کمانش خمشی که از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\rightarrow \frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{542.77} = 0.443 \leq 2.25$$

الف) اگر $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (یا $\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$) باشد:

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e} \right) F_y \quad (2-4-2-10)$$

ب) اگر $\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (یا $\frac{F_y}{F_e} > 2.25$) باشد:

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (3-4-2-10)$$

$$F_{cr} = (0.658) \frac{F_y}{F_e} \times F_y$$

$$F_{cr} = (0.658)^{0.443} * 240 = 0.83 F_y$$

در روابط فوق:

$\frac{KL}{r} =$ نسبت لاغری عضو حول محور کمانش موردنظر

$F_y =$ تنش تسلیم مشخصه فولاد

$E =$ مدول الاستیسیته فولاد

$K =$ ضریب طول مؤثر حول محور کمانش موردنظر مطابق ضوابط بخش ۱-۲-۱۰

$L =$ طول مهارنشده عضو حول محور کمانش موردنظر

$r =$ شعاع ژیراسیون مقطع عضو حول محور کمانش موردنظر

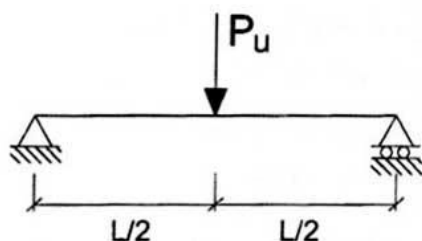
پاسخ صحیح گزینه ۲ می‌باشد.



۲-۵- سوال ۴۷

برای آنکه مقدار مقاومت خمشی اسمی تیر شکل زیر از لنگر پلاستیک مقطع آن (M_p) کمتر نباشد، حداکثر طول آن با مقطع IPE300 و خمش حول محور قوی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ مهارهای جانبی فقط در ابتدا و انتهای تیر قرار دارند و از وزن در واحد طول تیر صرف نظر شود.

$$F_y = 240 \text{ MPa}, E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$



(۱) 5.6 m

(۲) 1.7 m

(۳) 3.4 m

(۴) 4.2 m

۱۰-۲-۵- مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و

اعضای با مقطع ناودانی فشرده تحت اثر خمش حول محور قوی

الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و اعضای با مقطع ناودانی فشرده که تحت اثر خمش حول محور قوی قرار دارند.

مهارهای جانبی در تکیه‌گاه‌ها واقع شده است بنابراین طول مهارنشده تیر برابر است با: $L_b = L$

با توجه به جداول آماده برای ضریب کماتش پیچشی جانبی، برای این حالت بارگذاری داریم: $C_b = 1.32$

الف) حالت حدی تسلیم

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (۱۰-۲-۵-۳)$$

در جدول اشتال:

$$IPE300, F_y = 240 \text{ MPa} \cdot \begin{cases} Z_x = 626000 \text{ mm}^3 \\ S_x = 557000 \text{ mm}^3 \\ L_p = 1.7 \text{ m} \\ L_r = 5.65 \text{ m} \end{cases}$$

$$M_p = Z_x \cdot f_y = 626000 \cdot 240 \cdot 10^{-6} = 150.72 \text{ kN.m}$$



ب) حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی

ب-۱) اگر $L_b \leq L_p$ باشد، لزومی به در نظر گرفتن کمانش جانبی-پیچشی نیست.

ب-۲) برای $L_p < L_b \leq L_r$:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (4-5-2-10)$$

ب-۳) برای $L_b > L_r$:

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (5-5-2-10)$$

با فرض کمانش پیچشی جانبی غیر ارتجاعی داریم:

$$C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] = M_p$$

$$1.32 * \left[(150.72 * 10^6) - ((150.72 * 10^6) - 0.7 * 240 * 557000) \left(\frac{L - 1702}{5641 - 1702} \right) \right] = 150.72 * 10^6$$

$$L = 4220.7 \text{ mm} = 4.2 \text{ m}$$

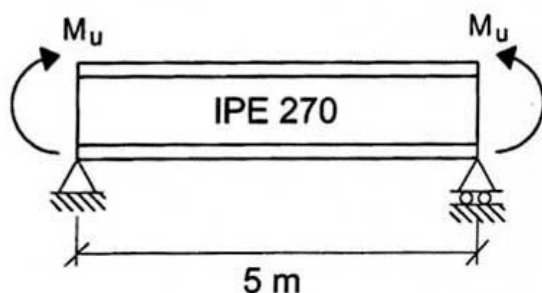
$$L_p = 1.7 < L_b = 4.2 < L_r = 5.6 \rightarrow ok$$

پاسخ صحیح گزینه ۴ می باشد.

۲-۶- سوال ۴۸

در طراحی به روش LRFD و کنترل مقاومت خمشی، حداکثر لنگر خمشی نهایی (M_u) قابل تحمل توسط تیر نشان داده شده در شکل زیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ مهارهای جانبی فقط در ابتدا و انتهای تیر قرار دارند و از وزن تیر صرف نظر نمائید.

$F_y = 240 \text{ MPa}$ و $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$



75.2 kN.m (۱)

67.7 kN.m (۲)

104.6 kN.m (۳)

116.2 kN.m (۴)

۱۰-۲-۵- مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و

اعضای با مقطع ناودانی فشرده تحت اثر خمش حول محور قوی

الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و اعضای با مقطع ناودانی فشرده که تحت اثر خمش حول محور قوی قرار دارند.



با توجه به یکسان بودن لنگر خمشی دو سر تیر، تیر تحت اثر خمش محض قرار دارد و لنگر خمشی در طول تیر ثابت است. با کمک جداول آماده برای ضریب کماتش پیچشی جانبی داریم:

$$C_b = 1$$

مهارهای جانبی در تکیه‌گاه‌ها واقع شده است بنابراین طول مهارنشده تیر برابر است با:

$$L_b = L = 5000 \text{ mm}$$

$$IPE270 \cdot F_y = 240 \text{ MPa} \cdot \begin{cases} Z_x = 484000 \text{ mm}^3 \\ S_x = 429000 \text{ mm}^3 \\ L_p = 1.54 \text{ m} \\ L_r = 5.27 \text{ m} \end{cases} \quad \text{در جدول اشتال:}$$

الف) حالت حدی تسلیم

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (3-5-2-10)$$

ب) حالت حدی کماتش جانبی-پیچشی

ب-۱) اگر $L_b \leq L_p$ باشد، لزومی به در نظر گرفتن کماتش جانبی-پیچشی نیست.

$$L_p = 1.54 < L_b = 5 < L_r = 5.27$$

ب-۲) برای $L_p < L_b \leq L_r$:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (4-5-2-10)$$

ب-۳) برای $L_b > L_r$:

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (5-5-2-10)$$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$M_n = 1 * \left[(484000 * 240) - ((484000 * 240) - 0.7 * 240 * 429000) \left(\frac{5000 - 1534}{5262 - 1534} \right) \right]$$

$$M_n = 75170459.23 \text{ N.mm} = 75.2 \text{ kN.m}$$

$$M_n \leq M_p$$

$$\phi * M_n = 0.9 * 75.15 = 67.7 \text{ kN.m}$$

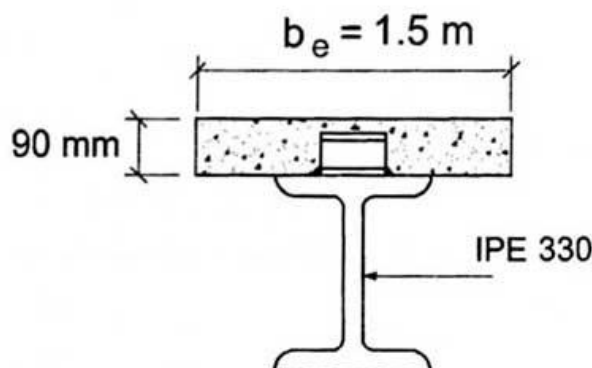
پاسخ صحیح گزینه ۲ می‌باشد.



