بسمه تعالی

جزوه

سازه های فولادی

دانشگاه

علم و صنعت

استاد

دکتر حسن زاده

طراحی سازه‌های فولادی

۱) مشخصات فیزیکی فولاد ۱

۲) اعضای کششی ۷

۳) ستونها ۲۱

۳-۱- تنش های پسماند ۲۱

۳-۲- ضریب K ۲۴

۴) تیر ۴۲

۴-۱- ضریب شکل ۴۳

۴-۲- کمانش موضعی ۴۴

۴-۳- کمانش پیچشی جانبی ۴۷

۴-۴- صفحات تقویتی ۵۲

۴-۵- کاهش لنگر ۵۶

۴-۶- خمش دو محوره ۵۸

۴-۷- کنترل خیز در تیرها ۵۸

۴-۸- تیر نعل درگاهی ۶۱

۴-۹- تیر مرکب ۶۲

۴-۱۰- تیر لانه زنبوری ۶۲

۴-۱۱- برش در تیر ۶۴

۴-۱۲- پیچش ۶۶

۵) تیرستون ۶۹

۶) جوش ۷۴

۷) پیچ ها ۸۲

۸) اتصالات ۹۱

۹) ورق پای ستون (Base plate) ۱۰۱

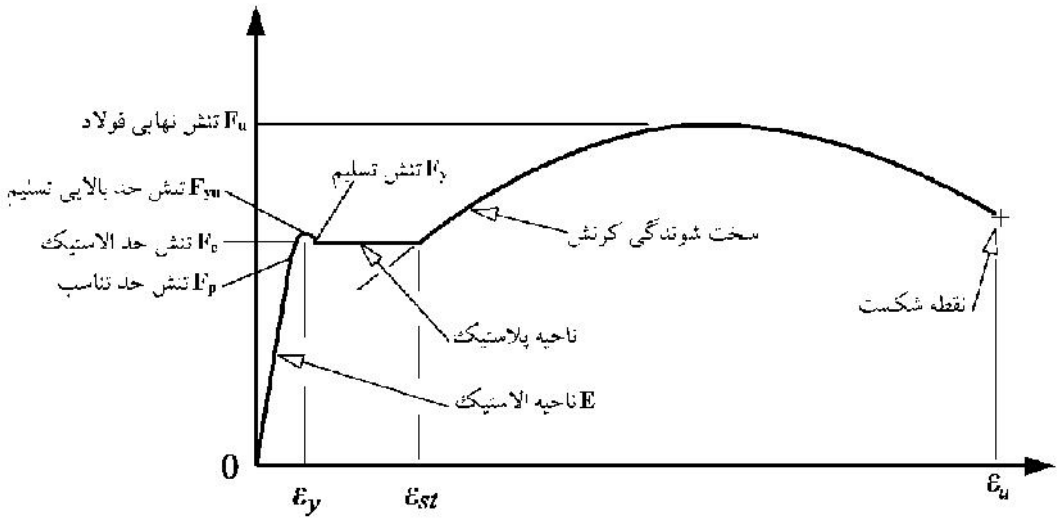
۱۰) تیرورق ها ۱۰۵

۱۰-۱- انواع کمانش‌ها ۱۰۵

۱۰-۲- اثر بار متمرکز ۱۰۷

۱۱) مسائل لرزه‌ای ۱۱۳

۱) مشخصات فیزیکی فولاد



شکل۱: منحنی تنش کرنش فولاد نرمه ساختمانی

F_p: رفتار فولاد تا این نقطه به صورت خطی است و شیب منحنی تنش-کرنش تا این نقطه به صورت خط راست می‌باشد.

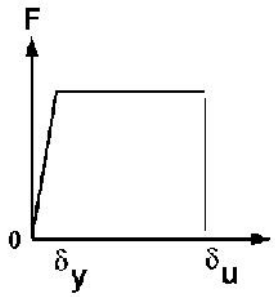
F_e: رفتار فولاد تا این نقطه به صورت الاستیک است و هنگام باربرداری، برگشت منحنی دقیقا مطابق منحنی اولیه (منحنی بارگذاری) می‌باشد.

F_{yu}: این نقطه حد بالای تسلیم را نشان می‌دهد. پس از این نقطه یک پله تسلیم خواهیم داشت و پس از پله تسلیم به نقطه‌ای می‌رسیم که در شکل با F_y نشان داده شده است.

F_y: این نقطه حد پایینی تسلیم را نشان می‌دهد که نشان دهنده تنش تسلیمی است که به عنوان مشخصه اصلی فولاد بیان می‌شود. این مقدار برای فولاد نرمه موجود در ایران معمولا برابر $2400\ kg/cm^2$ می‌باشد.

نکته: E فولاد برعکس بتن، بستگی به F_y ندارد و برای فولادهای با مقاومت بالاتر مقدار E تغییر نمی‌کند.

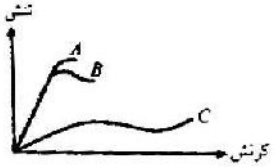
نکته: منحنی فوق مربوط به فولاد نرمه ساختمانی با $F_y=2400\ kg/cm^2$ می‌باشد. در منحنی های مربوط به فولادهای با مقاومت بالاتر پله تسلیم نداریم:



شکل‌پذیری(نرمی) = نسبت کرنش نهایی به کرنش تسلیم $\mu = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y}$

= نسبت تغییر شکل نهایی به تغییر شکل ارتجاعی $\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$

۲- نمودار تنش - کرنش سه نوع فولاد در شکل داده شده است. کدام نوع فولاد شکل‌پذیرتر می‌باشد؟ (آزاد ۷۹)

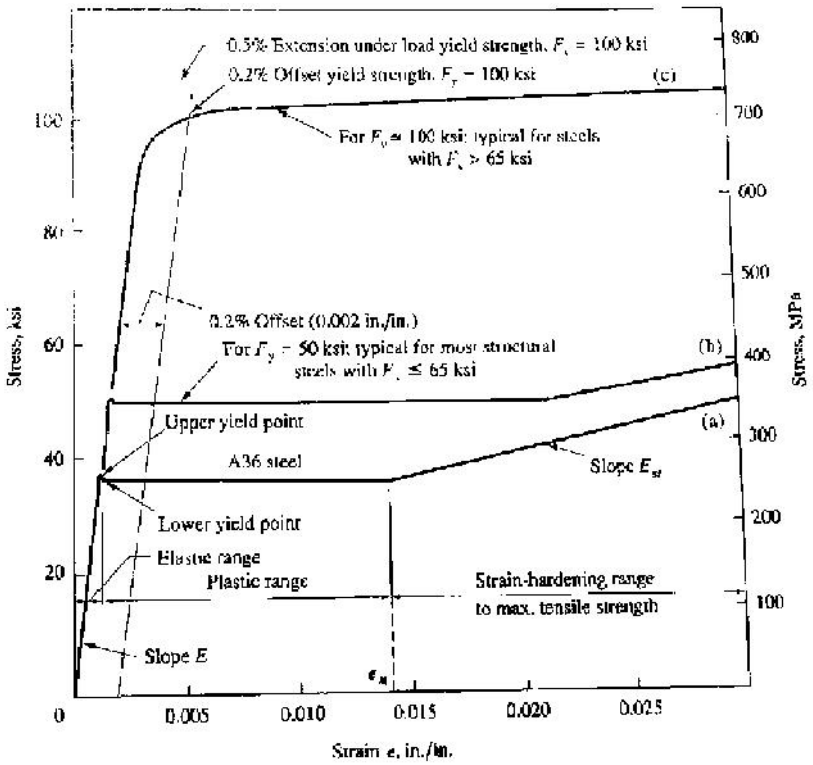


۱) A

۲) B

۳) C

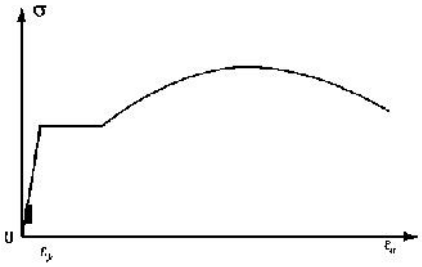
۴) هر سه نوع فولاد شکل‌پذیری یکسانی دارند.



