بسم الله الرحمن الرحيم

فهـــــرست

فصل اول: آشنایی با فولاد

موضوع ۱: آشنایی با مفاهیم اولیه فولاد ۸
موضوع ۲: مباحث تکمیلی آشنایی با فولاد ۱۲
موضوع ۳: آشنایی با معیارهای طراحی ۱۷
آزمون فصل اول ۲۰
پاسخ‌های آزمون فصل اول ۲۱

فصل دوم: اعضای کششی

موضوع ۱: طراحی عضو کششی ۲۴
موضوع ۲: طراحی اتصال عضو کششی ۳۲
موضوع ۳: کنترل گسیختگی قالبی ۳۸
موضوع ۴: کنترل لاغری ۴۳
آزمون فصل دوم ۴۵
پاسخ‌های آزمون فصل دوم ۵۰

فصل سوم: ستون

موضوع ۱: ضریب طول مؤثر ستون ۵۸
موضوع ۲: بارکمانشی ستون ۶۶
موضوع ۳: اصول طراحی اعضای فشاری ۷۰
آزمون فصل سوم ۷۹
پاسخ‌های آزمون فصل سوم ۸۸

فصل چهارم: جوش و اتصالات جوشی

موضوع ۱: معرفی جوش ۱۰۲
موضوع ۲: مقاومت طراحی جوش و ارزش نهایی جوش ۱۰۶
موضوع ۳: جوش گوشه تحت اثر نیروی برشی خالص ۱۱۰
موضوع ۴: جوش گوشه تحت اثر توأم لنگر پیچشی و نیروی برشی ۱۱۳
موضوع ۵: جوش گوشه تحت اثر توأم لنگر خمشی و نیروی برشی ۱۱۸
آزمون فصل چهارم ۱۲۲
پاسخ‌های آزمون فصل چهارم ۱۲۵

فصل پنجم: پیچ و اتصالات پیچی

موضوع ۱: آشنایی با پیچ‌ها و سوراخ‌ها ۱۳۲
موضوع ۲: بررسی اتصال اتکایی و اصطکاکی تحت برش ۱۳۷

موضوع ۳: اتصال پیچی تحت اثر برش، پیچش ۱۴۱
موضوع ۴: سایر حالت‌های بارگذاری پیچ‌ها ۱۵۲
آزمون فصل پنجم ۱۵۹
پاسخ‌های آزمون فصل پنجم ۱۶۱

فصل ششم: تیر (اعضای خمشی - برشی)

موضوع ۱: بررسی مفاهیم کلی خمش ۱۶۶
موضوع ۲: اصول طراحی تیرها (کمانش پیچشی جانبی و ضریب C_b) ۱۷۷
موضوع ۳: نکات تکمیلی طراحی تیرها ۱۸۶
آزمون فصل ششم ۱۹۹
پاسخ‌های آزمون فصل ششم ۲۱۰

فصل هفتم: تیر ستون و تیرهای خاص

موضوع ۱: تیر ستون‌ها ۲۲۸
موضوع ۲: تیرهای مرکب (مختلط یا کامپوزیت) ۲۳۵
موضوع ۳: تیرهای سوراخ‌دار (لانه زنبوری) ۲۴۸
آزمون فصل هفتم ۲۵۱
پاسخ‌های آزمون فصل هفتم ۲۵۳

۴ از نسبت ε_u (کرنش نهایی) به ε_y (کرنش تسلیم)، به عنوان شکل‌پذیری فولاد یاد می‌شود. هرچه این نسبت بزرگتر باشد، شکل‌پذیری سازه فولادی نیز بیشتر است.

$$\mu = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y}$$

۵ قابلیت چکش‌خواری از خواص مهم فولاد است که به‌صورت نسبت کرنش شروع ناحیهٔ سخت‌شدگی به کرنش شروع ناحیهٔ پلاستیک تعریف می‌شود و آن را با ψ نشان می‌دهند. فولاد نرمه قابلیت چکش‌خواری مناسب و فولادهای با مقاومت بالا قابلیت چکش‌خواری کمتری دارند.

بررسی مشخصات مصالح فولادی

۱- ضریب ارتجاعی یا مدول الاستیسیته: همان شیب منحنی تنش - کرنش فولاد قبل از جاری شدن مصالح بوده که با پارامتر E نشان داده می‌شود. مقدار این پارامتر برای همهٔ فولادهای متداول یکسان بوده و برابر است با:

$$E = ۲\times۱۰^۵ \text{ MPa} \simeq ۲\times۱۰^۶ \text{ kg/cm}^۲$$

۲- تنش تسلیم و تنش نهایی: تنش تسلیم یا تنش جاری شدن مصالح فولادی با F_y نشان داده شده و تنش نهایی با F_u بیان می‌شود. برای فولادهای ST۳۷ و ST۵۲ داریم:

جدول ۱: تنش تسلیم و تنش نهایی در فولادهای **ST۳۷** و **ST۵۲**

	تنش تسلیم (F_y)	تنش نهایی (F_u)
(ST۳۷)	۲۴۰ MPa یا ۲۴۰۰ kg/cm²	۳۷۰ MPa یا ۳۷۰۰ kg/cm²
(ST۵۲)	۳۶۰ MPa یا ۳۶۰۰ kg/cm²	۵۲۰ MPa یا ۵۲۰۰ kg/cm²

نکته: عناوین ST۳۷ و ST۵۲، نام‌های مرسوم برای فولادهای تولیدی در ایران هستند. در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، عناوین S۲۳۵ و S۳۵۵ برای فولادهای ساخت ایران بیان شده که تنش تسلیم آنها به‌ترتیب ۲۳۵ MPa و ۳۵۵ MPa می‌باشد.

۳- ضریب پواسون: این مقدار با پارامتر υ نشان داده شده و برای مصالح فولادی برابر ۳/۰ در نظر گرفته می‌شود.

۴- مدول الاستیسیتهٔ برشی: این مقدار با پارامتر G نشان داده شده و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$G = \frac{E}{۲(۱+\nu)} \xrightarrow{\upsilon = ۰/۳} G = \frac{E}{۲/۶} = \frac{۲\times۱۰^۵}{۲/۶} \simeq ۷/۷\times۱۰^۴ \text{ MPa} \simeq ۷/۷\times۱۰^۵ \text{ kg/cm}^۲$$

۵- ضریب انبساط حرارتی: این مقدار با پارامتر α نشان داده می‌شود و برابر $۱۲\times۱۰^{-۶}\ \frac{۱}{^\circ C}$ می‌باشد.

تذکر: پارامترهای E، G، υ و α در تمامی فولادها یکسان بوده و افزودنی‌های مختلف به فولاد بر روی آنها تأثیر چندانی ندارد.

۶- چگالی یا وزن مخصوص: این مقدار که معمولاً با نماد γ نشان داده می‌شود برای فولادهای متعارف ۷۸۵۰ kg/m³ می‌باشد.

تمرین ۱: نماد ۵۲ ST معرف کدام‌یک از عبارات زیر است؟

۱) فولاد با درصد کربن بالا با حداقل مقاومت نهایی ۵۲ کیلوگرم بر میلی‌متر مربع در آزمایش کشش

۲) فولاد با حداقل مقاومت نهایی ۵۲ کیلوگرم بر میلی‌متر مربع در آزمایش کشش

۳) فولاد با حداقل مقاومت نهایی ۵۲ کیلوگرم بر میلی‌متر مربع در آزمایش خمش

۴) فولاد خشکه با حداقل مقاومت نهایی ۵۲ کیلوگرم بر میلی‌متر مربع در آزمایش خمش

حل: براساس نکات درسنامه، گزینهٔ (۲) صحیح است.

تمرین ۲: برای افزایش مقاومت فولاد در برابر خوردگی کدام مورد مناسب است؟

۱) رنگ کردن فولاد

۲) استفاده از فولاد پُرمقاومت

۳) افزودن آلیاژ مس

۴) همهٔ موارد

حل: براساس مطالب درسنامه، گزینهٔ (۴) صحیح است.

تمرین ۳: برای افزایش مقاومت فولاد در برابر زنگ‌زدگی:

۱) کربن فولاد را می‌گیرند.

۲) به آن مقداری فسفر اضافه می‌کنند.

۳) به آن مقداری گوگرد اضافه می‌کنند.

۴) به آن مقداری کُرُم اضافه می‌کنند.

حل: براساس نکات درسنامه، گزینهٔ (۴) صحیح است.