۷-۲- سوال ۴۹

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 ۵۰ mm به عنوان برشگیر استفاده شده است. در خصوص این تیر مختلط کدامیک 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.

$$F_y = 240 \text{ MPa}, E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}, f'_c = 30 \text{ MPa}, W_c = 2500 \text{ kg/m}^3$$



- (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.

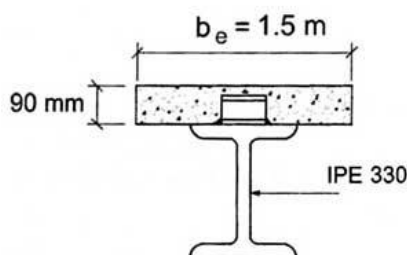
با توجه به پارامترها نوع عملکرد تیر:

- وابسته به مشخصات ذاتی مقطع است.
- به طول عضو و شدت بار بستگی ندارد.

$$\text{از ایتال: } IPE330 \rightarrow A_s = 6260 \text{ mm}^2$$

$$V_h = \min \left\{ \begin{aligned} 0.85 \cdot 30 \cdot 1500 \cdot 90 \cdot 10^{-3} &= 3442.5 \text{ kN} \\ 6260 \cdot 240 \cdot 10^{-3} &= 1502.4 \text{ kN} \end{aligned} \right.$$

$$V_h = 1502.4 \text{ kN}$$



۳-۳-۸-۲-۱۰ مقاومت خمشی موجود اعضای مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن (ت) مقاومت برشی مورد نیاز بین تیر فولادی و دال بتنی

ت-۱) در نواحی لنگر خمشی مثبت

برش افقی مورد نیاز کل (V_h) بین تیر فولادی و دال بتنی در فاصله نقطه حداکثر لنگر خمشی مثبت و نقطه لنگر خمشی صفر در حالت عملکرد مختلط کامل باید برابر کوچکترین دو مقدار به دست آمده از حالت‌های حدی زیر در نظر گرفته شود:

۱- خردشدگی بتن مطابق رابطه زیر:

$$V_h = 0.85 f'_c A_c$$

(۲۰-۸-۲-۱۰)

۲- تسلیم کششی مقطع فولادی مطابق رابطه زیر:

$$V_h = F_y A_s$$

(۲۱-۸-۲-۱۰)

تبصره: در ناحیه لنگر خمشی مثبت (فاصله بین نقطه حداکثر لنگر خمشی مثبت و نقطه لنگر خمشی صفر) چنانچه مقدار ΣQ_n مساوی یا بیش از V_h باشد تیر دارای عملکرد مختلط کامل، کمتر از V_h و مساوی یا بیشتر از $0.25V_h$ باشد تیر دارای عملکرد مختلط ناقص و کمتر از $0.25V_h$ باشد تیر بدون عملکرد مختلط در نظر گرفته می‌شود.

در روابط فوق:

A_c = سطح مقطع دال بتنی در محدوده پهنای مؤثر

A_s = مساحت مقطع فولادی

ΣQ_n = مقاومت اسمی برشگیرهای تعبیه شده در فاصله بین نقطه لنگر خمشی صفر و نقطه با حداکثر لنگر خمشی مثبت



پ) مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی

مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده و در داخل دال بتنی قرار می‌گیرند، بدون توجه به جهت قرارگیری ناودانی در طول تیر از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w) l_a \sqrt{f'_c E_c} \quad (۳۷-۸-۲-۱۰)$$

که در آن:

t_f = ضخامت متوسط بال ناودانی

t_w = ضخامت جان ناودانی

l_a = طول ناودانی

f'_c = تنش فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن

E_c = مدول الاستیسیته بتن

$$UNP60 \begin{cases} t_f = 6mm \\ t_w = 6mm \end{cases} \quad \text{از ایتال:$$

$$E_c = 0.043 * W_c^{1.5} * \sqrt{f'_c} = 0.043 * 2500^{1.5} * \sqrt{30} = 29440 \text{ MPa}$$

$$Q_n = 0.3(6 + 0.5 * 6) * 50 * \sqrt{30 * 29440} = 126871.3 \text{ N} = 126.87 \text{ kN}$$

تعداد کل برشگیرها ۲۴ عدد است که در فاصله تکیه‌گاه تا وسط تیر ۱۲ عدد استفاده شده است.

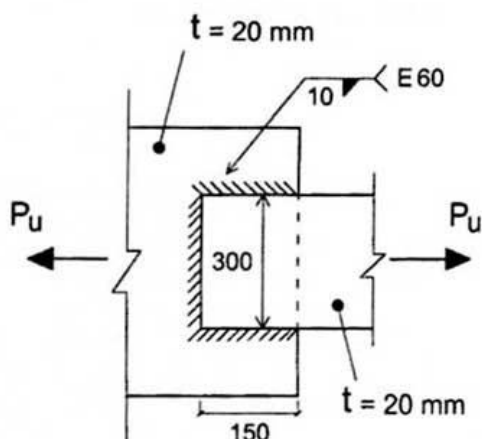
$$\Sigma Q_n = 12 * 126.87 = 1522.44 \text{ kN} \quad \Sigma Q_n > V_h \rightarrow \text{تیر دارای عملکرد مختلط کامل است.}$$

پاسخ صحیح گزینه ۴ می‌باشد.

۵۰- سوال ۸-۲

فقط بر اساس کنترل مقاومت جوش، حداکثر P_u قابل تحمل توسط اتصال دو ورق به یکدیگر (اتصال شکل زیر) به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ حداکثر مقدار قابل قبول مد نظر این سوال است. در شکل ابعاد به میلی‌متر است.

$$F_y = 240 \text{ MPa}, E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$



940 kN (۱)

1070 kN (۲)

800 kN (۳)

1250 kN (۴)

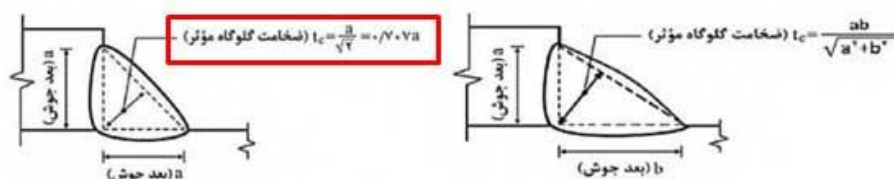
اتصال با استفاده از جوش گوشه و تحت تنش برشی است بر اساس فلز الکتروود داریم:

ادامه جدول ۱۰-۲-۹-۳: مقاومت موجود جوش ها**

نوع جوش	نوع بار و جهت آن نسبت به محور جوش	نوع فلز حاکم بر تعیین مقاومت جوش	ضریب کاهش مقاومت (ϕ) یا افزایش مقاومت مجاز (Ω)	تنش اسمی (F_{nBm} یا F_{nw})
جوش گوشه	برشی	بر اساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	مطابق بند ۱۰-۲-۹-۴ $\phi = 0.75$ $\Omega = 2.0$	مطابق بند ۱۰-۲-۹-۴ $F_{nw} = 0.6F_{ue}$

برای الکتروود E60 $F_{ue} = 420 MPa$

۱۰-۲-۹-۲-۲ جوش های گوشه



شکل ۱۰-۲-۹-۳: بعد و ضخامت گلوگاه مؤثر جوش های گوشه

اندازه ساق جوش برابر ۱۰ میلی متر است.

$$t_e = 0.707a = 0.707 * 10 = 7.07mm$$

CIVILGEOTECH



تبصره ۲: برای گروه جوش گوشه که متشکل از جوش‌های گوشه طولی و عرضی (عمود بر محور جوش‌های گوشه طولی) بوده و نیروی وارد بر مرکز ثقل گروه جوش‌ها در امتداد جوش‌های گوشه طولی باشد، به‌عنوان یک گزینه دیگر طراحی، مقاومت اسمی گروه جوش گوشه را می‌توان مطابق روابط زیر، بزرگ‌ترین دو مقدار R_{n1} و R_{n2} در نظر گرفت:

$$R_{n1} = R_{nwl} + R_{nwt} \quad (۶-۹-۲-۱۰)$$

$$R_{n2} = 0.85R_{nwl} + 1.5R_{nwt} \quad (۷-۹-۲-۱۰)$$

که در آن:

R_{nwl} = مقاومت اسمی کل برای جوش گوشه، بارگذاری شده به‌صورت طولی که با توجه به جدول ۳-۹-۲-۱۰ تعیین می‌شود.

R_{nwt} = مقاومت اسمی کل برای جوش گوشه، بارگذاری شده به‌صورت عرضی که با توجه به جدول ۳-۹-۲-۱۰ و بدون در نظر گرفتن افزایش تبصره (۱) بالا تعیین می‌شود.

$$R_{nwl} = 2 * L * t_e * 0.6 * F_{ue}$$

$$R_{nwl} = 2 * 150 * 7.07 * 0.6 * 420 * 10^{-3} = 534.5kN$$

$$R_{nwt} = L * t_e * 0.6 * F_{ue}$$

$$R_{nwt} = 300 * 7.07 * 0.6 * 420 * 10^{-3} = 534.5kN$$

$$R_{n1} = 534.5 + 534.5 = 1069kN$$

$$R_{n2} = 0.85 * 534.5 + (1.5 * 534.5) = 1256kN$$

$$\rightarrow \max \begin{cases} 1069kN \\ 1256kN \end{cases} = 1256kN \quad \text{مقاومت اسمی جوش}$$

$$0.75 * 1256 = 942kN \quad \text{مقاومت طراحی جوش}$$

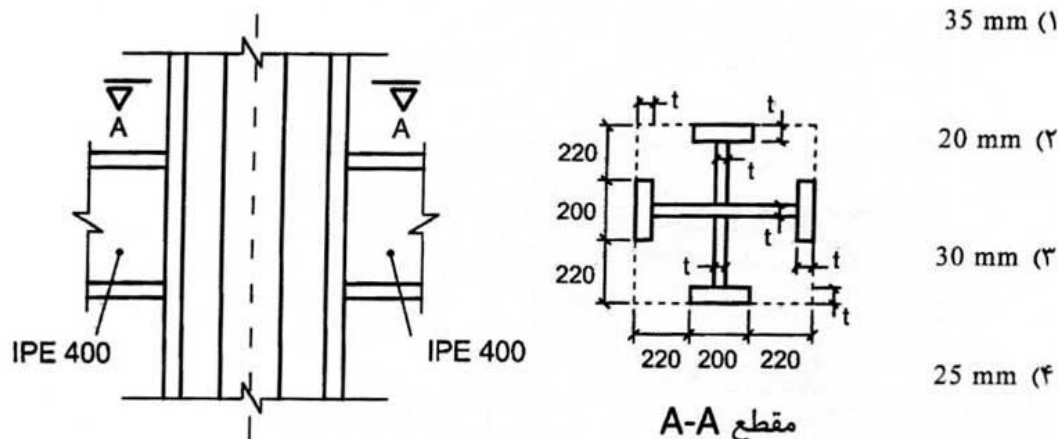
پاسخ صحیح گزینه ۱ می‌باشد.



۲-۹- سوال ۵۱

فرض کنید اتصال شکل زیر مربوط به یک قاب خمشی ویژه است. اگر از اثر بارهای ثقلی صرف نظر شود و نیز به طور محافظه کارانه از اثر نیروی برشی ستون صرف نظر شود، براساس کنترل برش در چشمه اتصال، حداقل ضخامت ورق های تشکیل دهنده مقطع ستون به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ فرض کنید اتصال از نوع WUF-W بوده و طراحی به روش LRFD مدنظر است. همچنین فرض کنید در تحلیل از آثار تغییر شکل غیرالاستیک چشمه اتصال استفاده نشده، اتصال تیرهای عمود بر صفحه کاغذ مفصلی و $(P_{uc}/P_{yc}) < 0.4$ است. در شکل ابعاد به میلی متر است.

$$F_y = 240 \text{ MPa}, E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$



$$S_h = 0 \quad C_{pr} = 1.4 \quad \text{۱۰-۳-۷-۶ اتصال گیردار تقویت نشده جوشی (WUF-W)}$$

لنگر خمشی در محل تشکیل مفصل پلاستیک:

$$M_{hr} = \frac{C_{pr} R_y M_p}{\alpha_s} = \frac{C_{pr} R_y Z_x F_y}{\alpha_s} = \frac{1.4 * 1.2 * 1307 * 10^3 * 240}{1} = 527 \text{ kN.m}$$

$$Z_x = 1307 * 10^3 \text{ mm}^3 \quad \text{از جدول اشتال برای IPE400}$$

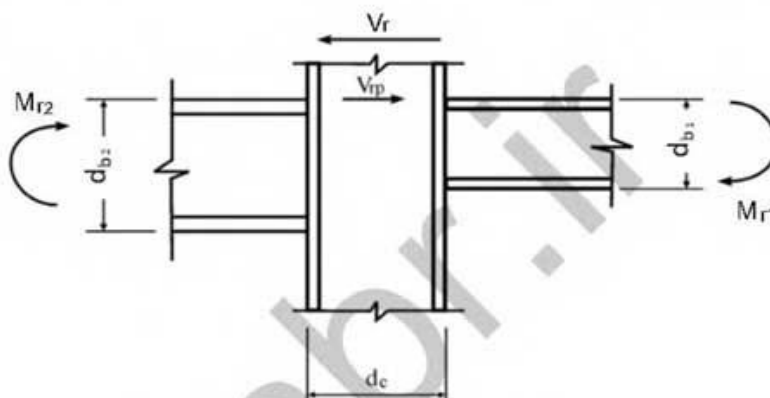
$$\alpha_s = 1 \quad \text{روش LRFD}$$

$$R_y = 1.2 \quad \text{جدول ۱۰-۳-۲-۱: مقادیر } R_y \text{ و } R_t \text{ فولاد و } R_c \text{ بتن} \quad \text{پروفیل نورد شده}$$



۶-۱۰-۹-۲-۱۰ برش در چشمه اتصال

الزامات این بند مربوط به حالتی است که مطابق شکل ۲۸-۹-۲-۱۰ یک زوج نیروی متمرکز در یک یا هر دو بال عضو اثر می‌کند.