شکل ۲: منحنی تنش کرنش فولادهای مختلف ساختمانی

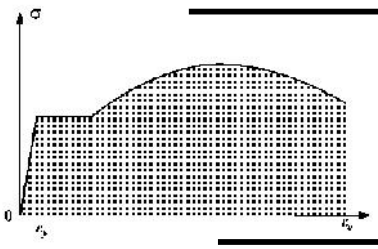
ضریب فنریت = سطح زیر منحنی تنش-کرنش تا ناحیه ارتجاعی

= میزان جذب انرژی در ناحیه خطی



سفتی (چقرمگی) = سطح زیر منحنی تنش-کرنش تا ناحیه گسیختگی

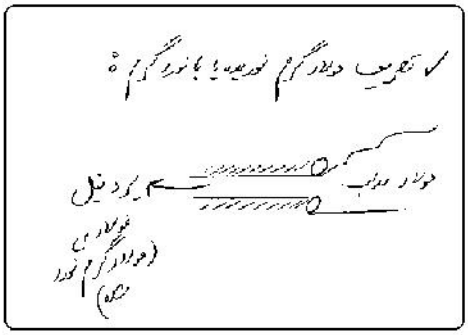
= میزان جذب انرژی ماده

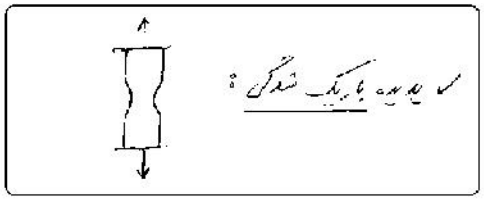


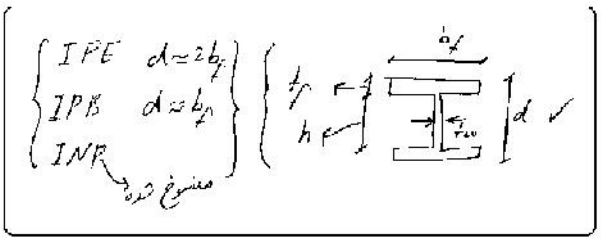
افزایش حرارت ← { ↑ شکل پذیری ; E ↓ ; F_y ↓ ; F_u ↓ }

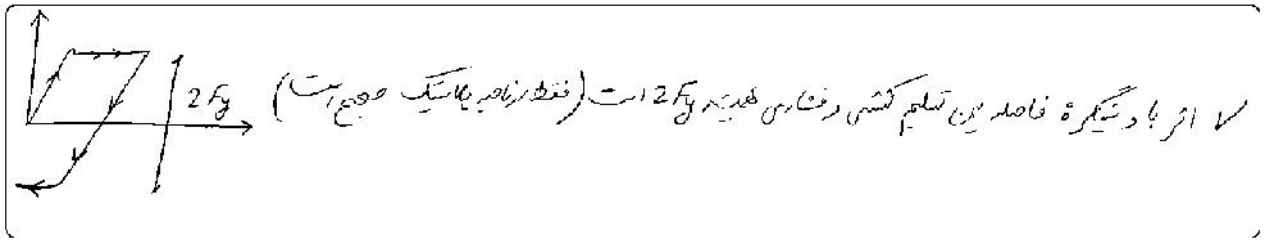
افزایش درصد کربن ← { ↓ شکل پذیری ; ↓ جوش پذیری ; F_y ↑ ; F_u ↑ }

↑ ← تردشکنی { بارگذاری دینامیکی ; جوشکاری ; وجود پارگی یا زدگی ; تنش چند محوره }









۱- کدام‌یک از موارد زیر در مورد فولاد ساختمانی صحیح است؟ (هراهری ۷۷)

۱) هرچه مقاومت نهایی نسبت به مقاومت جاری‌شدن فولاد بزرگتر باشد، شکل‌پذیری آن بیشتر است.

۲) هرچه تغییرشکل نسبی گسیختگی فولاد نسبت به تغییرشکل نسبی تسلیم بیشتر باشد، شکل‌پذیری آن بیشتر است.

۳) هرچه سطح زیر منحنی تنش - کرنش فولاد از شروع بارگذاری تا نقطهٔ گسیختگی بزرگتر باشد شکل‌پذیری بیشتر است.

۴) هرچه میزان کربن، فسفر و گوگرد در آلیاژ فولاد بیشتر باشد، شکل‌پذیری آن بیشتر است.

گزینه ۲ صحیح است.

گزینه ۳ تعریف سفتی است.

۱۱- چنانچه فولاد در برابر حرارت قرار گیرد: (آزاد ۸۱)

۱) مقاومت تسلیم آن کاهش می‌یابد.
۲) مقاومت تسلیم آن افزایش می‌یابد.
۳) مقاومت تسلیم آن تغییری نمی‌کند.
۴) مقاومت تسلیم به حد جاری‌شدن می‌رسد.

۲- با افزایش مقدار کربن در آلیاژ فولاد: (هراهری -۷۰ و نظام مهندسی)

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.

۳- فولادهای مصرفی در سازه‌های مقاوم در برابر زلزله باید دارای مقاومت نهایی کششی حداقل ..... برابر مقاومت حد جاری‌شدن باشند. (آزاد ۸۱)

۱) ۱/۲۵ ۲) ۱/۳۰ ۳) ۱/۳۰ ۴) ۱/۴۰

استاندارد 2800 (زلزله) گفته 1.5 بارهای آیین نامه فولاد گفته 1.2

← اگر زلزله اشاره شود باضریب 1.5 است

" " نشود " 1.2 "

۱۴- سازه‌های فولادی که در مقابل بارهای دینامیکی قرار می‌گیرند، ..... (آزاد ۷۷)

۱) شکنندگی ترد آنها کاهش می‌یابد.

۲) تغییری در شکنندگی ترد آنها اتفاق نمی‌افتد.

۳) شکنندگی ترد آنها افزایش می‌یابد.

۴) خمیدگی آنها افزایش می‌یابد.

۱۵- فولاد در مقابل حرارت: (آزاد ۷۷)

۱) به ضریب الاستیسیتهٔ آن اضافه می‌شود.

۲) به مقاومت کشش نهایی آن افزوده می‌شود.

۳) هیچ‌کدام

۴) ضریب الاستیسیتهٔ آن کاهش می‌یابد.

طراحی الف { طراحی به روش تنش مجاز (ASD)
طراحی به روش مقاومت نهایی (حدی) (LRFD) روش ضریب بار و مقاومت
طراحی خمیری (پلاستیک)

روش ASD ←

$$q < \frac{R}{(S.F.)}$$

(بار کاری وارده: q ، مقاومت تسلیم کلی: R ، ضریب اطمینان: $S.F. = 1.67$)

مثال: یک عضو کششی در بار 10 ton تسلیم می‌شود اگر ضریب اطمینان 2 باشد، حداکثر چه باری می‌توان بر آن وارد کرد؟

$$q = \frac{10}{2} = 5 \text{ ton}$$ بار مجاز

روش LRFD که به جای S.F. از ضرایب مختلف استفاده می‌کنیم

$$\gamma \times q < \varphi \times R \longrightarrow S.F. = \frac{\gamma}{\varphi}$$

(γ: مقدار بار)

افزایش بار: 1.25D ، 1.5 L

کاهش مقاومت: 0.9 ← فولاد ، 0.85 ← فولاد (آرماتور در بتن) ، 0.65 ← بتن

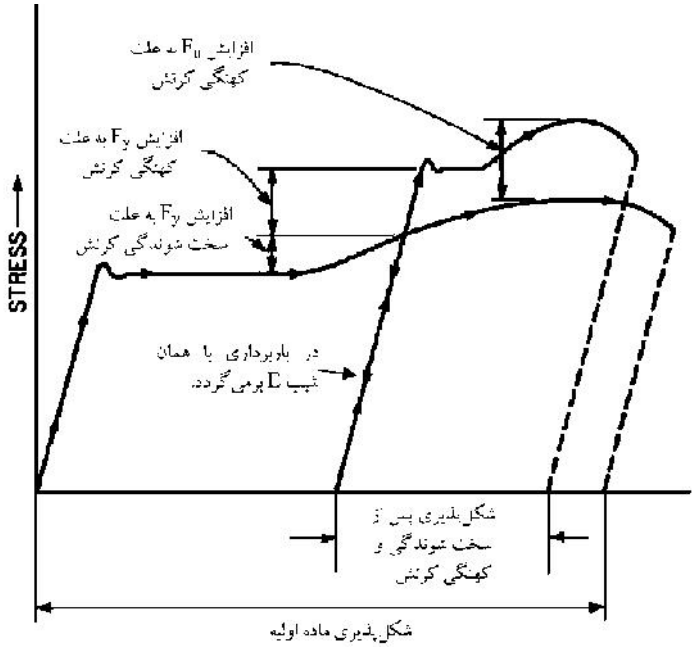
✓ تحت بارهای فوق العاده (زلزله) بارها را 25% کاهش می‌دهیم و یا مقاومت را 33% افزایش می‌دهیم.