تمرین ۴: با افزایش مقدار کربن در آلیاژ فولاد: (سراسری - ۷۰)

۱) جوش‌پذیری فولاد بهتر می‌شود.

۲) فولاد شکننده شده، مقاومت آن افزایش یافته و جوش‌پذیری آن کاهش می‌یابد.

۳) فولاد شکننده شده، شکل‌پذیری آن افزایش یافته و جوش‌پذیری آن کاهش می‌یابد.

۴) هیچ تأثیری در خواص فولاد به‌وجود نمی‌آید.

حل: با توجه به توضیحات درسنامه، گزینه (۲) صحیح است.

موضوع ۲: مباحث تکمیلی آشنایی با فولاد

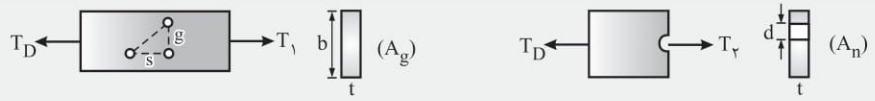
در این بخش به مباحث دیگری که در سازه‌های فولادی حائز اهمیت است می‌پردازیم.

A) اثر حرارت و تنش‌های پسماند

در تهیهٔ پروفیل‌های فولادی در مراحل مختلف عملیات نورد فولاد، سرد شدن غیریکنواخت پروفیل باعث ایجاد تنش پسماند در پروفیل می‌شود. در مورد تنش‌های پسماند، موارد زیر حائز اهمیت است:

۱) به‌طور معمول در نورد یک پروفیل، قسمت‌هایی از مقطع که تمرکز جرم کمتری دارند زودتر سرد شده و دچار تنش‌های پسماند فشاری می‌شوند. قسمت‌هایی که تمرکز جرم بیشتری دارند (مانند محل اتصال بال و جان تیر) دیرتر سرد شده و دچار تنش‌های پسماند کششی می‌شوند.

۲) در اثر جوشکاری نیز در مقطع تنش‌های پسماند ایجاد می‌شود که مقادیر آن، در مقایسه با تنش‌های پسماند ناشی از نورد فولاد بیشتر است. از طرفی عملیاتی مانند چکش‌کاری فولاد، تنش‌های پسماند را آزاد می‌کند.



در ادامه به نحوهٔ تعیین هر یک از دو سطح مقطع می‌پردازیم:

الف) سطح مقطع کل عضو کششی (A_g): مطابق شکل فوق سطح مقطع کل عضو کششی (قسمت هاشور خورده) به‌صورت زیر خواهد بود:

$$A_g = b \times t$$

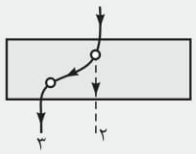
ب) سطح مقطع خالص: مطابق مبحث دهم مقررات ملّی ساختمان، سطح مقطع خالص (قسمت هاشور خورده) که ناشی از وجود سوراخ در طول عضو است، از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$A_n = (b - nd + \sum \frac{S^2}{4g})t$$

که در رابطهٔ فوق:

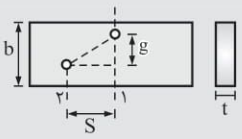
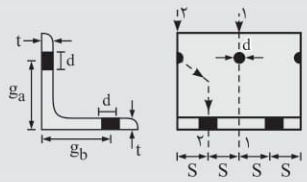
d: قطر محاسباتی سوراخ و n: تعداد سوراخ‌های موجود در مقطع مورد نظر است.

برای روشن شدن این موضوع در شکل زیر مشاهده می‌شود برای مقطع (۲)، $n = 1$ و برای مقطع (۳)، $n = 2$ خواهد بود. از آنجا که دو مقطع برای تعیین A_n وجود دارد، (یعنی A_{n_2} , A_{n_3})، لازم است کمترین مقدار به عضو آن سطح مقطع خالص تعیین شود. در نتیجه:



$$A_{n(min)} = \min\{A_1, A_2, ...\}$$

نکته: در حالت کلی برای تعیین سطح مقطع خالص برای مقاطع معروف به جدول زیر توجه کنید:

ردیف	نام	سطح مقطع خالص	مقطع
۱	ورق	$A_{n_1} = b - d$ $A_{n_2} = (b - \underbrace{n}_{=2} d + \sum \frac{S^2}{4g})t$ $A_n = \min(A_{n_1}, A_{n_2})$	
۲	نبشی	$A_{n_1} = A_g - dt$ $A_{n_2} = A_g - 2dt + \frac{S^2}{4g}t$ $\boxed{g = g_a + g_b - t}$ $A_n = \min(A_{n_1}, A_{n_2})$	

بنابراین همان‌طور که مشاهده می‌شود، کلید اصلی حل این قسمت از مسائل کشش، تعیین سطح مقطع خالص و سطح مقطع کل می‌باشد. برای فهم بهتر موضوع به مثال‌های صفحهٔ بعد توجه کنید.

پاسخ‌های آزمون فصل دوم

۱- (۳) ساده

با توجه به قسمت ۲-۲-۲ در درس‌نامه، این مقدار برابر $\frac{s^2}{4g}$ می‌باشد که در آن s فاصله افقی مرکز تا مرکز سوراخ‌ها و g فاصله قائم آنها می‌باشد، درنتیجه در شکل مربوط به سؤال، گزینهٔ (۳) یعنی مقدار $\frac{a^2}{4b}$ صحیح است.

۲- (۲) متوسط استقامتی

برای محاسبهٔ A_n در مسیرهای نشان داده شده، باید به نکتهٔ مطرح شده در درس‌نامه در قسمت (۲-۳-۱) توجه کنیم:

$$\begin{cases} \text{مسیر (۱)}: A_n = \frac{10}{10}(300 - 1\times 30)t = 270\,t \\ \text{مسیر (۲)}: A_n = \frac{10}{9}(300 - 2\times 30)t = 267\,t \\ \text{مسیر (۳)}: A_n = \frac{10}{7}(300 - 3\times 30)t = 300\,t \quad \Rightarrow (A_n)_{min} = 267\,t \Rightarrow \text{مسیر (۲) بحرانی است} \\ \text{مسیر (۴)}: A_n = \frac{10}{4}(300 - 2\times 30)t = 600\,t \\ \text{مسیر (۵)}: A_n = \frac{10}{2}(300 - 2\times 30)t = 1200\,t \end{cases}$$

تذکر ۱: باید دقت کنیم نیازی به محاسبهٔ A_n در مسیرهای (۴) و (۵) نبود. چون تعداد پیچ در مسیرهای ۴ و ۵ با مسیر ۲ یکسان است ولی نیروی کمتری به آنها می‌رسد.

تذکر ۲: برای کنترل مسیر بحرانی باید A_e را بین مسیرها کنترل کنیم. با توجه به این که ضریب U در صورت سؤال مطرح نشده است $(A_e = UA_n)$، آن را برابر یک در نظر می‌گیریم.

۳- (۲) متوسط استقامتی

برای تعیین مسیرهای بحرانی، با توجه به اینکه قطر سوراخ‌ها متفاوت است، تمام مسیرها را بررسی می‌کنیم:

$$\begin{cases} \text{مسیر gef}: A_n = (16 - \phi_3)\,t = (16-2)\,t = 14\,t \\ \text{مسیر abef}: A_n = \left(16 - \phi_1 - \phi_3 + \frac{s^2}{4g}\right)t = \left(16 - 1/6 - 2 + \frac{4^2}{4\times 8}\right)t = 12/9\,t \\ \text{مسیر abcd}: A_n = \left(16 - \phi_1 - \phi_2 + \frac{s^2}{4g}\right)t = \left(16 - 1/6 - 1/8 + \frac{4^2}{4\times 4}\right)t = 13/6\,t \\ \text{مسیر abcef}: A_n = \left(16 - \phi_1 - \phi_2 - \phi_3 + \frac{s_1^2}{4g_1} + \frac{s_2^2}{4g_2}\right)t = \left(16 - 1/6 - 1/8 - 2 + \frac{4^2}{4\times 4} + \frac{8^2}{4\times 4}\right)t = 15/6\,t \end{cases}$$

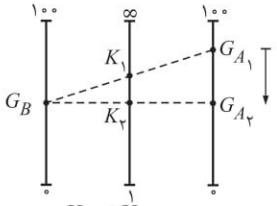
با توجه به مقادیر فوق، $(A_n)_{min}$ در مسیر abef رخ داده و برابر $12/9\,t$ می‌باشد.