شکل ۲۸-۹-۲-۱۰: برش در چشمه اتصال

مطابق شکل ۲۸-۹-۲-۱۰، در چشمه اتصال مقاومت برشی موردنیاز (V_{rp}) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{rp} = \frac{M_{r1}}{d_{b1}} + \frac{M_{r2}}{d_{b2}} - V_r \quad (۴۴-۹-۲-۱۰)$$

که در آن:

d_{b1} و d_{b2} = به ترتیب ارتفاع‌های کل مقاطع تیرهای سمت چپ و راست چشمه اتصال
 M_{r1} و M_{r2} = به ترتیب لنگرهای خمشی انتهایی تیرهای سمت چپ و راست چشمه اتصال با رعایت جهت لنگرهای وارده ناشی از ترکیبات مختلف بارگذاری متناظر با روش طراحی که در روش LRFD با M_{u1} و M_{u2} و در روش ASD با M_{a1} و M_{a2} نشان داده می‌شوند.
 V_r = نیروی برشی ستون در بالای چشمه اتصال ناشی از ترکیبات مختلف بارگذاری متناظر با روش طراحی که در روش LRFD با V_u و در روش ASD با V_a نشان داده می‌شود.

$$V_{rp} = \frac{527}{0.4} + \frac{527}{0.4} - 0 = 2635kN$$



۹-۳-۳-۳-۱۰ برش در چشمه اتصال

$$\frac{P_r}{P_y} < 0.4$$

روش LRFD $\alpha = 1$

(۱) در حالتی که آثار تغییر شکل غیر الاستیک چشمه اتصال در تحلیل سازه منظور نشود:

• برای حالتی که $\alpha \left(\frac{P_{rc}}{P_{yc}} + \frac{M_{rby}}{M_{pcx}} \right) \leq 0.4$ باشد: (۷-۳-۳-۳-۱۰)

$$R_n = 0.6 F_y d_c t_w$$

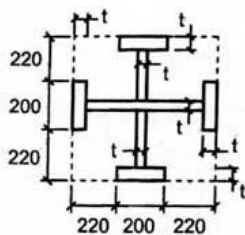
• برای حالتی که $\alpha \left(\frac{P_{rc}}{P_{yc}} + \frac{M_{rby}}{M_{pcx}} \right) > 0.4$ باشد:

$$R_n = 0.6 F_y d_c t_w \left[1.4 - \alpha \left(\frac{P_{rc}}{P_{yc}} + \frac{M_{rby}}{M_{pcx}} \right) \right] \quad (۸-۳-۳-۳-۱۰)$$

اتصال تیرهای عمود بر صفحه کاغذ مفصلی $M_{rby} = 0$

M_{rby} = لنگر خمشی مورد نیاز تیر امتداد y وارد به ستون در ترکیب بار راستای x

d_c : ارتفاع کلی مقطع ستون
 t_w : ضخامت جان مقطع ستون



مقطع A-A

$$t_w = t$$

$$d_c = 640$$

$$R_n = 0.6 * 240 * 640 * t = 92160t$$

$$V_{rp} \leq \phi * R_n$$

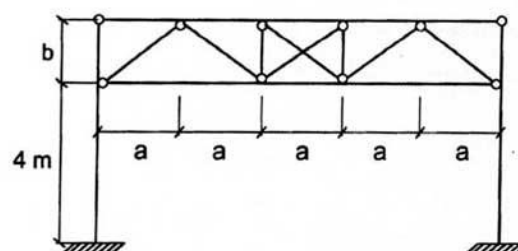
$$2635 * 1000 \leq 0.9 * 92160t$$

$$t \geq 31.77 \text{ mm}$$

مقدار t باید از ۳۱٫۷۷ میلیمتر بیشتر باشد با توجه به گزینه‌ها باید مقدار ۳۵ در نظر گرفته شود اما در پاسخ نامه مقدار ۳۰ به عنوان جواب می‌باشد.

۱۰-۲- سوال ۵۲

در قاب خمشی خرابایی ویژه شکل زیر کدامیک از تناسبات ابعادی زیر مجاز نیست؟



(۱) $b=1.5 \text{ m}$ و $a=2.5 \text{ m}$

(۲) $b=1.8 \text{ m}$ و $a=2.7 \text{ m}$

(۳) $b=1.4 \text{ m}$ و $a=1.2 \text{ m}$

(۴) $b=1.6 \text{ m}$ و $a=2 \text{ m}$

۴-۳-۳-۱۰ الزامات لرزه‌ای قاب‌های خمشی خرابایی ویژه (STMF)

۱-۴-۳-۳-۱۰ الزامات عمومی

همه گزینه‌ها شامل این حالت هستند.

$$b \leq 1.8 \text{ m}$$

الف) طول دهانه خرابا در این قاب‌ها نباید از ۲۰ متر و ارتفاع کلی آن‌ها از ۱.۸ متر بیشتر باشد.

ب) هر خرابای واقع در بین دو ستون این سیستم باید دارای بخش ویژه‌ای در نیمه میانی طول آن

باشد. طول این بخش ویژه باید ۰.۱ تا ۰.۵ برابر طول دهانه خرابا باشد. نسبت طول به ارتفاع

هر چشمه خرابا در این بخش نباید از ۱.۵ بزرگتر و از ۰.۶۷ کوچکتر باشد.

$$0.67 \leq \frac{a}{b} \leq 1.5$$

$$0.67 \leq \frac{2.5}{1.5} = 1.67 \leq 1.5$$

$$0.67 \leq \frac{2.7}{1.8} = 1.5 \leq 1.5$$

$$0.67 \leq \frac{1.2}{1.4} = 0.86 \leq 1.5$$

$$0.67 \leq \frac{2}{1.6} = 1.25 \leq 1.5$$

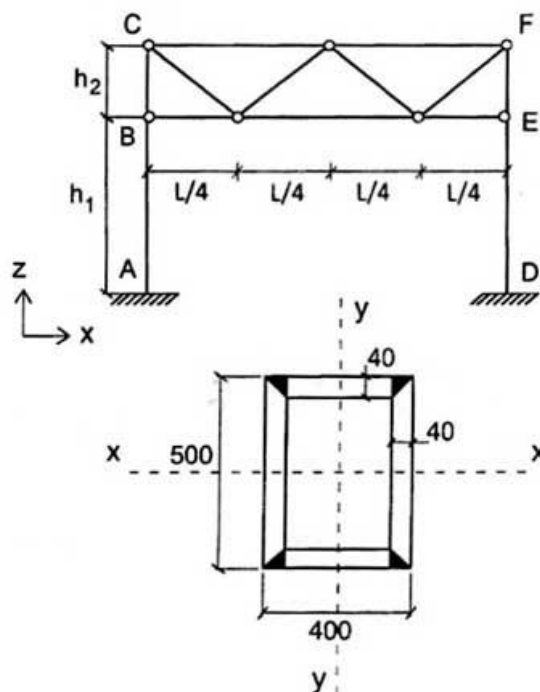
پاسخ صحیح گزینه ۱ می‌باشد.