اگر در طراحی یک عضو فولادی، بارهای واقعی از بار پیش‌بینی شده به میزان ۲۰٪ بیشتر و مقاومت واقعی از مقدار مقاومت محاسبه شده به میزان ۲۰٪ کمتر باشد، ضریب اطمینان طراحی چقدر می‌باشد؟ سراسری ۸۹

۱) ۰/۶۷
۲) ۱/۳۳
۳) ۱/۵
۴) ضریب اطمینان برای اعضای فولادی همیشه ثابت و برابر ۱/۶۷ باشد

$$\left.\begin{matrix}\gamma = 1.2 \\ \varphi = 0.8\end{matrix}\right\} \rightarrow S.F. = 1.5$$

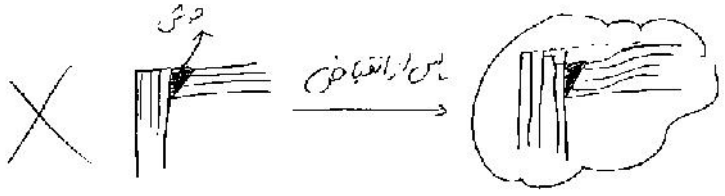
اثر کهنگی کرنش

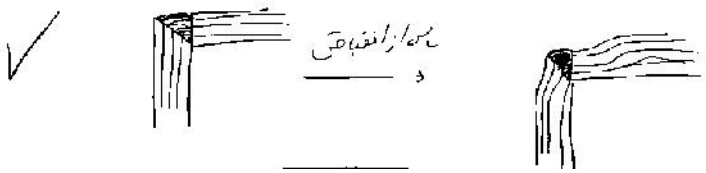


۵- اگر فولاد نرمه را تا پایان مرحله جاری‌شدن (تسلیم) تحت کشش قرار دهیم و بعد آزاد کنیم: (نظام مهندسی)

۱) فولاد مقاومت خود را از دست می‌دهد.
۲) فولاد تنش تسلیم بیشتری را بدست می‌آورد.
۳) در شکل‌پذیری فولاد تغییری به‌وجود نمی‌آید.
۴) ضریب ارتجاعی فولاد تغییر نمی‌یابد.

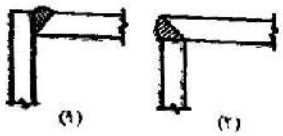
تورق: ورق‌های فولادی گرچه یکپارچه بنظر می‌رسند ولی پس از تولید شکل لایه‌ای مجزای روی هم در می‌آیند





(دانلود مهندسی)

۱۶. کدام‌یک از دو وضعیت جوشکاری زیر صحیح‌تر است؟

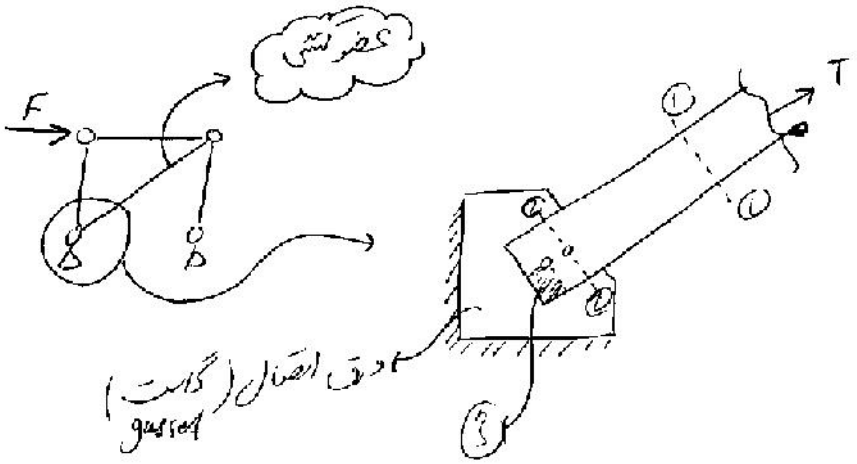


۱) هر دو گزینه یکسان هستند.
۲) گزینهٔ (۱)
۳) گزینهٔ (۲)
۴) هیچ‌کدام

اثر خستگی

اگر عضوی تحت اثر سیکل های بارگذاری و باربرداری زیاد قرار گیرد (مانند سازه پلها که هر بار با عبور ماشین یک سیکل بارگذاری و باربرداری را تجربه می کنند) تنش تسلیم آن کاهش می‌یابد.

۲)اعضای کششی



۱ـ تسلیم در مقطع کل

۲ـ گسیختگی در محل سوراخ

۳ـ برش قالبی

۴ـ کنترل لاغری

۵ـ شکست (خرابی) بولت ها

۱- کنترل تنش **تسلیم** مجاز کششی :

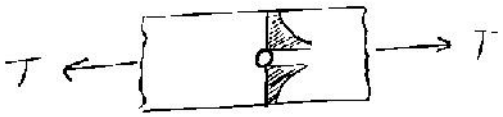
$$\frac{T}{A_g} < \{F_t = 0.6F_y\}$$

T: نیروی کششی عضو — A_g: مساحت مقطع عضو — F_t: تنش مجاز کششی

۲- کنترل پارگی یا **گسیختگی** کششی در مقطع موثر:

در نقاطی که سوراخ داریم تمرکز تنش داریم

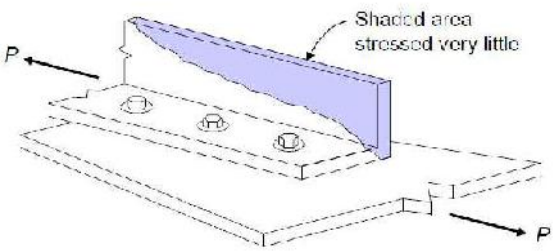
و به جای F_y از F_u استفاده کنیم

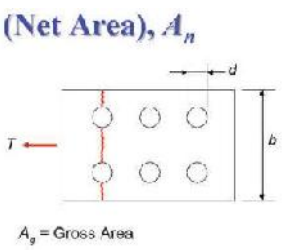


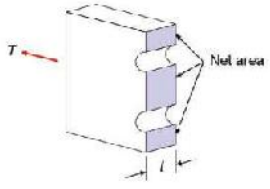
$$\frac{T}{A_e} \leq 0.5F_u$$

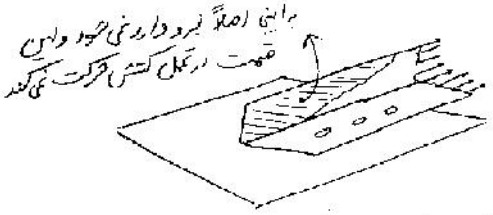
$A_e = U \times A_n$

سطح مقطع موثر — U: ضریب راکی — سطح مقطع خالص





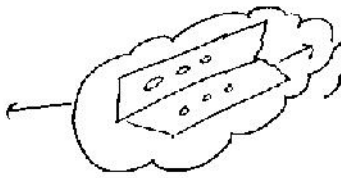




برای بررسی بهتر (نافیر بهتر) اگر در یک عضو کششی تمام اجزا تشکیل دهنده مقطع عضو حرکت نکنند، به جای کل مقطع تنها قسمتی از آن در عمل کشش موثر است که به آن سطح مقطع موثر می گویند (A_e)

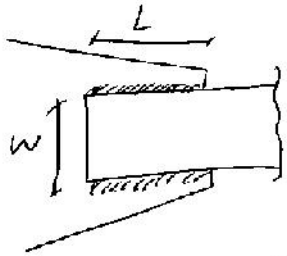
نتیجه: اگر تمام مقطع متصل باشد

$A_e = A_n$

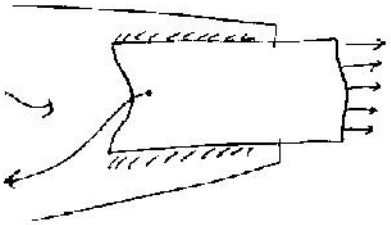


نکته:

ورق که با جوش در انتها به ستون متصل شده



بعد از اعمال کشش



این قسمت در عمل کشش مشارکت ندارد

$U < 1$

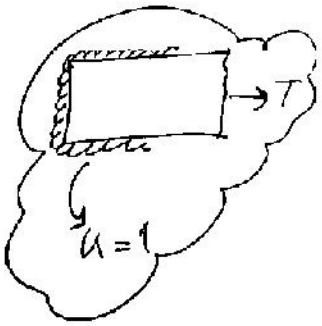
$L > 2w \longrightarrow U = 1$

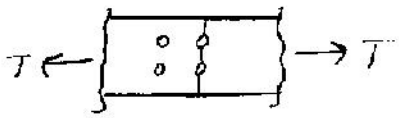
$1.5w < L < 2w \longrightarrow U = 0.87$