از طرفی برای نقطه A که یک تیر و یک ستون به آن متصل شده است، ضریب G از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$G_A = \frac{\sum (\frac{EI}{L})_{\text{ستون}}}{\sum (\frac{EI}{L})_{\text{تیر}}} \xrightarrow{\text{L برای ستون زیاد شود}} G_A \downarrow$$

مطابق این رابطه با افزایش ارتفاع قاب (افزایش طول ستون‌ها)، مخرج کسر ثابت و صورت آن کاهش می‌یابد و در نهایت مقدار G_A نیز کاهش خواهد یافت.

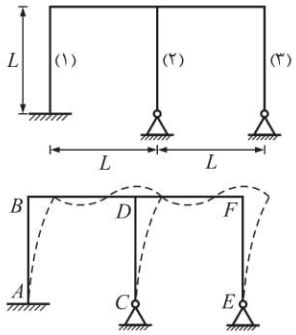
در آخر با توجه به مفهوم نمودارهای تعیین ضریب K براساس پارامترهای G_A و G_B، با ثابت بودن G_B و کاهش یافتن G_A مقدار ضریب طول مؤثر ستون AB کاهش پیدا می‌کند.



$K_2 < K_1$

بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.

تمرین ۴: در صورتی‌که تیرها و ستون‌های قاب شکل زیر یکسان باشد، در ارتباط با ضریب طول مؤثر ستون‌ها (k) کدام‌گزینه صحیح است؟ (سراسری - ۹۵)



۱) $k_3 > k_2 > k_1$

۲) $k_2 = k_3 > k_1$

۳) $k_1 > k_2 = k_3$

۴) $k_1 > k_2 > k_3$

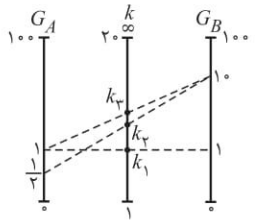
حل: ابتدا باید توجه کرد، قاب مورد نظرهیچ‌گونه مهار جانبی نداشته و به راحتی می‌تواند تغییرشکل جانبی مطابق شکل مقابل را داشته باشد. بنابراین ستون‌های این قاب همگی مهار جانبی نشده محسوب می‌شوند و ضریب k برای آنها بزرگتر از یک می‌باشد.

در ادامه برای مقایسه ضریب طول مؤثر ستون‌ها از ضرایب G در بالا و پایین ستون استفاده می‌کنیم. همانطورکه می‌دانید برای تکیه‌گاه گیردار $G = ۱$ و برای تکیه‌گاه مفصلی $G = ۱۰$ می‌باشد. بنابراین داریم:

ستون (۱) $\Rightarrow G_A = ۱$ ، $G_B = \frac{\sum (\frac{EI}{L})_{\text{ستون}}}{\sum (\frac{EI}{L})_{\text{تیر}}} = \frac{\frac{EI}{L}}{\frac{EI}{L}} = ۱$

ستون (۲) $\Rightarrow G_C = ۱۰$ ، $G_D = \frac{\frac{EI}{L}}{\frac{EI}{L} + \frac{EI}{L}} = \frac{۱}{۲}$

ستون (۳) $\Rightarrow G_E = ۱۰$ ، $G_F = \frac{\frac{EI}{L}}{\frac{EI}{L}} = ۱$



بنابراین طبق نمودار فوق و ضرایب G خواهیم داشت:

$k_3 > k_2 > k_1$

بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.

موضوع ۲: اصول طراحی اعضای فشاری

برای طراحی اعضای فشاری باید معیار کمانش عضو به‌دقت مورد بررسی قرار گیرد. یک عضو تحت فشار می‌تواند در یکی از حالت‌های زیر کمانش کند:

۱- کمانش خمشی ۲- کمانش پیچشی ۳- کمانش خمشی - پیچشی

در حالت کمانش خمشی، ستون تحت بارهای وارده حول یکی از محورهای مقطع خود خم شده و اصطلاحاً کمانش می‌کند. همچنین در حالت کمانش پیچشی مقطع ستون تحت بارهای وارده تمایل به دوران دارد و تنش‌های خاصی در آن ایجاد خواهد شد. چنانچه هر دو کمانش خمشی و پیچشی در ستون وجود داشته باشد ستون دچار کمانش خمشی ـ پیچشی خواهد شد. به‌طور کلی طبق اصل حاکم بر طراحی سازه‌ها، در طراحی ستون‌ها باید مقاومت طراحی ($\phi_c P_n$) بزرگتر یا مساوی مقاومت مورد نیاز (P_u) باشد:

$$P_u \le \phi_c P_n \quad , \quad P_n = F_{cr} A_g$$

ϕ_c: ضریب تقلیل مقاومت فشاری برابر ۰/۹ P_n: مقاومت فشاری اسمی ستون

F_{cr}: تنش فشاری ناشی از کمانش A_g: کل سطح مقطع عضو فشاری

نکته: در حالت کمانش خمشی، پارامتر F_{cr} بیانگر تنش فشاری ناشی از کمانش خمشی است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

کمانش غیرالاستیک: $\lambda \le 4/71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ یا $F_e \ge 0/44 F_y \Rightarrow F_{cr} = \left[0/658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

کمانش الاستیک: $\lambda > 4/71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ یا $F_e < 0/44 F_y \Rightarrow F_{cr} = 0/877 F_e$, $F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$

λ: نسبت لاغری حداکثر عضو فشاری (KL/r) F_e: تنش کمانش بحرانی اولر در حالت الاستیک

در خصوص روابط فوق می‌توان به نکات زیر توجه کرد:

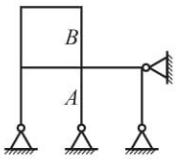
۱- مقدار $4/71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ با پارامتر C_c نشان داده شده و برای فولادهای ST۳۷ و ST۵۲ برابر است با:

$$C_c = 4/71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \begin{cases} C_c = 136 & ST37\ (F_y = 2400\ kg/cm^2) \\ C_c = 114 & ST52\ (F_y = 3600\ kg/cm^2) \end{cases}$$

۲- طبق رابطه، در حالت کمانش الاستیک مقدار F_e و در نتیجه F_{cr} و در نهایت مقاومت فشاری ستون به جنس مصالح آن وابسته نیست و با تغییر نوع فولاد تغییری نخواهد کرد.

۳- تنش‌های پسماند باعث کاهش ظرفیت ستون (عضو فشاری) شده و کمانش ستون زودتر انجام خواهد شد. حداکثر مقدار تنش پسماند فشاری را برابر $0/5 F_y$ در نظر می‌گیرند.

۱۰- چنانچه سختی همهٔ اعضای افقی در قاب مقابل بی‌نهایت فرض شود، در ایـن صورت نسبت ضریب طول مؤثر عضو A به ضریب طول مؤثر عـضو B، $(\frac{K_A}{K_B})$ برابر کدام است؟ (فقط کمانش در صفحهٔ قاب را در نظر بگیرید) (سراسری ۷۵)



۱) ۰/۷ ۲) ۱/۴ ۳) ۲ ۴) ۲/۸

۱۱- ظرفیت کمانشی ستون‌های فولادی نوردشده را تا زمانی می‌توان از فرمول اولر به‌دست آورد که تنش موجـود در ستون از تنش ..... (سراسری ۷۶)

۱) پسماند تجاوز نکند. ۲) تسلیم تجاوز نکند.

۳) تسلیم به اضافه حداکثر تنش پسماند تجاوز نکند. ۴) تسلیم منهای حداکثر تنش پسماند تجاوز نکند.

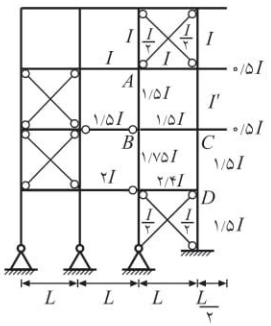
۱۲- مطلوب است تعیین مقدار I' به‌طوری که ضریب طول مؤثر اعضای AB و CD یکسان باشد. (سراسری ۷۶)

۱) $I' = I$

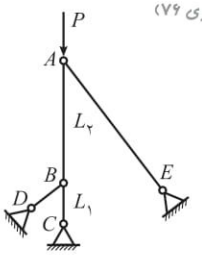
۲) $I' = 2I$

۳) $I' = 1/5I$

۴) مقدار I' قابل محاسبه نمی‌باشد.