۱۱-۲- سوال ۵۳

در قاب لرزه‌ای شکل زیر در نقاط C, B, E و F مهار جانبی وجود دارد. حداکثر ارتفاع مجاز (h_1) ستون‌ها AB و DE برای آنکه در طول آن‌ها نیازی به مهار جانبی نباشد به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ فرض کنید مقطع ستون‌ها به لحاظ مقاومتی پاسخگو بوده و در شکل ابعاد به میلیمتر است.

$$F_y = 360 \text{ MPa}, E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$



10 m (۱)

8 m (۲)

14 m (۳)

12 m (۴)

۱۰-۳-۳-۵ الزامات لرزه‌ای سیستم کنسولی فولادی ویژه (SCCS)

۱۰-۳-۳-۴ مهار جانبی ستون‌ها

در ارتباط با مهار جانبی ستون‌ها، الزامات زیر باید تأمین شوند:

الف) کلیه ستون‌ها باید در انتها و در صورت لزوم در طول خود دارای مهار جانبی باشند به‌طوری‌که

این مهارهای جانبی بتوانند از تغییر مکان جانبی هر دو بال ستون یا از پیش‌کش کل مقطع به نحو مؤثری جلوگیری نمایند تا از این طریق در تعیین مقاومت خمشی اسمی ستون (M_n).

حالت حدی کمانش جانبی-پیش‌کش تعیین‌کننده نباشد.

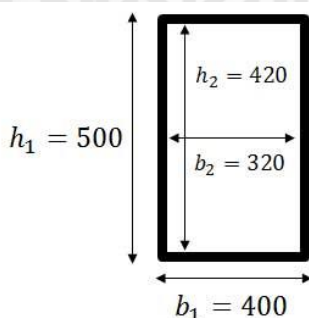
ب) مهارهای جانبی ستون‌ها باید مطابق بند ۱۰-۳-۳-۸ الزامات مهارهای جانبی در قاب‌های خمشی متوسط را تأمین نمایند.

۱۰-۳-۳-۸-۱ مهارهای جانبی در اعضای با شکل‌پذیری متوسط

الف) تیرهای فولادی تنها

تیرهای فولادی با شکل‌پذیری متوسط باید الزامات زیر را برآورده نمایند:

۱- هر دو بال تیر باید به‌صورت جانبی یا مقطع تیر از طریق مهار پیش‌کش نقطه‌ای، مهار شود.

۲- در طول تیر، فاصله مهارهای جانبی یا پیش‌کش نباید از $L_b = \frac{0.17 r_y E}{R_y F_y}$ بیشتر باشد. r_y شعاع زیراسیون مقطع تیر حول محور ضعیف است.

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{h_1 b_1^3}{12} - \frac{h_2 b_2^3}{12}}{b_1 h_1 - b_2 h_2}} = 152.2 \text{ mm}$$

جدول ۱۰-۳-۲-۱: مقادیر R_y و R_t فولاد و R_c بتن

مقاطع ساخته شده از ورق، ورق‌ها و تسمه‌ها

$$R_y = 1.15$$

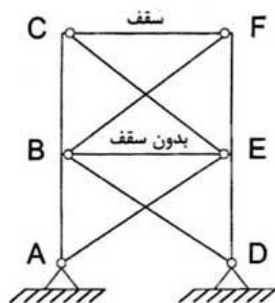
$$L_b \leq \frac{0.17 * 152.2 * 2 * 10^5}{1.15 * 360} = 12500 \text{ mm} = 12.5 \text{ m}$$

پاسخ صحیح گزینه ۴ می‌باشد.

۵۴ سوال - ۱۲-۲

در قاب مهاربندی شده همگرای معمولی شکل زیر در طراحی به روش LRFD مقاومت مورد نیاز اتصال اعضای مهاربندی باید بر اساس کدامیک از گزینه‌های زیر تعیین شود؟ فرض کنید مهاربدها دارای رفتاری کششی - فشاری بوده و مهارهای جانبی فقط در نقاط C و F قرار دارند.

E = نیروی محوری عضو مهاربندی ناشی از ترکیبات متعارف بارگذاری در حضور نیروی زلزله

$$A_g = \text{سطح مقطع اعضای مهاربندی}$$


$$\min(R_v F_v A_g, 1.14 F_{cr} A_g) \quad (1)$$

$$\max(\Omega_0 E, R_v F_v A_g) \quad (\gamma$$

$$\min(1.5\Omega_0 E, R_v F_v A_g) \quad (\text{r})$$

$$\max(R_v F_v A_g, 1.14 F_{cr} A_g) \text{ (¢)}$$

با توجه به نبود سقف در طبقه اول، سیستم مها بند چند ردیفی در یک طبقه می باشد.

۱-۳-۴-۱-۴-۳ مهارنده‌های چند ردیفی در یک طبقه (MT-OCBF)

ت) مقاومت مورد نیاز اتصال اعضای مهاربندی باید براساس کوچکترین مقدار از بین ترکیبات

بارگذاری شامل 1.5 برابر زلزله تشدید یافته $(1.5\Omega_0 E)$ و $R_y F_y A_g / \alpha_s$ تعیین شود. مقدار α_s

برای 1.0 در LRFD و برای 1.5 در ASD است

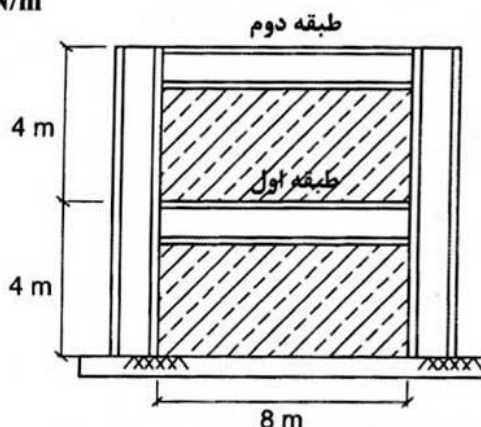
پاسخ صحیح گزینه ۳ می باشد.

۵۵- سوال ۲-۱۳

در دیوار برشی فولادی ویژه شکل زیر فرض کنید ضخامت ورق‌های دیوار در هر دو طبقه یکسان و برابر 6mm بوده و اتصال اجزای مرزی افقی به اجزای مرزی قائم از نوع BUEEP است. برای آنکه از تسلیم جزء مرزی افقی واقع در تراز طبقه اول به جز در نواحی نزدیک اتصال تیر به ستون جلوگیری شود، در طراحی به روش LRFD مقاومت خمشی مورد نیاز این جزء مرزی افقی (بدون در نظر گرفتن هرگونه کاهش در بار زنده) حداقل چقدر باید در نظر گرفته شود؟

$q_D = 50 \text{ kN/m}$ بار مرده در واحد طول تیر

$q_L = 30 \text{ kN/m}$ بار زنده در واحد طول تیر

$$F_y = 240 \text{ MPa}, E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$


1440 kN.m (\

1888 kN.m (✓)

720 kN.m (3)

944 kN.m (✓)



۱۰-۳-۴-۵-۳ اجزای مرزی افقی

اجزای مرزی افقی باید به نحوی طراحی شوند که مانع تسلیم خمشی آن‌ها به جز در نواحی نزدیک اتصال تیر به ستون شوند. برای این منظور یکی از شرایط زیر باید تأمین شود:

الف) مقاومت موجود جزء مرزی افقی بیش از دو برابر لنگر خمشی تیر ساده‌ای باشد که تحت اثر بارهای ثقیلی (با ضرایب بار مربوطه) و جاری شدن ورق دیوار (F_y/α_s) قرار گرفته است. مقدار α_s برابر 1.0 در LRFD و برابر 1.5 در ASD است.