$w < L < 1.5w \longrightarrow U = 0.75$

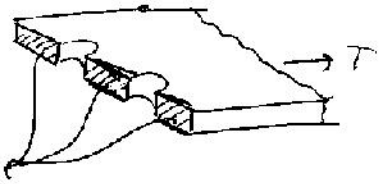
$L < w \longrightarrow$ غیر مجاز است

} اگر انتهای ورق جوش نشود





نحوه ی سنجه سطح مقطع خالص:



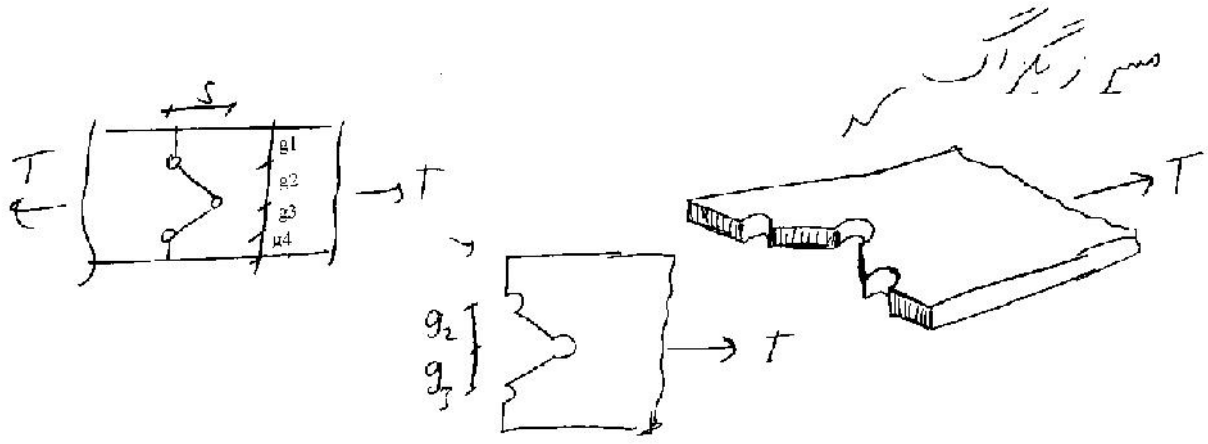
مساحت خالص = مساحت کل

$A_n = A_g - 2 \times D \times t$

A_g = مقدار سطح

D = قطر سوراخ

t = ضخامت ورق



$$A_n = A_g - 3D1 + \frac{S^2}{4g_2}t + \frac{S^2}{4g_3}t$$

تعداد سوراخ

برای هر مسیر مورب یک $\frac{S^2}{4g}t$

به مقدار A_n افزوده می‌شود

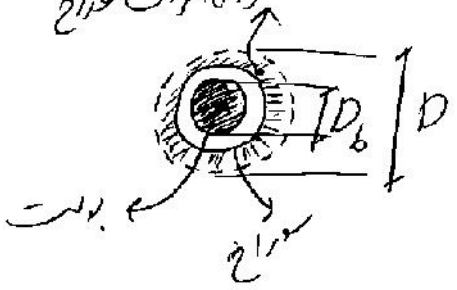
مقدار D (قطر سوراخ) ← اگر d_b قطر بولت (پیچ) باشد

قطر سوراخ باید 2mm بیشتر از آن باشد

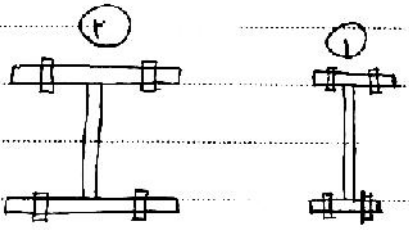
$$D = d_b + 2 + 2 = d_b + 4mm$$

اگر سوراخ پانچ شده باشد قطر سوراخ را 2mm بیشتر در نظر می‌گیریم

برای اطراف سوراخ



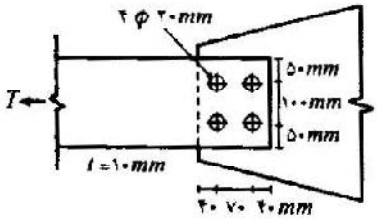
در دو مقطع زیر اگر مقدار A_n محاسبه شود (ضریب کاهش مقطع خالص به علت پدیده تأخیر برشی) کدام مقطع A_n بیشتری دارد؟



هر دو مقطع دارای مساحت جان یکسان می‌باشند ولی مساحت بال مقطع ② بیشتر از ① است از ۲ پیچ برای هر طرف بال استفاده شده است

در مقطع ② درصد بیشتری از مساحت مقطع به انتقال نیرو کمک می‌کند ولی در حالت ① درصد کمتری از مساحت بوسیله پیچ متصل شده است بنابراین $A_{n2} > A_{n1}$

۱- در شکل زیر یک قطعه کششی فولادی با مقطع تسمه با ضخامت $1\,cm$ و پهنای $20\,cm$ تحت نیروی محوری کششی T قرار دارد. در صورتی که تنش کششی مجاز با توجه به معیار جاری‌شدن و معیار گسیختگی به‌ترتیب برابر $1400\,kg/cm^2$ و $2000\,kg/cm^2$ باشد، مطلوب است تعیین حداکثر بار محوری کششی مجاز T. قطر سوراخ‌ها $20\,mm$ است که با استفاده از مته ایجاد شده‌اند. (سراسری ۸۶)



۱) ۲۸ تن
۲) ۳۲ تن
۳) ۳۴/۹ تن
۴) ۳۵/۶ تن

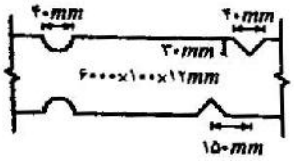
(1

$T < A \times 1400 = (20\times1)\times1400 = 28000\ kg$

$T < A_n \times 2000 = (20\times1 - 2\times1\times2)\times2000 = 32000\ kg$ (ضخامت ورق، تعداد سوراخ‌ها، قطر سوراخ)

$\rightarrow T = 28000$

۲- مقاومت کششی حداکثر (بدون اعمال ضرایب اطمینان) تسمه فولادی شکل زیر را که دو فرورفتگی مثلثی و دو فرورفتگی نیم‌دایره در لبه‌های آن ایجاد شده تعیین نمایید. در محاسبات از تمرکز تنش صرفنظر نمایید. (تنش جاری‌شدن فولاد = $4000\,kg/cm^2$ و تنش نهایی = $6000\,kg/cm^2$ می‌باشد) (سراسری ۸۴)



۱) ۲۸/۸ تن
۲) ۴۳/۲ تن
۳) ۴۸/۰ تن
۴) ۶۴/۲ تن

(2

$A_{n1} = (10\times1.2 - 4\times1.2) = 7.2\,cm^2$

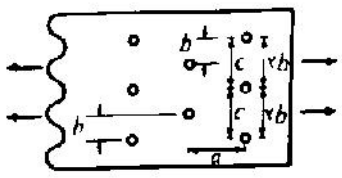
$A_{n2} = (10\times1.2 - 3\times1.2) = 8.4\,cm^2$

$A_{n3} = \left(10\times1.2 - 6\times1.2 + \frac{15^2}{4\times4}\right) = 21.6\frac{3}{8}\,cm^2$

البته A_{n2} لازم نیست حتماً خودش مقطع بحرانی باشد بلکه ممکن است مقطع بحرانی بزرگتر از A_{n2} باشد.

در اتصالات پیچی هنگام محاسبه سطح خالص، لازم است به ازاء هر خط زیگزاگ به مقدار زیر به عرض اتصال اضافه شود.