۱۳- ستون سراسری ABC توسط دو میلهٔ DB و AE و تکیه‌گاه C مهار شده است. بار بحرانی سـتون ABC عبـارت است از: $(L_2 > L_1)$ (سراسری ۷۶)



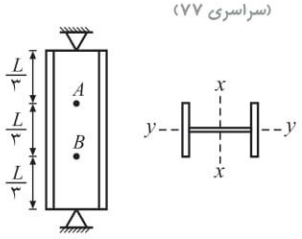
۱) $P_{cr} < \frac{\pi^2 EI}{(L_1 - L_2)^2}$

۲) $P_{cr} < \frac{\pi^2 EI}{(L_2)^2}$

۳) $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(L_2)^2}$

۴) $P_{cr} > \frac{\pi^2 EI}{(L_2)^2}$

۱۴- ستون دو سر مفصل شکل زیر دو تکیه‌گاه جانبی عمود بر جان در نقاط A و B دارد. نسبت $\frac{I_y}{I_x}$ برای به حداکثر رساندن ظرفیت باربری ستون برابر کدام است؟ (سراسری ۷۷)



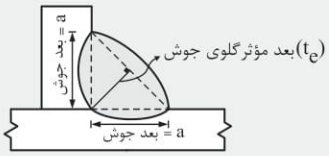
۱) $\frac{I_y}{I_x} = \frac{1}{9}$

۲) $\frac{I_y}{I_x} = \frac{1}{3}$

۳) $\frac{I_y}{I_x} = 3$

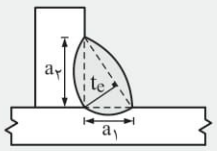
۴) $\frac{I_y}{I_x} = 9$

الف) جوش گوشه با ساق‌های مساوی



$$t_e = \frac{\sqrt{۲}}{۲} a \simeq ۰/۷۰۷ a$$

ب) جوش گوشه با ساق‌های نامساوی (در عمل به ندرت اتفاق می‌افتد)



$$t_e = \frac{a_۱ a_۲}{\sqrt{a_۱^۲ + a_۲^۲}}$$

نکته ۱: محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای برای جوش گوشه: حداقل و حداکثر بعد جوش گوشه تابع ضخامت ورق نازکتر می‌باشد. برای به‌دست آوردن حداکثر بعد جوش گوشه با توجه به ضخامت ورق نازکتر (t_{min}) داریم:

$$t_{min} \le ۶mm \Rightarrow a_{max} = t_{min}$$
$$t_{min} > ۶mm \Rightarrow a_{max} = t_{min} - ۲\ mm$$

حداقل بعد جوش گوشه براساس ضخامت ورق نازکتر طبق جدول زیر تعیین می‌گردد.

جدول حداقل بعد جوش گوشه

ضخامت قطعهٔ نازکتر	حداقل بعد جوش گوشه
تا ۶mm	۳mm
بیش از ۶mm تا ۱۲mm	۵mm
بیش از ۱۲mm تا ۲۰mm	۶mm
بیش از ۲۰mm	۸mm

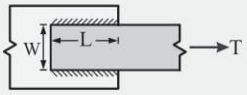
تبصره: در سازه‌های تحت بار دینامیکی (مثل بار زلزله یا بار ارتعاش دستگاه‌ها)، حداقل اندازهٔ جوش گوشه ۵ میلی‌متر می‌باشد.

نکته ۲: طول مؤثر جوش گوشه نباید از ۴ برابر بعد آن کمتر باشد.

$$L_e \ge ۴a$$

به‌عبارت دیگر، بعد جوش نباید از $\frac{۱}{۴}$ طول آن تجاوز کند ($a \le \frac{۱}{۴} L_e$)

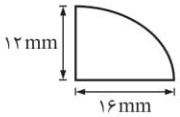
نکته ۳: مطابق شکل زیر در انتهای تسمه‌های کششی اگر از جوش گوشه فقط در لبه‌های طولی و موازی نیروی محوری استفاده گردد، طول جوش هر طرف نباید از فاصلهٔ بین آنها (تقریباً عرض تسمه) کمتر باشد و این فاصله نیز نباید از ۲۰۰ میلی‌متر تجاوز کند.



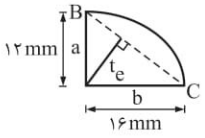
$$L \ge W,\quad W \le ۲۰۰\ mm$$

تمرین ۱: اندازهٔ گلوی جوش در جوش گوشه با ساق‌های نامساوی ۱۲ mm و ۱۶ mm، چند میلی‌متر است؟ (نظام مهندسی)

۱) ۸/۵
۲) ۹/۶
۳) ۱۱/۳
۴) ۱۲



حل: این جوش گوشه دارای ساق‌های نامساوی برابر ۱۲ mm و ۱۶ mm است، طبق تذکر درسنامه ضخامت گلوی جوش برابر $t_e = \frac{ab}{\sqrt{a^2+b^2}}$ می‌باشد، بنابراین داریم:



$$BC = \sqrt{a^2+b^2} = \sqrt{۱۲^2+۱۶^2} = ۲۰\ mm$$

$$\text{گلوی جوش } (t_e) = \frac{a\times b}{BC} = \frac{۱۲\times ۱۶}{۲۰} = ۹/۶\ mm$$

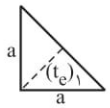
بنابراین گزینهٔ (۲) صحیح است.

تمرین ۲: در یک جوش گوشه متساوی‌الساقین اگر با تغییر نحوه جوش‌کاری یک بعد جوش نصف و بعد دیگر ۱/۵ برابر شود، مقاومت طراحی جوش چه تغییری می‌کند؟ (فرض کنید طول جوش ثابت می‌ماند) (نظام مهندسی)

۱) چون طول جوش ثابت است، بدون تغییر می‌ماند.
۲) ۳۳ درصد کاهش می‌یابد.
۳) ۶۷ درصد کاهش می‌یابد.
۴) ۲۵ درصد کاهش می‌یابد.

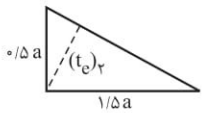
حل: سطح مقطع مؤثر جوش با مقاومت طراحی جوش رابطه مستقیم دارد پس می‌توان گفت ضخامت گلوگاه مؤثر نیز که در رابطه سطح مقطع مؤثر جوش قرار دارد با مقاومت طراحی جوش نسبت مستقیم دارد. بنابراین داریم:

ضخامت گلوگاه مؤثر در حالت اول:



$$(te)_۱ = ۰/۷۰۷\ a$$

ضخامت گلوگاه مؤثر در حالت دوم:



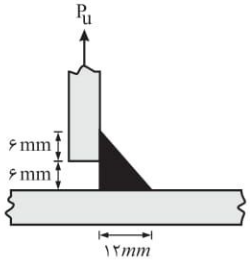
$$(te)_۲ = \frac{(۰/۵\ a)\times(۱/۵\ a)}{\sqrt{(۰/۵\ a)^2+(۱/۵\ a)^2}} = ۰/۴۷۴\ a$$

بنابراین داریم:

$$\frac{\text{مقاومت طراحی جوش در حالت دوم}}{\text{مقاومت طراحی جوش در حالت اول}} = \frac{۰/۴۷۴\ a}{۰/۷۰۷\ a} = ۰/۶۷$$

بنابراین مقاومت طراحی جوش در حالت دوم ۳۳ درصد کاهش می‌یابد. که در گزینه (۲) به آن اشاره شده است.

تمرین ۳: به لحاظ محاسباتی، ضخامت گلوگاه مؤثر جوش گوشه نشان داده شده در شکل مقابل برحسب میلی‌متر جهت طراحی به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (نظام مهندسی)



۱) ۴/۲
۲) ۵/۴
۳) ۶/۰
۴) ۸/۵

۲) در پیچ پرمقاومت که در اتصال اتکایی تحت اثر تنش برشی f_v، قرار دارد تنش مجاز کششی در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد با حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی‌گذرد متفاوت بوده و با توجه به ویرایش ASD مبحث دهم داریم:

سطح برش از قسمت دندانه شده بگذرد: $F_t = \sqrt{(۰/۳۸F_u)^۲ - ۴/۳۹\ f_v^۲}$

سطح برش از قسمت دندانه شده نگذرد: $F_t = \sqrt{(۰/۳۸F_u)^۲ - ۲/۱۵\ f_v^۲}$

دقت شود که نیازی به حفظ کردن مقادیر تنش مجاز نمی‌باشد و آوردن آنها، صرفاً برای افزایش اطلاعات شما می‌باشد.