با توجه به برابر بودن ضخامت ورق در قسمت پایین و بالای تیر طبقه اول، نیروهای افقی غشایی ناشی از تسلیم ورق‌ها همدیگر را خنثی می‌کنند.

لنگر ناشی از بارهای ثقیلی در حضور بار لرزه‌ای محاسبه می‌شود:

$$q_u = 1.2q_D + q_L$$

$$q_u = 1.2 * 50 + 30 = 90 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{q_u * L^2}{8} = \frac{90 * 8^2}{8} = 720 \text{ kN.m}$$

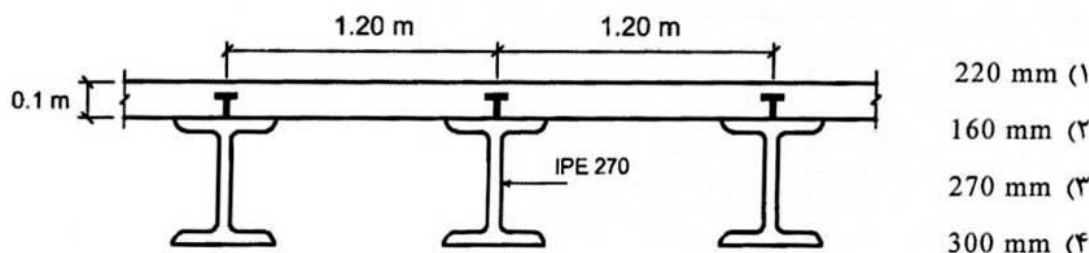
$$2M_u = 2 * 720 = 1440 \text{ kN.m}$$

پاسخ صحیح گزینه ۱ می‌باشد.

۲-۱۴- سوال ۵۶

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

$F_y = 235 \text{ MPa}$, $f'_c = 25 \text{ MPa}$, $E_c = 2.4 \times 10^4 \text{ MPa}$, $F_u = 420 \text{ MPa}$ گل میخ





۱۰-۲-۳ اعضای خمشی با مقطع مختلط
۱۰-۲-۳-۱ پهنای مؤثر و حداقل ضخامت دال بتنی

الف) پهنای مؤثر

پهنای مؤثر دال بتنی برابر با مجموع پهنای مؤثر در هر طرف محور مقطع فولادی بوده و با تیر فولادی به کمک برشگیرها به صورت مختلط عمل می‌نماید. پهنای مؤثر دال بتنی در هر طرف تیر نباید از کوچک‌ترین مقادیر زیر بزرگ‌تر در نظر گرفته شود:

۱- یک‌هشتم طول دهانه تیر (مركز تا مركز تکیه‌گاه‌های تیر)

۲- نصف فاصله محور تیر تا محور تیر مجاور برای تیرهای مختلط میانی

۳- فاصله محور تیر تا لبه آزاد دال بتنی برای تیرهای مختلط کناری

$$\frac{b_e}{2} = \min\left(\frac{L_n}{8}, \frac{s}{2}\right)$$

$$\rightarrow b_e = 2 * \min\left(\frac{6000}{8}, \frac{1200}{2}\right) = 1200 \text{ mm}$$

ت) مقاومت برشی موردنیاز بین تیر فولادی و دال بتنی

ت-۱) در نواحی لنگر خمشی مثبت

برش افقی موردنیاز کل (V_b) بین تیر فولادی و دال بتنی در فاصله نقطه حداکثر لنگر خمشی مثبت و نقطه لنگر خمشی صفر در حالت عملکرد مختلط کامل باید برابر کوچک‌ترین دو مقدار به‌دست‌آمده از حالت‌های حدی زیر در نظر گرفته شود:

۱- خردشدگی بتن مطابق رابطه زیر:

$$V_b = 0.85 f'_c A_c \quad (20-8-2-10)$$

۲- تسلیم کششی مقطع فولادی مطابق رابطه زیر:

$$V_b = F_y A_s \quad (21-8-2-10)$$

تیمبره: در ناحیه لنگر خمشی مثبت (فاصله بین نقطه حداکثر لنگر خمشی مثبت و نقطه لنگر خمشی صفر) چنانچه مقدار ΣQ_n مساوی یا بیش از V_b باشد تیر دارای عملکرد مختلط کامل، کمتر از V_b و مساوی یا بیشتر از $0.25V_b$ باشد تیر دارای عملکرد مختلط ناقص و کمتر از $0.25V_b$ باشد تیر بدون عملکرد مختلط در نظر گرفته می‌شود.

در روابط فوق:

A_c = سطح مقطع دال بتنی در محدوده پهنای مؤثر

A_s = مساحت مقطع فولادی

ΣQ_n = مقاومت اسمی برشگیرهای تعبیه‌شده در فاصله بین نقطه لنگر خمشی صفر و نقطه با حداکثر لنگر خمشی مثبت

جدول ۱۰-۲-۳: مقادیر R_p و R_g

R_p	R_g	حالت
0.75	1	۱- مقاطع مختلط بدون استفاده از عرشه فولادی
0.75	1	$w_f/h_c \geq 1.5$ کنگره‌ها موازی با محور تیر فولادی
0.75	0.85	$w_f/h_c < 1.5$
0.6	1	تعداد گل‌میخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر برابر با 1
0.6	0.85	تعداد گل‌میخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر برابر با 2
0.6	0.7	تعداد گل‌میخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر برابر یا بزرگ‌تر از 3

ب) مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع گل‌میخ کلاهک‌دار

مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع گل‌میخ از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$Q_n = 0.5 A_{sa} \sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sa} F_u \quad (26-8-2-10)$$

که در آن:

A_{sa} = سطح مقطع گل‌میخ

E_c = مدول الاستیسیته بتن

f'_c = تنش فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن

F_u = تنش کششی نهایی مصالح گل‌میخ

R_p و R_g = ضرایب اصلاحی مطابق جدول ۱۰-۲-۳

$$Q_n = \min \left\{ \begin{aligned} 0.5 A_{sa} \sqrt{f'_c E_c} &= 0.5 * \left(\pi \left(\frac{16}{2} \right)^2 \right) * \sqrt{25 * 2.4 * 10^4 * 10^{-3}} = 77.86 \text{ kN} \\ R_g R_p A_{sa} F_u &= 1 * 0.75 * \left(\pi \left(\frac{16}{2} \right)^2 \right) * 420 * 10^{-3} = 63.35 \text{ kN} \end{aligned} \right.$$

$$Q_n = 63.35 \text{ kN}$$

$$n \geq \frac{V_h}{Q_n} = \frac{1078.65}{63.35} = 17.02 \approx 18 \quad \text{تعداد گل میخ:}$$

تیر تحت بار گسترده یکنواخت است. در نتیجه محل لنگر صفر تکیه گاه بوده و محل لنگر حداکثر وسط تیر می‌باشد. باید تعداد گل‌میخ محاسبه شده در نصف طول تیر تعبیه شوند.