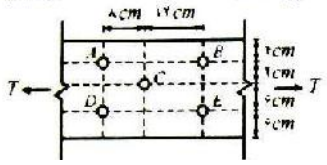
(سراسری ۷۴ و نظام مهندسی)



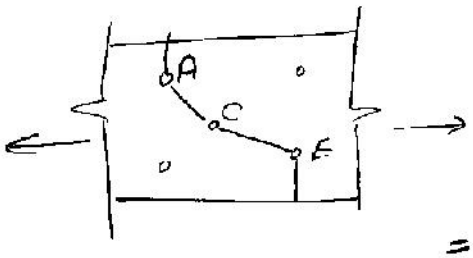
۱) $\frac{h^2}{4a}$
۲) $\frac{a^2}{4c}$
۳) $\frac{a^2}{4b}$
۴) $\frac{c^2}{4a}$

با فرض اینکه مسیر بین پیچ‌های ACE مسیر بحرانی در طراحی ورق تحت کشش باشد، ماکزیمم نیروی کششی قابل انتقال توسط این ورق برابر کدام گزینه می‌باشد؟ (تنش کششی مجاز ورق $1000\ kg/cm^2$، ضخامت ورق $1\ cm$ و قطر سوراخ‌ها $2\ cm$ می‌باشد.) (آزاد ۸۸)

۱) ۱۴ تن
۲) ۲۴ تن
۳) ۲۶/۳ تن
۴) ۱۶/۳ تن



۱۰ مسیر را از قبل مشخص کرده ←



$T = A_n \times (1000)$ ← تنش مجاز کششی

$= \left(20\times1 - 3\times2\times1 + \frac{8^2}{4\times4}\times1 + \frac{12^2}{4\times6}\times1\right)\times1000$

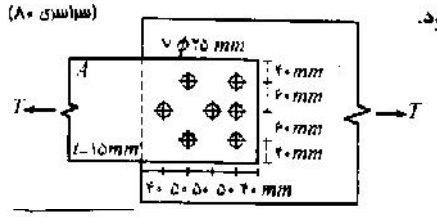
عرض ورق ←
ضخامت ورق ←
تعداد سوراخ ←
قطر سوراخ ←
ضخامت ورق ←
مسیر مورب AC ←
مسیر مورب CE ←

$\rightarrow T = 24000\ kg$

$= 24\ ton$

۵- مقاومت گسیختگی مجاز ورق A (شکل زیر) در کشش، تقریباً چند تن است؟ فولاد ورق $ST-52$ با تنش جاری‌شدن $F_y = 3600\ kg/cm^2$ و مقاومت نهایی $F_u = 5200\ kg/cm^2$ می‌باشد. تنش مجاز برای کنترل گسیختگی $F_t = 0.5F_u$ در نظر گرفته شود. (سراسری ۸۰)

۱) ۴۱
۲) ۴۹
۳) ۵۷
۴) ۶۸



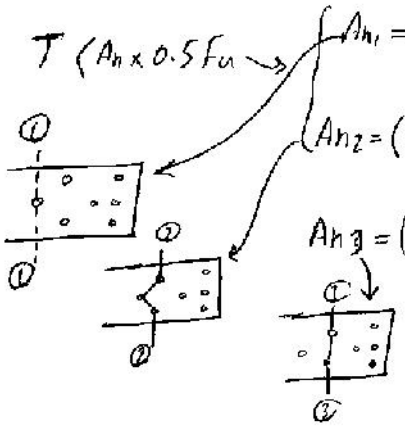
← چون مقاومت گسیختگی را خواسته نباید به کنترل تسلیم شدن در نظر بگیریم $(T_1 = A\times0.6F_y)$

$T\ (A_n\times0.5F_u \rightarrow$

$A_{n_1} = (20\times1.5 - 2.5\times1.5) = 26.25\ cm^2$

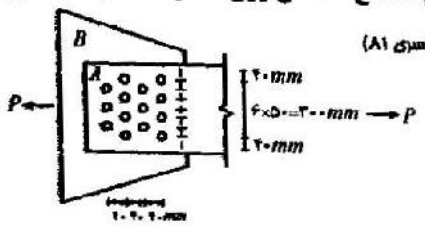
$A_{n_2} = \left(20\times1.5 - 3\times2.5\times1.5 + 2\times\frac{5^2}{4\times6}\times1.5\right) = 21.875\ cm^2$

$A_{n_3} = \left(20\times1.5 - 2\times2.5\times1.5\right)\times\frac{7}{6} = 26.25\ cm^2$



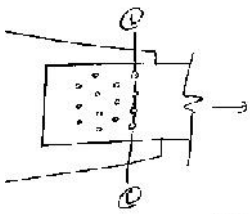
$\rightarrow T\ (21.875\times0.5\times5200 = 56875\ kg \rightarrow 57\ ton$

۳- اگر ضخامت ورق A برابر $t = ۱۲\ mm$ و قطر سوراخ‌ها با منظور کردن افزایش ۱/۵ میلی‌متر به‌خاطر روش سوراخکاری $d = ۲۰\ mm$ باشد، در این صورت سطح‌مقطع خالص ورق A در اتصال کششی مطابق شکل چند میلی‌متر مربع ($mm^۲$) می‌باشد؟ (سراسری ۸۱)



۱) $A_n = ۳۰۰۰$ ۲) $A_n = ۳۴۵۶$

۳) $A_n = ۳۵۵۲$ ۴) $A_n = ۳۶۰۰$



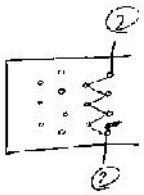
مساحت مقطع ورق

$A_{n1} = (۳۸\times۱.۲ - ۴\times۲\times۱.۲)$

کاهش سطح مقطع بواسطه قطر سوراخ

کاهش سطح مقطع بواسطه شیب دار بودن

$\rightarrow A_{n1} = ۳۶\ cm^۲$



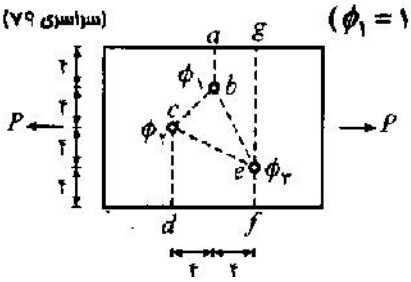
$A_{n2} = (۳۸\times۱.۲ - ۷\times۲\times۱.۲ + ۶\times\frac{۴^۲}{۴\times۵}\times۱.۲)$

کاهش سطح مقطع بواسطه شیب دار بودن

$\rightarrow A_{n2} = ۳۹.۵۶\ cm^۲$

$\rightarrow A_n = Min\{A_{n1}, A_{n2}\} = ۳۴۵۶\ mm^۲$

۶- در تسمه‌ای که تحت اثر کشش قرار دارد سوراخ‌هایی مطابق شکل تعبیه شده است. مسیر مقطع مفید (بحرانی) کدام است؟ ($\phi_۱ = ۱/۶\ cm$ ، $\phi_۲ = ۱/۸\ cm$ ، $\phi_۳ = ۲\ cm$) (سراسری ۷۹)



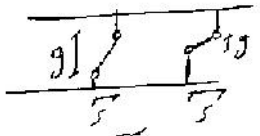
۱) gef

۲) $abef$

۳) $abcd$

۴) $abcef$

۶ نکته: از دو مسیری که دارای ۲ کیان هستند، آن مسیری که خط قائم اول تر است باید انتخاب شود



در این مسئله چون قطر سوراخ‌ها یکی است همه‌ی باید کنترل شوند

$A_{abef} = A - \left(۱.۶ + ۲ - \frac{۴^۲}{۴\times۸}\right)t = A - ۳.۱t$

$A_{abcd} = A - \left(۱.۶ + ۱.۸ - \frac{۴^۲}{۴\times۹}\right)t = A - ۲.۴t$

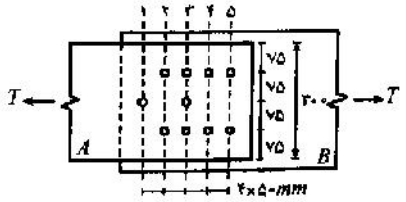
$A_{gef} = A - ۲t$

$A_{abcef} = A - \left(۱.۶ + ۱.۸ + ۲ - \frac{۴^۲}{۴\times۴} - \frac{۸^۲}{۴\times۴}\right)t = A - ۰.۴t$

A_{abef} از همه کمتر است

۷- گسیختگی ورق A از کدام مسیر محتمل‌تر است؟ (ضخامت ورق A برابر ۱۶ mm است.) (سراسری ۷۸)

قطر سوراخ‌ها ۳۰ میلی‌متر است و از آن‌ها پیچ‌هایی به قطر ۲۷ میلی‌متر عبور کرده‌اند.