۳) در صورتی که پیچ پرمقاومت را برای اتصال اتکایی تحت برش و کشش استفاده کنیم، تنش مجاز برشی مانند حالتی است که اتصال فقط تحت اثر برش خالص قرار دارد.

۴) در صورتی که پیچ پرمقاومت در اتصال اصطکاکی تحت اثر برش و کشش قرار گیرد، تنش مجاز برشی اندکی کاهش یافته و مقدار آن برابر خواهد بود با:

$$F'_v = F_v\left(۱ - f_t \frac{A_b}{T_b}\right)$$

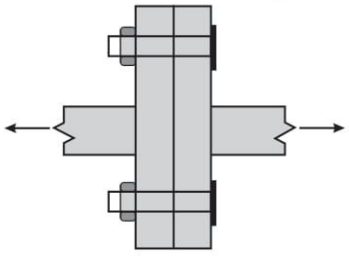
F_v: تنش مجاز برشی بدون اعمال نیروی کششی

f_t: تنش کششی متوسط ناشی از نیروی کششی در پیچ

A_b: سطح‌مقطع اسمی پیچ

T_b: نیروی پیش‌تنیدگی پیچ (معمولاً برابر $۰/۵۵\ F_u A_b$ است)

تمرین ۲۱: در اتصال پیش‌تنیدهٔ زیر، ابتدا هر کدام از دو پیچ با نیروی ۴۰۰ کیلو نیوتن پیش‌تنیده می‌شوند، سپس ابتدا یک نیروی کششی ۴۰۰ کیلونیوتنی را به مجموعه وارد می‌کنیم و نیروی کششی پیچ‌ها برابر $T_۱$ می‌شود. در ادامه این نیرو را به ۶۰۰ کیلونیوتن افزایش می‌دهیم و نیروی کششی پیچ‌ها برابر $T_۲$ می‌شود. نسبت $\frac{T_۱}{T_۲}$ کدام است؟



۱) $\frac{۲}{۳}$

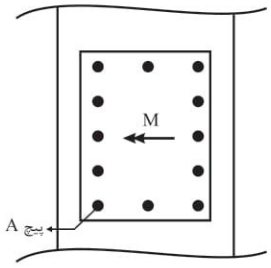
۲) $\frac{۳}{۲}$

۳) $\frac{۳}{۴}$

۴) ۱

حل: نیروی کششی هر یک از پیچ‌ها در حالت اول برابر $\frac{۴۰۰}{۲}$kN و در حالت دوم برابر $\frac{۶۰۰}{۲}$kN است که در هر دو حالت کوچکتر از نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها ۴۰۰kN است. بنابراین در هر دو حالت ورق‌های اتصال از یکدیگر جدا نمی‌شوند و با پذیرش خطای اندکی می‌توان گفت که نیروی کششی پیچ‌ها در هر دو حالت همان نیروی پیش‌تنیدگی ۴۰۰kN باقی می‌ماند و گزینهٔ (۴) صحیح است.

تمرین ۲۲: **در اتصال اتکایی زیر که تحت لنگر خمشی M قرار دارد، نیروی ایجاد شده در پیچ A برابر ۱۰۰۰kg است. با حذف آخرین ردیف پیچ‌های بالایی، نیروی پیچ A تحت همین لنگر:**



۱) بیشتر از ۱۰۰۰kg می‌شود.

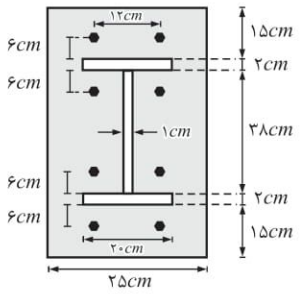
۲) کمتر از ۱۰۰۰kg می‌شود.

۳) ثابت می‌ماند.

۴) دو برابر می‌شود.

حل: با توجه به مثبت بودن لنگر خمشی در این اتصال اتکایی، پیچ‌های تحتانی به کشش افتاده و در محل پیچ‌های فوقانی، نیروی لهیدگی بین دو ورق لنگر لازم را تأمین می‌کند و نیروی پیچ‌های فوقانی صفر است. در این حالت با حذف آخرین ردیف پیچ‌های فوقانی، محل محور خنثی عوض نشده و نیروی پیچ A ثابت می‌ماند. بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.

تمرین ۲۳: **شکل زیر، یک اتصال فلنجی با پیچ‌های اصطکاکی را نشان می‌دهد. در صورتی‌که لنگر وارد بر اتصال $M_u = 48\ ton.m$ باشد، مقاومت برشی اتصال چند تن است؟ (نیروی متوسط پیش‌تنیدگی پیچ‌ها ۴۰ ton و ضریب اصطکاک $\mu = 0/3$ می‌باشد، مقیاس اندازه‌ها در شکل رعایت نشده است.)** (سراسری - ۹۸)



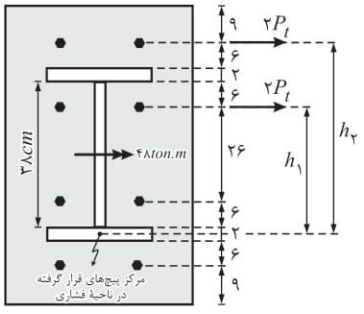
۱) ۲۴

۲) ۴۸

۳) ۶۰

۴) ۹۶

حل: ابتدا به‌صورت زیر و با فرض یکسان بودن نیروی پیچ‌های کششی و لنگرگیری حول مرکز سطح پیچ‌های فشاری، کشش ایجاد شده در ۴ پیچ بالایی را به‌دست می‌آوریم:



$$h_1 = 1 + 6 + 26 = 33\ cm$$

$$h_2 = 1 + 6 + 26 + 6 + 2 + 6 = 47\ cm$$

$$M_u = 2P_t \times h_1 + 2P_t \times h_2$$

$$M_u = 48 \times 10^2 = 2P_t \times 33 + 2P_t \times 47$$

$$P_t = 30\ ton < 40\ ton$$

دقت: باتوجه به اینکه کشش ایجاد شده در پیچ‌ها از نیروی پیش‌تنیدگی آنها کمتر است، فرض یکسان بودن نیروی آنها و عدم جداشدگی ورق در ناحیهٔ کششی اتصال صحیح است.

در ادامه ظرفیت برشی اتصال برای ۴ پیچ در کشش را با استفاده از رابطهٔ متقابل اندرکنش کشش و برش در پیچ‌ها، به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$R_{u_1} = \boxed{۴} \times \mu \times T_b \times (۱ - \frac{P_t}{T_b}) = ۴ \times ۰/۳ \times ۴۰ \times (۱ - \frac{۳۰}{۴۰}) = ۱۲ \text{ ton}$$

تعداد پیچ تحت کشش

همچنین ظرفیت برشی برای ۴ پیچ تحت فشار، به‌صورت زیر حاصل می‌شود:

$$R_{u_2} = \boxed{۴} \times \mu \times T_b = ۴ \times ۰/۳ \times ۴۰ = ۴۸ \text{ ton}$$

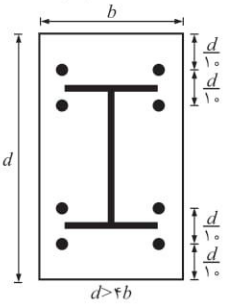
تعداد پیچ تحت فشار

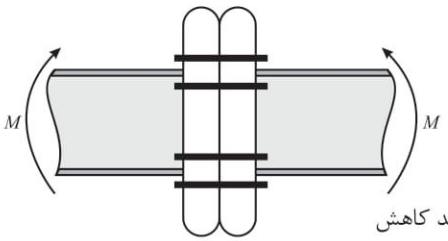
در نهایت ظرفیت برشی کل اتصال به‌صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$R_u = R_{u_1} + R_{u_2} = ۱۲ + ۴۸ = ۶۰ \text{ ton}$$

بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.

تمرین ۲۴: اتصال با ورق انتهایی با ۸ پیچ به قطر ۲۰ میلی‌متر مطابق شکل مفروض است. چنانچه پیچ‌های نیمهٔ فوقانی اتصال از قطر ۲۰ میلی‌متر به قطر ۱۶ میلی‌متر تغییر یابند، میزان تغییر در M چقدر خواهد بود؟ (سراسری - ۹۷)





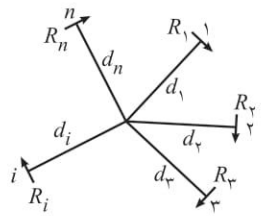
۱) ۲۰ درصد کاهش
۲) کمی کمتر از ۵۶ درصد کاهش
۳) ۵۶ درصد کاهش
۴) تغییر عمده‌ای ایجاد نمی‌شود.