$$s = \frac{\frac{L}{2}}{n} = \frac{\frac{6000}{2}}{18} = 166.67 \text{ mm}$$

۱۰-۸-۲-۸ برشگیرها در تیرهای مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن

۵- حداکثر فاصله مرکز تا مرکز برشگیرها نباید از ۸ برابر ضخامت کل دال بتنی یا ۹۰۰ میلی‌متر بیشتر باشد.

$$S_{max} = \min \left\{ \frac{8 * t_c}{900} = \frac{8 * 100}{900} = 800 \right\} = 800 \text{ mm}$$

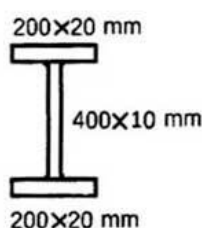
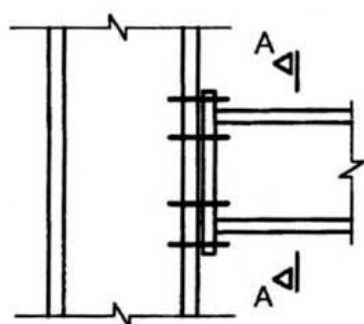
$$\rightarrow s = 166.67 \leq S_{max} = 800 \quad \text{ok}$$

پاسخ صحیح گزینه ۲ می‌باشد.

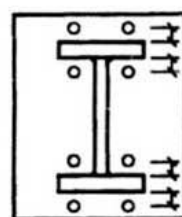
۲-۱۵- سوال ۵۷

تیر شکل زیر با طول آزاد $L_n = 7\text{m}$ به ستون H شکل در قاب خمشی متوسط با اتصال پیش‌تائیدشده BUEEP از نوع پیش‌تنیده متصل شده است. حداقل قطر قابل قبول پیچ‌ها مطابق کدامیک از گزینه‌های زیر است؟ کنترل پیچ‌ها در برابر لنگر خمشی مدنظر این سوال است. از آثار بارهای ثقلی صرف نظر نموده و طراحی به روش LRFD مدنظر است.

پیچ از نوع ۱۰.۹ ، $F_y = 225 \text{ MPa}$



مقطع تیر



مقطع A-A

۳۰ mm (۱)

۲۴ mm (۲)

۲۲ mm (۳)

۲۷ mm (۴)

در مرحله اول باید لنگر وارد به اتصال محاسبه شود. سپس این لنگر تبدیل به زوج نیروی کششی و فشاری شود. براساس اینکه تاثیر نیرو بر روی پیچ‌ها به صورت کششی است، می‌توان اندازه پیچ‌ها را تعیین کرد.



۱۰-۳-۲ الزامات لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط (IMF)

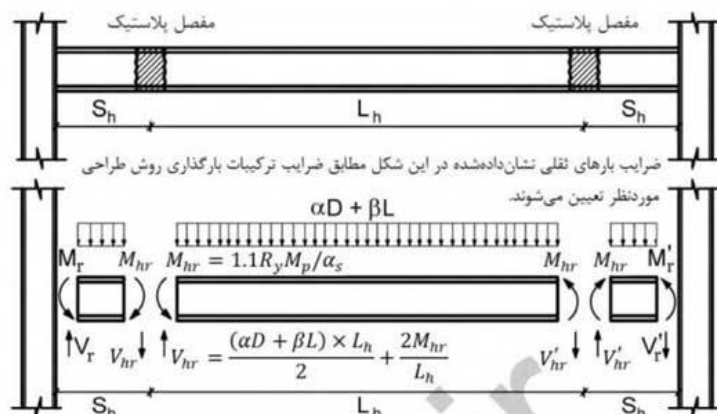
۱۰-۳-۳-۵ مقاومت‌های موردنیاز و موجود تیر

۱۰-۳-۳-۶ اتصال تیر به ستون

$$M_r = M_{hr} + \left(\frac{2 * M_{hr}}{L_h} + \frac{q_u * L_h}{2} \right) (S_h) + (q_u)(S_h)^2$$

با توجه به اینکه بار ثقلی وجود ندارد، رابطه به شکل زیر می‌شود:

$$M_r = M_{hr} + \left(\frac{2 * M_{hr}}{L_h} \right) (S_h)$$



لنگر خمشی در محل تشکیل مفصل پلاستیک:

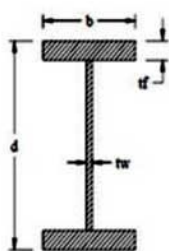
$$M_{hr} = \frac{C_{pr} R_y M_p}{\alpha_s} = \frac{C_{pr} R_y Z_x F_y}{\alpha_s} = \frac{1.1 * 1.15 * 2080000 * 225 * 10^{-6}}{1} = 592.02 \text{ kN.m}$$

روش LRFD $\alpha_s = 1$

جدول ۱۰-۳-۱: مقادیر R_y و R_t فولاد و بتن مقاطع ساخته شده از ورق $R_y = 1.15$

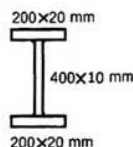
قاب خمشی متوسط $C_{pr} = 1.1$

اساس مقطع پلاستیک:



$$Z_p = b t_f (d - t_f) + 0.25 t_w (d - 2 t_f)^2$$

$$Z_p = 200 * 20 * (440 - 20) + 0.25 * 10 * (440 - 2 * 20)^2 = 2080000 \text{ mm}^2$$



مقطع تیر

۳-۷-۳-۱۰ اتصال گیردار فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی (BUEEP) و

اتصال گیردار فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی (BSEEP)

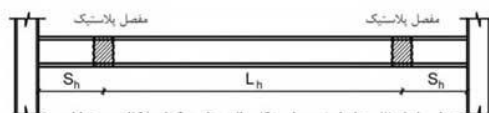
(۴) فاصله محل تشکیل مفصل پلاستیک از بر ستون (S_b)، باید برابر کوچکترین دو مقدار $d_b/2$ و

$3b_{bf}$ برای اتصالات فلنجی بدون استفاده از ورق های لچکی و برابر $L_{st} + t_p$ برای اتصالات فلنجی

با استفاده از ورق های لچکی در نظر گرفته شود که در آن d_b عمق تیر، b_{bf} پهنای بال تیر، L_{st}

طول ورق لچکی در روی بال تیر و t_p ضخامت ورق انتهایی است.

$$S_h = \min \left\{ \frac{d_b}{2} = \frac{440}{2} = 220 \text{ mm} \right. \\ \left. \frac{440}{3 * 200} = 600 \text{ mm} \right\} = 220 \text{ mm} = 0.22 \text{ m}$$



$$L_h = L - 2S_h = 7 - 2 * 0.22 = 6.56 \text{ m}$$

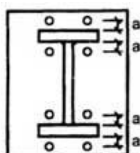
$$M_r = M_{hr} + \left(\frac{2 * M_{hr}}{L_h} \right) (S_h) \rightarrow M_r = 592.02 + \left(\frac{2 * 592.02}{6.56} \right) (0.22) = 631.73 \text{ kN.m}$$

با توجه به لنگر محاسبه شده حال نیروی کششی و فشاری که از طرف تیر به صفحه انتهایی فلنجی منتقل می شود، محاسبه می گردد.

$$T = \frac{M_r}{d} = \frac{M_r}{h_w + 2 * \frac{t_f}{2}} = \frac{631.73}{400 + 2 * \frac{20}{2}} = 1504.1 \text{ kN}$$

d: فاصله مرکز به مرکز
بال های فوقانی و تحتانی مقطع

در سوال اتصال پیچ پیش تنیده است. محاسبات مانند اتصال اتکایی خواهد بود. توجه شود که در هر طرف اتصال ۴ پیچ نیروی لازم را تامین می کند.