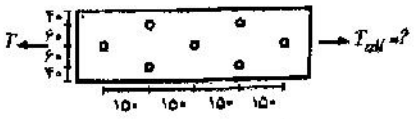
۱) شماره ۱
۲) شماره ۲
۳) شماره ۳
۴) شماره ۲ یا ۴ یا ۵

$A_{h1} = A - 3\times1.6 = A - 4.8 = 30\times1.6 - 4.8 = 43.2\ cm^2$ ✓

$A_{n2} = (A - 2\times3\times1.6)\times\frac{10}{9} = 42.66\ cm^2$ ✓

$A_{n3} = (A - 3\times3\times1.6)\times\frac{10}{7} = 48\ cm^2$

۸- تنش مجاز کششی روی سطح‌مقطع خالص ورق شکل زیر $3000\ kg/cm^2$ و روی سطح‌مقطع ناخالص آن $1500\ kg/cm^2$ است. چنانچه قطر هر یک از سوراخ‌ها ۲۰ mm باشد، نیروی کششی مجاز ورق چند تن خواهد بود؟ ضخامت ورق ۱۰ mm و عرض آن ۲۰۰ mm است. (سراسری ۷۸)

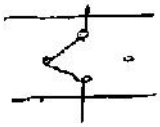


(تمام اندازه‌ها به میلیمتر است)

۱) ۱۲
۲) ۲۸
۳) ۳۰
۴) ۳۲

$T_1 = 20\times1\times1500 = 30000\ kg$

$T_2 = (20\times1 - 2\times1)\times2000 = 36000\ kg$ ✗

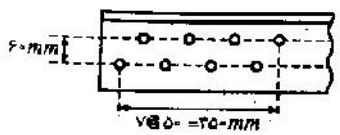


$T_3 = \left(20\times1 - 3\times1 + 2\times\frac{15^2}{4\times6}\times1\right)\times2000 = 21500$

از این صورت

بنابراین ۳۰ تن قرار می‌گیرد.

۹- یک نبشی $L\ 100\times100\times12$ تحت تأثیر نیروی کششی قرار دارد. این نبشی در انتها از طریق بال بزرگتر خود و توسط ۸ عدد پیچ مطابق شکل به ورق لچکی متصل است. قطر سوراخ پیچ‌ها ۲۵ میلی‌متر است. چنانچه تنش جاری‌شدن فولاد $F_y = 2400\ kg/cm^2$ و تنش نهایی آن $F_u = 3600\ kg/cm^2$ باشد، بار کششی مجاز که می‌تواند به این نبشی اعمال شود برابر است با: (نظام مهندسی) $(A_g = 22.7\ cm^2)$



۱) ۳۵/۷۷ تن
۲) ۴۱/۳۳ تن
۳) ۴۲/۰۸ تن
۴) ۲۷/۵ تن

Figure 7-17. Misc. Connection: Truss Column C2 / Truss B7

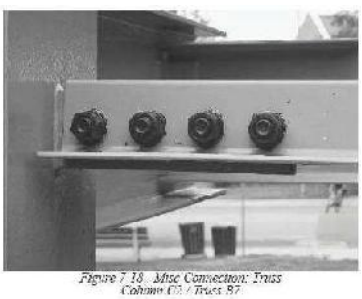


Figure 7-18. Misc Connection: Truss Column C6 / Truss B7

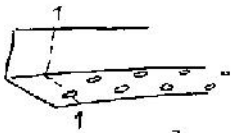
خود مساله داده است

کنترل تسلیم در مقطع بدون سوراخ $\rightarrow T_1 = 0.6 F_y \times A_g = (0.6 \times 2400) \times 22.7 = 32\,700\,kg$

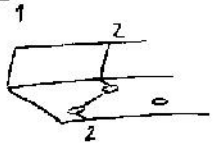
کنترل مقطع سوراخ دار

$A_{n1} = A_g - 1 \times 2.5 \times 1.2 = 19.7\,cm^2$

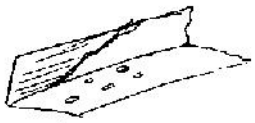
کم کردن سطح سوراخ به ضخامت ورق



$A_{n2} = A_g - 2 \times 2.5 \times 1.2 + \frac{5^2}{4 \times 6} \times 1.2 = 17.95$



چون بال نیکر متقارن نیست باید تاخیر برشی را هم در نظر بگیریم



$U = 0.85$ (نقاط)

(در open-hook کمتر)

$\Rightarrow A_e = 0.85 \times 17.95 = 15.26$

لازم به ذکر کردن این ایراد نیست $\rightarrow T_2 = 0.5 \times F_u \times 15.26 = 27\,500\,kg$

(3600)

$T = Min\{T_1, T_2\} = 27\,500\,kg$

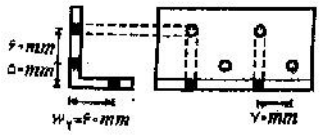
۱۹- سطح مقطع خالص نبشی زیر را بدست آورید. (ضخامت نبشی $1\,cm$، قطر سوراخ $2\,cm$ و سطح مقطع نبشی $30\,cm^2$ می‌باشد.) (نکته مهندسی)

۱) $22\,cm^2$

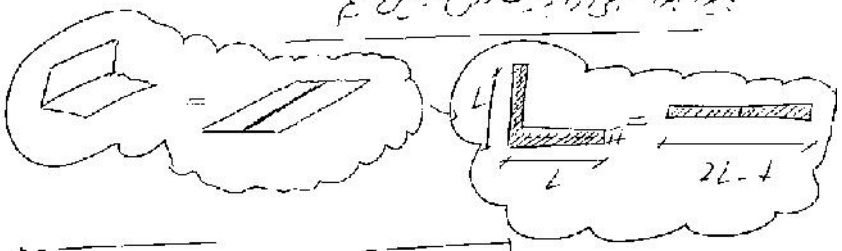
۲) $25\,cm^2$

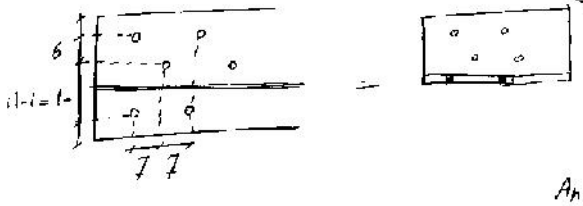
۳) $27\,cm^2$

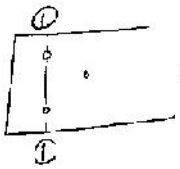
۴) $28\,cm^2$



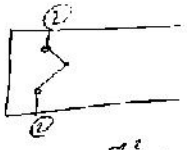
باید ابتدا نبشی را به یک ورق تبدیل کنیم







$A_{n1} = 30 - 2 \times 2 \times 1 = 26\,cm^2$



$A_{n2} = 30 - 3 \times 2 \times 1 + \frac{7^2}{4 \times 6} \times 1 + \frac{7^2}{4 \times 6} \times 1 = 27.27\,cm^2$

۳- کنترل برش **قالبی**:

$$T < \{A_t \times 0.5F_u + A_v \times 0.3F_u\}$$

مساحت قسمت کششی — مساحت قسمت برشی

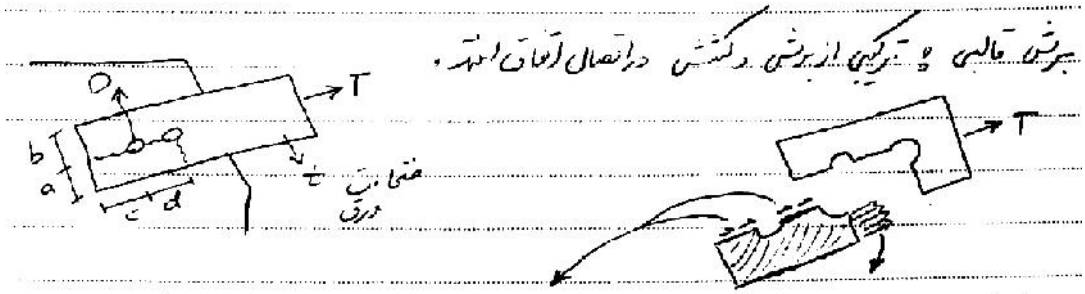
کنترل پدیدهٔ پارگی ناشی از برش (برش قالبی) فقط در حالات زیر باید انجام پذیرد: (آیاد ۸۶ و آیاد ۸۴)

۱) وقتی که اتصال پیچی داریم.

۲) وقتی که اتصال جوشی داریم

۳) وقتی که اتصال تحت نیروی برشی و کششی همزمان قرار دارد.

۴) تمام موارد ذکر شده.