حل:

با فرض اینکه اتصال اتکایی بوده و با توجه به مثبت بودن لنگر خمشی، پیچ‌های تحتانی به کشش افتاده و نیروی کششی لازم برای ایجاد لنگر را تأمین می‌کنند و در بخش فوقانی اتصال، دو ورق روی یکدیگر فشرده شده و لهیدگی بین دو ورق در قسمت فوقانی اتصال، نیروی فشاری لازم برای ایجاد لنگر را تأمین می‌کند. در این حالت موقعیت محور خنثی که ارتفاع قسمت فشاری اتصال را مشخص می‌کند از صفر قرار دادن ممان استاتیک مجموع قسمت فشاری و پیچ‌های تحتانی تحت کشش به‌دست می‌آید که در این سؤال قابل محاسبه نیست چون پهنا و ارتفاع ورق مشخص نیستند (اگر معادله $\sum Q = ۰$ نوشته شود، دیده می‌شود که معادله قابل حل نیست) ولی با توجه به اینکه ارتفاع ورق انتهایی زیاد است $(d > ۴b)$ به احتمال زیاد ارتفاع قسمت فشاری که دو ورق به یکدیگر لهیده می‌شوند بزرگتر از $\frac{d}{۱۰} + \frac{d}{۱۰} = \frac{d}{۵} = ۰/۲\,d$ است و بنابراین چهار پیچ فوقانی اتصال در ناحیه فشاری واقع می‌شوند و می‌دانیم که پیچ صرفاً در برش و کشش کار می‌کند و در فشار کار نمی‌کند. در این‌صورت تغییر نمره پیچ‌های فوقانی که نقشی در تحمل لنگر ندارند، باعث تغییری در ظرفیت خمشی اتصال (M) نمی‌شود و گزینه چهارم صحیح است.

آزمون فصل پنجم

۱- در اتصالات پیچی اگر R_i نیروی برشی ناشی از خروج از مرکزیت در پیچ i باشد و d_i فاصله پیچ i تا مرکز اتصال و M ممان پیچشی وارد به اتصال باشد، کدام رابطه صحیح است؟ (سراسری ۷۴ و ۷۵)



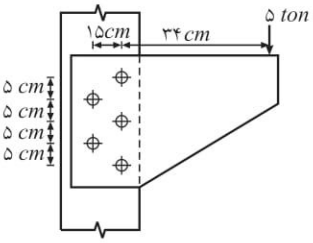
۱) $\frac{R_1}{d_1}=\frac{R_2}{d_2}=\cdots=\frac{R_i}{d_i}$

۲) $R_1 d_1 = R_2 d_2 = \cdots = R_i d_i$

۳) $R_1=\frac{M}{d_1}, R_2=\frac{M}{d_2}, \cdots R_i=\frac{M}{d_i}$

۴) $R_1 d_1^2 = R_2 d_2^2 = \cdots = R_i d_i^2$

۲- حداکثر تنش برشی اسمی اتصال نشان داده شده در شکل زیر را برحسب kg/cm^2 تعیین کنید. (سطح مقطع پیچ‌ها $2cm^2$ می باشد) (با ماشین‌حساب) (سراسری ۷۵)



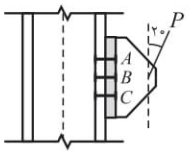
۱) ۱۲۴۵/۸

۲) ۱۰۰۰

۳) ۱۸۵۰/۸

۴) ۱۵۷۴/۸

۳- در طراحی اتصال اصطکاکی نشان داده شده در شکل زیر، وضعیت کدام پیچ بحرانی‌تر می‌باشد؟ (سراسری ۷۹)



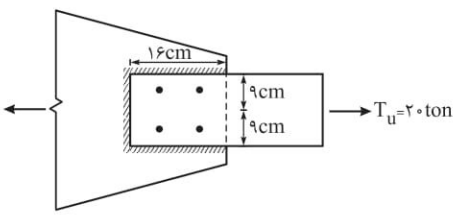
۱) C

۲) B

۳) A

۴) هر سه پیچ وضع یکسانی دارند.

۴- در اتصال جوشی و پیچی نشان داده شده، با پیچ‌های اتکایی M۲۰، حداقل بعد جوش محاسباتی موردنیاز (D) چقدر است؟ ($R_{u_w}=1000D\ kg/cm$: ارزش جوش نهایی، $3600\ kg/cm^2$ = تنش برشی مجاز اسمی پیچ)



۱) ۲mm

۲) ۴mm

۳) ۶mm

۴) ۸mm

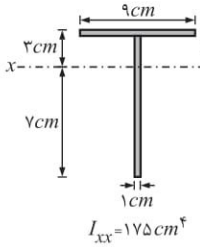
تذکر ۱: در لحظهٔ وارد شدن لنگر پلاستیک به مقطع، محور خنثی به‌گونه‌ای قرار می‌گیرد که مقطع را به دو نیمه با مساحت‌های یکسان تقسیم کند.

تذکر ۲: دقت شود که مقطع انتخاب شده در شکل صفحهٔ قبل متقارن می‌باشد و به دلیل تقارن، محل محور خنثی با افزایش لنگر از مقدار M_y به M_p تغییر نمی‌کند؛ اما اگر مقطع غیرمتقارن باشد، همان‌طور که گفته شد محل محور خنثی در حالت M_p به‌گونه‌ای جابه‌جا می‌شود که مقطع را به دو نیمه با مساحت‌های مساوی تقسیم نماید.

نکته: در یک مقطع، نسبت لنگر پلاستیک به لنگر حد تسلیم $\left(\frac{M_p}{M_y}\right)$ را **ضریب شکل مقطع** می‌گویند که با S.F. نشان داده می‌شود:

$$S.F. = \frac{M_p}{M_y} = \frac{F_y Z}{F_y S} = \frac{Z}{S}$$

تمرین ۱: در نیمرخ سپری شکل زیر، ضریب شکل نیمرخ $\left(\frac{Z}{S}\right)$ به کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ (سراسری - ۹۵)



۱) ۱/۱

۲) ۱/۳

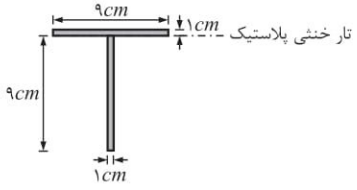
۳) ۱/۸

۴) ۲/۰

حل: پارامتر S همان اساس مقطع در حالت الاستیک است و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید. توجه داشته باشید که برای محاسبهٔ اساس مقطع بحرانی، از فاصله محور خنثی تا دورترین تار مقطع به‌عنوان C استفاده می‌کنیم. بنابراین خواهیم داشت:

$$S = \frac{I}{C_{max}} = \frac{۱۷۵}{۷} = ۲۵\ cm^۳$$

در ادامه و به منظور محاسبه اساس مقطع در حالت پلاستیک، باید به این نکته توجه داشته باشید که در حالت پلاستیک در مقاطع همگن فولادی، محور خنثی در مقطع به‌گونه‌ای قرار می‌گیرد که مقطع را به دو نیمه با مساحت یکسان تقسیم کند. با این توضیح و اندکی دقت در شکل مقطع مشاهده می‌شود که تار خنثی پلاستیک دقیقاً در مرز بال و جان مقطع قرار خواهد گرفت.