مقطع A-A

$$R_{ut} \leq \phi R_{nt} = 0.9 R_{nt} \quad \text{نیروی کششی نهایی}$$

$$R_{nt} = F_{nt} A_b \quad \text{مقاومت کششی اسمی}$$

$$F_{nt} = 0.75 F_u \quad \text{از جدول ۹-۲-۱۰}$$

$$F_u = 1000 \text{ MPa} \quad \text{از جدول ۵-۱-۱۰ برای پیچ ۱۰.۹}$$

$$1504.1 * 10^3 \leq 0.9 * 0.75 * 1000 * 4A_b \\ \rightarrow A_b \geq 557 \text{ mm}^2$$

$$A_b = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \rightarrow d = 26.64 \text{ mm}$$

۳-۳-۹-۲-۱۰ مقاومت کششی و برشی موجود پیچ ها و میله های دندانه شده در اتصالات اتکایی

و پیش تنیده

$$R_n = F_n A_b \quad (۸-۹-۲-۱۰)$$

$$\phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \text{و} \quad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

در روابط فوق:

A_b = سطح مقطع اسمی پیچ یا میله دندانه شده

F_n = تنش کششی اسمی (F_{nt}) یا تنش برشی اسمی (F_{nv})، مطابق مقادیر جدول ۹-۲-۱۰

۳-۷-۳-۱۰ اتصال گیردار فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی (BUEEP) و

اتصال گیردار فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی (BSEEP)

ابعاد و ضخامت ورق انتهایی و نیز مشخصات و تعداد پیچ های اتصال ورق انتهایی به بال ستون باید

براساس مقاومت های خمشی و برشی مورد نیاز اتصال تیر به ستون (مطابق الزامات بند ۱۰-۳-۳-۲-۶

یا ۱۰-۳-۳-۳-۸، حسب مورد) تعیین شود. در تعیین مقاومت های طراحی وسایل اتصال، ضریب

کاهش مقاومت (ϕ) را می توان برای حالت های حدی غیر شکل پذیر، به جای ۰.۷۵ برابر ۰.۹ و برای

حالت های حدی شکل پذیر به جای ۰.۹ برابر ۱ در نظر گرفت. همچنین در تعیین مقاومت های مجاز

وسایل اتصال، ضریب اطمینان (Ω) را می توان برای حالت های حدی غیر شکل پذیر، به جای ۲ برابر

۱.۶۷ و برای حالت های حدی شکل پذیر به جای ۱.۶۷ برابر ۱.۵ در نظر گرفت.

پاسخ صحیح گزینه ۴ می باشد.



۲-۱۶- سوال ۵۸

در یک تیر طره به دهانه L تحت اثر بار یکنواخت q_u و با مقطع I شکل نوردشده تحت اثر خمش حول محور قوی و دارای تکیه‌گاه جانبی کافی، چنانچه اساس مقطع پلاستیک مقطع برابر Z ، سطح مقطع جان (حاصل ضرب ارتفاع کلی مقطع در ضخامت جان) برابر A_w و $h/t_w < 50$ باشد، در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت به ازای کدامیک از روابط زیر تأثیر معیارهای خمش و برش به‌طور همزمان تعیین کننده طراحی می‌شود.

$$F_y = 240 \text{ MPa}, E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} L &= 3.33 \frac{Z}{A_w} \quad (\gamma) & L &= 3 \frac{Z}{A_w} \quad (1) \\ L &= 2.67 \frac{Z}{A_w} \quad (\varphi) & L &= \frac{2Z}{A_w} \quad (\psi) \end{aligned}$$

برای اینکه معیارهای خمش و برش به‌طور همزمان تعیین کننده طراحی باشد باید رابطه زیر برقرار شود.

$$\frac{V_u}{\phi_v * V_n} = \frac{M_u}{\phi_b * M_n}$$

براساس نمودار برش و خمش تیر طره تحت بار یکنواخت داریم:

$$V_u = q_u * L$$

$$M_u = \frac{q_u * L^2}{2}$$

۱۰-۲-۶-۱ مقاومت برشی اسمی بدون در نظر گرفتن عمل میدان کششی

$$\frac{h}{t_w} < 50$$

مقاومت برشی اسمی (V_n)، براساس حالت‌های حدی تسلیم برشی و کمانش برشی از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 * 10^5}{240}} = 64.66 \quad V_n = 0.6 F_y A_w C_{v1} \quad (10-2-6-1)$$

که در آن:

$$F_y = \text{تنش تسلیم مشخصه فولاد جان}$$

$$d t_w = A_w = \text{مساحت جان که برابر است با حاصل ضرب عمق کلی مقطع در ضخامت جان}$$

$$C_{v1} = \text{ضریب مقاومت برشی جان به شرح زیر:}$$

$$\rightarrow 50 \leq 64.66 \quad ok \rightarrow C_{v1} = 1$$

الف) برای جان مقاطع I شکل نورد شده که $\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ باشد:

$$C_{v1} = 1 \quad (10-2-6-2)$$

۱۰-۲-۵ الزامات طراحی اعضا برای لنگر خمشی

۱۰-۲-۵-۱ الزامات عمومی

۱۰-۲-۵-۱-۱ در روش LRFD مقاومت خمشی طراحی مساوی $\phi_b M_n$ و در روش ASD مقاومت خمشی مجاز مساوی M_n / Ω_b است که در آن، ϕ_b ضریب کاهش مقاومت برابر ۰.۹، Ω_b ضریب اطمینان برابر ۱.۶۷ و M_n مقاومت خمشی اسمی بوده که باید مطابق الزامات بندهای ۱۰-۲-۵-۱ تا ۱۰-۲-۵-۱۴ تعیین شود.

۱۰-۲-۶-۱ الزامات عمومی

در روش LRFD مقاومت برشی طراحی مساوی $\phi_v V_n$ و در روش ASD مقاومت برشی مجاز مساوی V_n / Ω_v است که در آن:

ϕ_v = ضریب کاهش مقاومت برشی بوده و برای کلیه الزامات این بخش برابر ۰.۹ است، به‌جز در

مورد بند ۱۰-۲-۶-۱-۲ الف که مقدار آن باید برابر ۱.۰ در نظر گرفته شود.

۱۰-۲-۵-۲ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و اعضای با مقطع ناودانی فشرده تحت اثر خمش حول محور قوی

الف) حالت حدی تسلیم

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

(۱۰-۲-۵-۳)

در رابطه فوق:

$$\frac{V_u}{\phi_v * V_n} = \frac{M_u}{\phi_b * M_n} \rightarrow \frac{q_u * L}{1 * 0.6 * F_y * A_w * 1} = \frac{\frac{q_u * L^2}{2}}{0.9 * Z * F_y} \rightarrow L = 3 \frac{Z}{A_w}$$

پاسخ صحیح گزینه ۱ می باشد.

۳- مراجع

- مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان های فولادی) ویرایش ۱۴۰۱