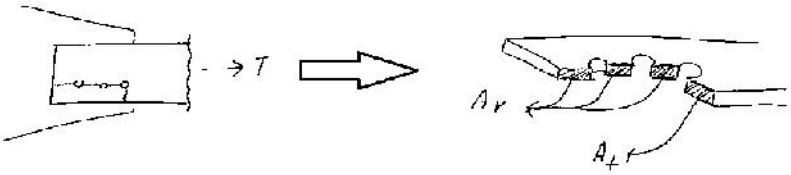


برش قالبی یه ترکیبی از برشی و کششی در اتصال اتفاق افتاده.

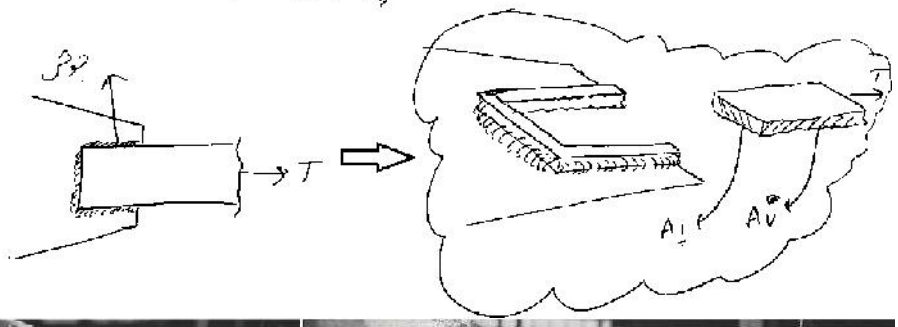
A_t (سطح مقطع کششی) $= (a - \frac{D}{2})\,t$

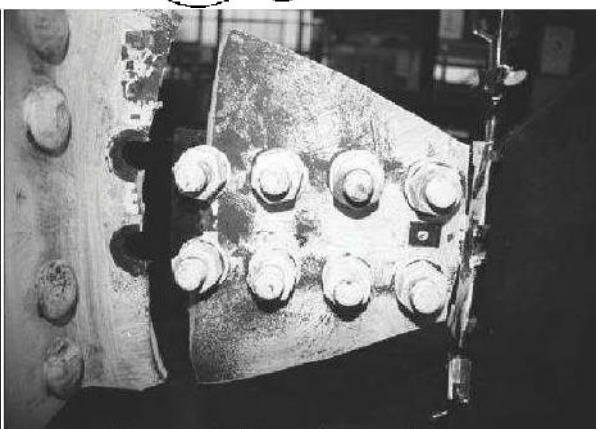
A_v (سطح مقطع برشی) $= (c + d - 1.5D)\,t$

مثال برش قالبی:



$$T = A_v \times (0.3F_u) + A_t(0.5F_u)$$





۴- کنترل لاغری (سرویس دهی):

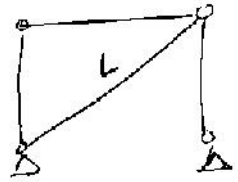
$$\frac{L}{r=\sqrt{\frac{I}{Ag}}} < 300$$

شعاع ژیراسیون مقطع

لاغری $\lambda = \frac{L}{r}$ ← طول کمانش

شعاع ژیراسیون $r = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$

لاغری:



مثال: یک مقطع مستطیلی بطول L و مقطع آن $b \times h$ ($b < h$) با فرض لاغری آن چقدر است؟

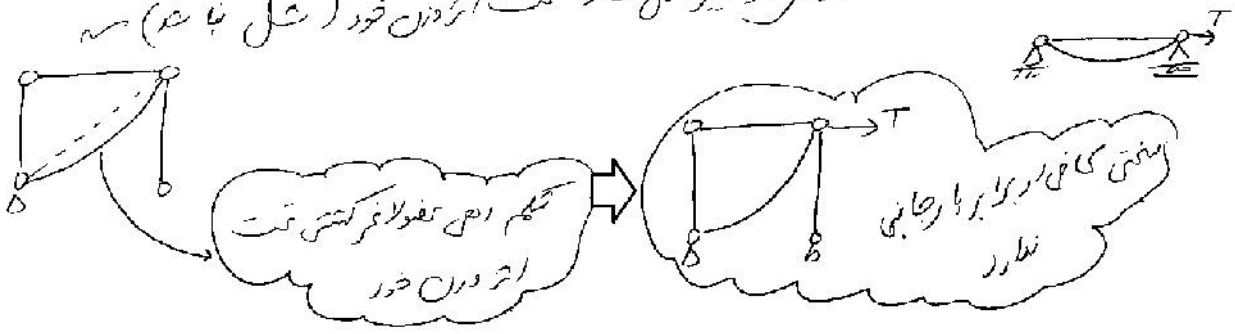
$$I_{min} = \frac{hb^3}{12}$$

$$\rightarrow r = \sqrt{\frac{hb^3}{12(b \times h)}} \simeq 0.3b$$

$$\rightarrow \lambda = \frac{L}{0.3b}$$

آیین نامه: λ اعضای کششی باید کمتر از ۳۰۰ باشد $\frac{L}{r} < 300$

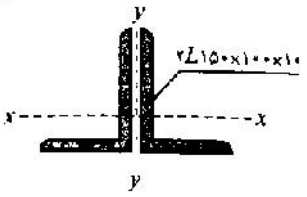
نکته: جلوگیری از تغییر شکل بیش تحت اثر وزن خود (مثل پا ستون)



نکته: برای میل مهارهایی که پیش تنیده شده‌اند کنترل فوق لازم نیست به شرطی که $\frac{L}{D}$ باشد

۴- حداکثر طول آزاد عضو کششی شکل زیر چند سانتی‌متر است؟ (با ماشین حساب حل شود.) (سراسری ۸۱)

مشخصات تک‌نبشی: $A = 24.2\ cm^2, I_x = 552\ cm^4, I_y = 198\ cm^4, e_x = 4.78\ cm, e_y = 2.34\ cm$



۱) ۸۵۶
۲) ۱۱۱۰
۳) ۹۱۰
۴) ۹۲۵

4 بل اعضای کششی حداکثر طول آزاد براساس $\frac{L}{r} < 300$ تعیین می‌شود

$$r_x = \sqrt{\frac{2I_x}{2A}} = \sqrt{\frac{2\times 552}{2\times 24.2}} = 4.77\ cm$$

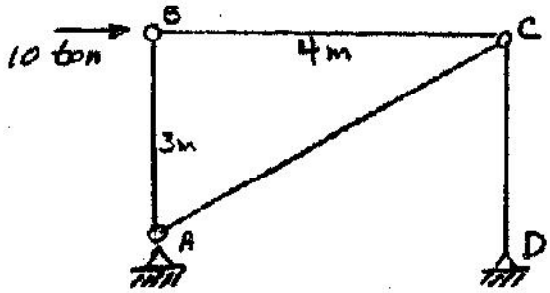
$$r_y = \sqrt{\frac{2I_y + 2\times 24.2\times 2.34^2}{2\times 24.2}} = 3.6955\ cm$$

$$\frac{L}{3.6955} < 300 \rightarrow L < 300\times 3.6955 = 1108.7\ cm \rightarrow$$ گزینه (۲)

برای جلوگیری از تغییرشکل خمشی عنصر کششی تحت اثر وزن خودش و داشتن سختی کافی، حداکثر لاغری که آیین‌نامه *AISC* مقرر می‌دارد: (آزاد ۷۷)

۱) برای قطعات اصلی ۳۰۰ باشد.
۲) برای قطعات اصلی ۲۴۰ باشد.
۳) برای قطعات اصلی ۲۵۰ باشد.
۴) برای قطعات اصلی ۳۵۰ باشد.

عضو بادبندی AC از دو میلگرد ساده تشکیل شده است. مقاومت تسلیم ۴۰۰۰ و مقاومت نهایی کششی این میلگردها $5000\ kg/cm^2$ و ضریب اطمینان نیز در مقابل گسیختگی ۲ و فرض شود به علت تراشکاری دنده‌ها روی میلگرد ۳۷/۵ درصد از سطح آن کاسته شده است. در این صورت حداقل سطح اسمی لازم برای هر یک از این میلگردها بر حسب cm^2 چقدر است؟ سراسری ۸۹



۱) ۳
۲) ۴
۳) ۸
۴) ۵

تنها ضریب اطمینان در برابر گسیختگی را ارائه کرده است (2)

$$F = \frac{10\times 5}{4} = 12.5\ ton \Rightarrow \frac{F}{A_n} < \frac{5000}{2} \rightarrow \frac{12500}{A_n} < 2500 \rightarrow A_n = 2\ cm^2$$ نیروی وارد

$$A_g\times(1-0.375) = A_n \rightarrow A_g = \frac{2}{1-0.375} = 3.2\ cm^2$$ پاسخ: گزینه ۴

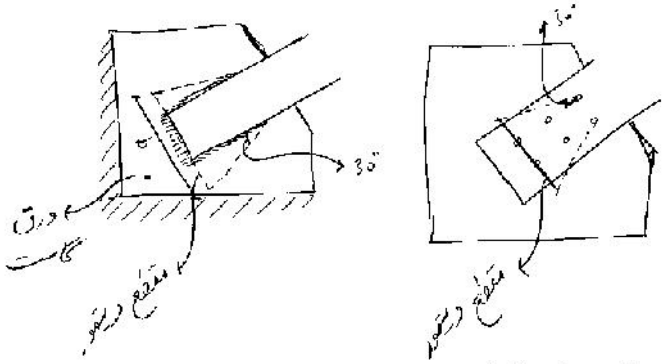
در طراحی ورق گاست یک بادبند موارد زیر باید در نظر گرفته شود. (آزاد ۸۷)

۱) ورق گاست باید برای جاری‌شدن روی مقطع ویتمور چک شود.