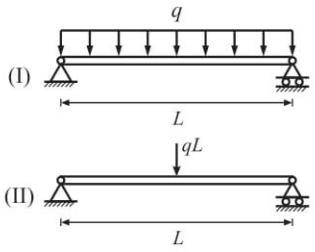


$$\begin{cases} A_{top} = ۹ \times ۱ = ۹\ cm^۲ \\ A_{bot} = ۱ \times ۹ = ۹\ cm^۲ \end{cases}$$

آزمون فصل ششم

۱- در تیرهای فولادی شکل زیر چنانچه تنش خمشی مجاز برای هر دو تیر یکسان و برابر $1400\ kg/cm^2$ و همچنین حداکثر تغییرمکان در تیرها محدود به $\frac{L}{240}$ باشد، کدام‌یک از روابط زیر درست می‌باشند؟

عمق (ارتفاع) تیر II = d_2، عمق (ارتفاع) تیر I = d_1، $E = 2/1\times10^6\ kg/cm^2$ (سراسری ۷۰)



۱) $d_1 > \frac{L}{30}\ ,\ d_2 > \frac{L}{37/5}$

۲) $d_1 > \frac{L}{30}\ ,\ d_2 > \frac{L}{120}$

۳) $d_1 > \frac{L}{25}\ ,\ d_2 > \frac{L}{120}$

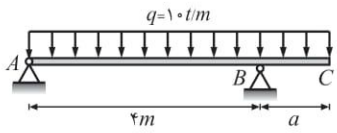
۴) هیچکدام

۲- در یک نقطه از تیر فولادی که تحت لنگر M و برش V قرار دارد کدام کنترل‌ها بایستی انجام شود؟ (سراسری ۷۰)

۱) σ ۲) τ

۳) σ و τ و ترکیب تنش‌های $\sqrt{\sigma^2+3\tau^2}$ ۴) σ و τ و ترکیب تنش‌های $\sqrt{\sigma^2+4\tau^2}$

۳- تیری با ممان‌اینرسی ثابت در تمام طول خود مطابق شکل بارگذاری شده است. به‌ازای چه طولی از قسمت طره تیر (a) اقتصادی‌ترین نیمرخ به‌دست می‌آید؟ (لنگر ماکزیمم در دهانه AB را به طور تقریبی در وسط دهانه تیر فرض کنید) (سراسری ۷۰)



۱) ۱/۷۲ m ۲) ۱/۵۵ m ۳) ۲ m ۴) ۱/۶۳ m

۴- تعریف ضریب شکل (shape factor) در تیرهای خمشی چیست؟ (سراسری ۷۲)

۱) نسبت ممان‌اینرسی به ممان اولیهٔ سطح

۲) نسبت ممانی که در مقطع ایجاد حالت پلاستیک کامل می‌کند به ممان ماکزیمم الاستیک

۳) نسبت سطح مقطع به محیط تیر

۴) نسبت ارتفاع به عرض مقطع

۵- یک تیر نعل‌درگاهی با طول مؤثر L برای طرح روی یک درب درنظر گرفته شده است. با توجه به ضخامت ثابت دیوار و مصالح آجری چه سطحی از دیوار در طراحی تیر باید بکار رود؟ (سراسری ۷۲)

۱) مستطیلی به طول L و ارتفاع $\frac{L}{2}$ ۲) دایره‌ای به قطر L

۳) مثلثی به قاعدهٔ L و ارتفاع $\frac{L}{2}$ ۴) هیچکدام

پاسخ‌های آزمون فصل ششم

۱- (۱) دشوار

در مورد تیر (۱) از نتیجهٔ به‌دست آمده در درسنامه، استفاده می‌کنیم.

$$\begin{cases}\dfrac{\Delta}{L}=\dfrac{5}{24}\dfrac{F_b}{E}\dfrac{L}{d_1}\\ \Delta=\dfrac{L}{240}\end{cases}\Rightarrow \frac{1}{240}=\frac{5}{24}\frac{F_b}{E}\frac{L}{d_1}\Rightarrow d_1=\frac{5F_b\times 240}{24\times E}L\Rightarrow d_1\geq\frac{L}{30}$$

در مورد تیر (۲) مانند تمرین ۴-۱۹ درسنامه، رابطهٔ مربوطه را پیدا می‌کنیم:

$$f_{max}=F_b=\frac{Mc}{I}\Rightarrow F_b=\frac{M\frac{d_2}{2}}{I}\Rightarrow M=F_b\frac{2I}{d_2}\ ,\ M_{max}=\frac{qL}{2}\times\frac{L}{2}=\frac{qL^2}{4}$$

$$\Delta=\frac{qL^4}{48EI}=\frac{1}{12}\left(\frac{qL^2}{4}\right)\frac{L^2}{EI}=\frac{1}{12}(M_{max})\frac{L^2}{EI}=\frac{1}{12}\left(F_b\frac{2I}{d_2}\right)\frac{L^2}{EI}=\frac{1}{6}\frac{F_b}{E}\frac{L^2}{d_2}$$

$$\Rightarrow\begin{cases}\dfrac{\Delta}{L}=\dfrac{1}{6}\dfrac{F_b}{E}\dfrac{L}{d_2}\\ \Delta=\dfrac{L}{240}\end{cases}\Rightarrow \frac{1}{240}=\frac{1}{6}\frac{F_b}{E}\frac{L}{d_2}\Rightarrow d_2=\frac{F_b\times 240}{6E}L\Rightarrow d_2\geq\frac{L}{37/5}$$

۲- (۳) متوسط

ابتدا باید توجه داشته باشیم هر نقطه‌ای از یک تیر که تحت اثر لنگر و برش قرار دارد، باید کنترل‌های $\sigma=\frac{Mc}{I}<F_b$ و $\tau=\frac{VQ}{Ib}<F_v$ در مورد آن انجام شود. هم‌چنین ترکیب تنش‌های فوق نباید به حالت بحرانی برسد:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{F_y}\right)^2+\left(\frac{\tau}{F_v}\right)^2}\leq 1$$

$$F_v=\frac{F_y}{\sqrt{3}}\Rightarrow \sqrt{\left(\frac{\sigma}{F_y}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\frac{F_y}{\sqrt{3}}}\right)^2}=\sqrt{\frac{\sigma^2+3\tau^2}{F_y^2}}=\frac{1}{F_y}\sqrt{\sigma^2+3\tau^2}\leq 1$$

$$\Rightarrow\sqrt{\sigma^2+3\tau^2}\leq F_y$$

۳- (۴) دشوار

با توجه به اصل جمع آثار و نمودارهای لنگر خمشی رسم شده در شکل زیر، لنگر خمشی در وسط دهانهٔ AB و در قسمت BC عبارت است از:

نکته ۲: به‌ازاء یک نیروی محوری یکسان، هرچه بار بحرانی ستون کوچکتر باشد، ضریب تشدید لنگر در ستون بزرگتر است. این مطلب بدین معناست که موضوع تشدید لنگر، در تیرستون‌های لاغر اهمیت بیشتری دارد.

ضوابط طراحی تیرستون تحت اثر نیروی فشاری

بدین منظور دو حالت زیر را در نظر بگیرید:

حالت اول: اگر تنش فشاری مساوی یا کوچکتر از ۱۵ درصد تنش مجاز فشاری باشد، نیازی به در نظر گرفتن اثر تشدید لنگر نبوده و معیار مقاومت در طراحی تیرستون حاکم است:

$$\frac{f_a}{F_a} \le ۰/۱۵ \Rightarrow \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{b_x}}{F_{b_x}} + \frac{f_{b_y}}{F_{b_y}} \le ۱$$

در رابطهٔ فوق، مقدار F_a، F_{b_x} و F_{b_y} مطابق ضوابط فصل‌های قبلی به‌دست می‌آید. از طرفی f_a تنش محوری ناشی از نیروی P و f_{b_x} و f_{b_y} تنش‌های ناشی از خمش حول محور x و محور y می‌باشد.

حالت دوم: اگر تنش فشاری بزرگتر از ۱۵ درصد تنش مجاز فشاری باشد، اثر تشدید لنگر باید در طراحی لحاظ شود. برای طراحی تیرستون در این حالت، معیار مقاومت و پایداری باید به‌طور همزمان کنترل شوند:

$$\text{معیار مقاومت}: \frac{f_a}{۰/۶F_y} + \frac{f_{b_x}}{F_{b_x}} + \frac{f_{b_y}}{F_{b_y}} \le ۱$$

$$\text{معیار پایداری}: \frac{f_a}{F_a} + A_{m_۱}\frac{f_{b_x}}{F_{b_x}} + A_{m_۲}\frac{f_{b_y}}{F_{b_y}} \le ۱$$

در این روابط، $A_{m_۱}$ و $A_{m_۲}$ ضرایب **تشدید لنگر اسمی** بوده و از روابط ارائه شده در آیین‌نامه محاسبه می‌شوند. این روابط عبارتند از:

$$A_{m_۱} = \frac{C_{mx}}{۱ - \frac{f_a}{F'_{ex}}} \quad , \quad A_{m_۲} = \frac{C_{my}}{۱ - \frac{f_a}{F'_{ey}}}$$

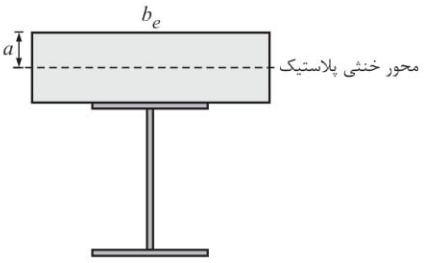
تذکر ۱: در روابط فوق F'_{ex} و F'_{ey}، تنش مجاز فشاری با فرض کمانش الاستیک (کمانش اولری) می‌باشد.

$$F'_{ex} = \frac{۱۲}{۲۳}\frac{\pi^۲E}{\lambda_x^۲} \quad , \quad F'_{ey} = \frac{۱۲}{۲۳}\frac{\pi^۲E}{\lambda_y^۲}$$

λ_x و λ_y ضرایب لاغری ستون حول محورهای x و y می‌باشد.

تذکر ۲: در این روابط در صورتی که بخواهیم به جای f_a و F'_e از P و P_{cr} استفاده کنیم، ضریب تشدید لنگر به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$\begin{cases} f_a = \dfrac{P}{A} \\ F'_e = \dfrac{۱۲}{۲۳}\dfrac{\pi^۲E}{\lambda^۲} = \dfrac{۱۲}{۲۳}\dfrac{P_{cr}}{A} \end{cases} \Rightarrow A_m = \frac{C_m}{۱ - \frac{f_a}{F'_e}} = \frac{C_m}{۱ - \frac{P}{\frac{۱۲}{۲۳}P_{cr}}}$$



$$T = C \Rightarrow A_s F_y = ۰/۸۵ f'_c \times (b_e \times a)$$

$$\Rightarrow a = \frac{A_s F_y}{۰/۸۵ f'_c \times b_e} = \frac{۲۰ \times ۲۰۰۰}{۲۰۰ \times ۵۰} = ۴ \text{ cm}$$

در نهایت برای تعیین ظرفیت خمشی پلاستیک مقطع کافیست مقدار نیروی کششی یا فشاری را در بازوی لنگر ضرب نمائیم.

$$M_P = A_s F_y \left(\frac{d}{۲} + t_s - \frac{a}{۲}\right) = ۲۰ \times ۲۰۰۰ \times \left(\frac{۱۶}{۲} + ۱۰ - \frac{۴}{۲}\right) = ۶/۴ \text{ ton.m}$$

دقت: بحث این سؤال، کاملاً مشابه با بحث محاسبهٔ لنگر نهایی در بتن‌آرمه است.

بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.

تمرین ۱۳: در تیر مرکب شکل زیر، فاصلهٔ محور خنثای تیر مرکب در حالت پلاستیک و الاستیک برحسب cm کدام است؟

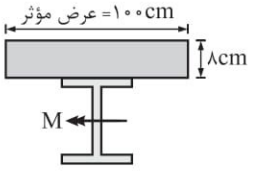
- مدول الاستیسیتهٔ فولاد، ۱۰ برابر مدول الاستیستهٔ بتن فرض می‌شود.

- مساحت پروفیل فولادی $۴۰ cm^۲$

- ارتفاع پروفیل فولادی $۲۴ cm$

- تنش در بتن فشاری ثابت و برابر $۰/۸۵ f'_c$ فرض شود.

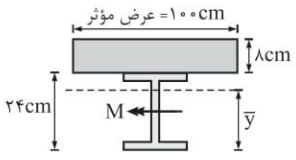
- $F_y = ۲۴۰۰ kgf/cm^۲$ و $۰/۸۵ f'_c = ۲۴۰ kgf/cm^۲$



۱) ۵/۴ ۲) ۹/۴ ۳) ۴ ۴) ۷/۸

حل:

گام اول: ابتدا فرض می‌کنیم که کل دال بتنی تحت فشار است ($\bar{y} \le ۲۴ cm$) و محل محور خنثی الاستیک نسبت به پایین مقطع را با روابط مقاومت مصالح به‌صورت زیر به‌دست می‌آوریم ($n_i = ۱۰$: فولاد و $n_i = ۱$: بتن):



$$\bar{y} = \frac{\sum n_i A_i \bar{y}_i}{\sum n_i A_i}$$

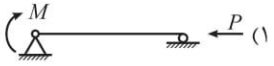
$$\Rightarrow \bar{y} = \frac{۱ \times (۸ \times ۱۰۰) \times ۲۸ + ۱۰ \times ۴۰ \times ۱۲}{۸ \times ۱۰۰ + ۱۰ \times ۴۰} = ۲۲/۶ cm < ۲۴ cm$$ (فرض انجام شده صحیح است)

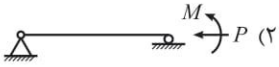
ارتفاع ناحیهٔ فشاری در حالت الاستیک $= (۲۴ + ۸) - ۲۲/۶ = ۹/۴ cm$

گام دوم: برای پیدا کردن محل محور خنثی در حالت پلاستیک، ابتدا ظرفیت کششی پروفیل و ظرفیت فشاری بتن را مقایسه می‌کنیم:

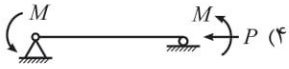
آزمون فصل هفتم

۱- تنش ماکزیمم در کدام تیر- ستون بیشتر است؟ در هر چهار حالت از یک نوع نیمرخ به طول L استفاده شده و تکیه‌گاه ممتد جانبی برای همهٔ حالات تأمین شده است. (سراسری ۷۸)

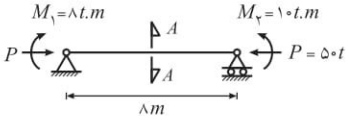
۱) 

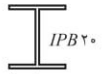
۲) 

۳)

۴) 

۲- در شکل زیر، تیر تحت نیروی محوری P و لنگرهای انتهایی M_1 و M_2 قرار دارد. لنگر تشدید یافته برای کنترل این تیر، چند تن متر است؟ ($E = 2/3 \times 10^6\ kg/cm^2$, $\pi^2 = 10$) (سراسری ۸۰)

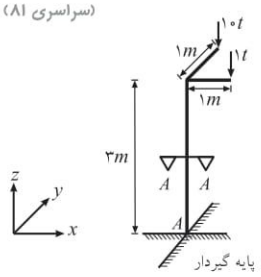




$A = 100\ cm^2$, $I_x = 5700\ cm^4$
$I_y = 2000\ cm^4$, $S_x = 570\ cm^3$
$S_y = 200\ cm^3$, $r_x = 8\ cm$
$r_y = 5\ cm$

۱) ۸
۲) ۱۲
۳) ۱۸
۴) ۱۶

۳- بارهای وارد بر تیر- ستون شکل زیر، تقریباً چند درصد ظرفیت مجاز تیر- ستون می‌باشد؟ (تنش خمشی مجاز حول محور قوی برابر با $0/6F_y = 1440\ kg/cm^2$ و تنش فشاری مجاز برابر $890\ kg/cm^2$ می‌باشد) (با ماشین حساب) (سراسری ۸۱)



$A = 106\ cm^2$, $r_x = 10/3\ cm$
$r_y = 6/06\ cm$, $S_x = 938\ cm^3$
$S_y = 327\ cm^3$, $F_u = 3700\ kg/cm^2$
$F_y = 2400\ kg/cm^2$, $b_f = 24\ cm$
$t_f = 1/7\ cm$, $E = 2/1 \times 10^6\ kg/cm^2$

۱) ٪۱۰۰
۲) ٪۵۰
۳) ٪۷۰
۴) ٪۱۲۰

۴- در طراحی تیر- ستون‌های دارای تکیه‌گاه جانبی در دو انتها، در چه مواردی می‌توان از تشدید لنگر خمشی در اثر نیروی فشاری صرف‌نظر کرد؟ (سراسری ۸۲)

۱) در هیچ موردی نمی‌توان از اثر تشدید لنگر صرف‌نظر کرد.
۲) در مواردی که تیر- ستون دارای لنگر خمشی در تکیه‌گاه‌ها بوده و فاقد بار جانبی در طول ستون باشد.
۳) در مواردی که تیر- ستون فاقد لنگر خمشی در دو انتها بوده و در طول ستون بارهای جانبی بر آن اثر نماید.
۴) در مواردی که تیر- ستون دارای مهار جانبی کافی بوده یا بار محوری آن نسبت به بار بحرانی کمانش، کوچک حدود $\frac{1}{12}$) باشد.