۲) ورق گاست باید برای شکست از محل سوراخ پیچ‌ها روی مقطع ویتمور چک شود.

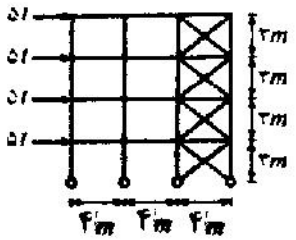
۳) ورق گاست باید برای برش قالبی چک شود.

۴) تمامی موارد مذکور



۲۱- با فرض اتصال لولایی تیرها به ستون‌ها و صرف‌نظر از رفتار فشاری بادبند، چنانچه تنش کششی مجاز فولاد $1250\ kg/cm^2$ باشد، سطح‌مقطع لازم برای بادبند طبقه همکف چقدر است؟

(مباحث ۷۶ و نظام مهندسی)



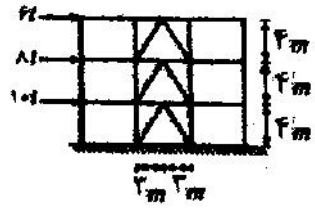
۱) $20\ cm^2$

۲) $26/7\ cm^2$

۳) $10\ cm^2$

۴) $13/4\ cm^2$

۲۳- قاب سادهٔ زیر نیروهای زلزله مطابق شکل را باید تحمل کند. هر یک از اعضای بادبند طبقه بالا برای چه نیرویی باید طراحی شود؟ (با صرفنظر از رفتار فشاری مهاربند) (آزاد ۸۱)



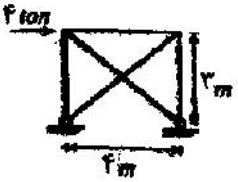
۱) ۵

۲) ۷/۵

۳) ۱۰

۴) ۷

۲۴- سطح‌مقطع بادبند در سازه مقابل چنانچه از بادبند فشاری صرفنظر شود با فرض $F_y = 2400\ kg/cm^2$ برابر است با: (آزاد ۸۱)

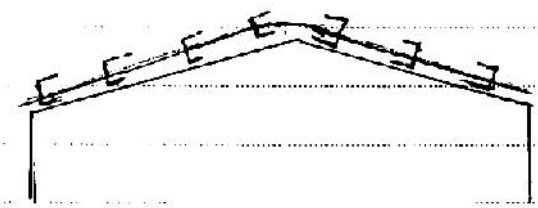


۱) ۳/۴۷ سانتی‌متر مربع

۲) ۳/۷۴ سانتی‌متر مربع

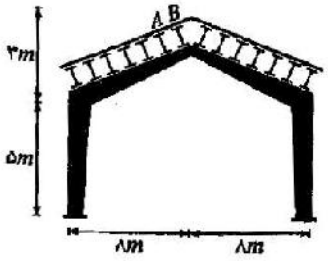
۳) ۲/۴۷ سانتی‌متر مربع

۴) ۲/۷۴ سانتی‌متر مربع



برای مقابله با خیش تانوه میتوان
لبه‌ها را در راستای شیب سقف
مطابق شکل توسط میل مهار به یکدیگر
متصل نمود.

۲۹- در قاب شیبدار زیر فواصل قاب‌ها از یکدیگر $6m$ و فاصله محور میل‌مهارهای عرضی (*sagrod*) از یکدیگر $2m$ می‌باشد. چنانچه وزن مردهٔ سازه برابر $80\ kg/m^2$ روی سطح شیبدار باشد و بار برف برابر $200\ kg/m^2$ روی تصویر افقی سطح بام باشد، مطلوب است حداقل سطح لازم برای میل‌مهار AB در صورتی که تنش مجاز آن برابر $1420\ kg/cm^2$ باشد. (سراسری ۷۰ و نظام مهندسی)

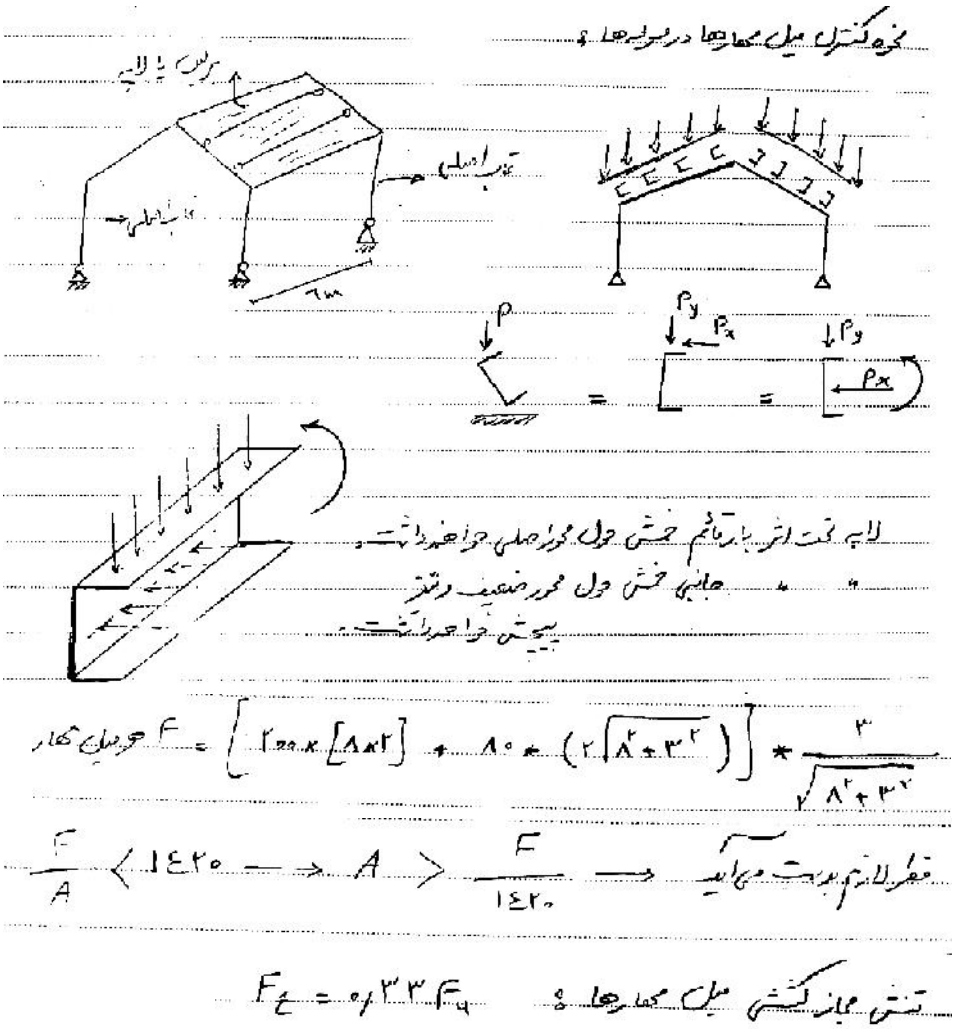


۱) $\dfrac{1200+\frac{2400}{\sqrt{73}}}{355}$

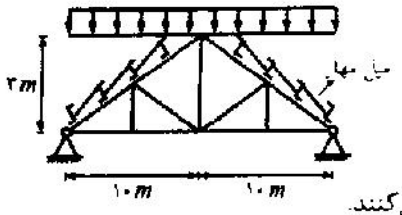
۲) $\dfrac{160\sqrt{73}+3200}{1420}$

۳) $\dfrac{80\sqrt{73}+1600}{1420}$

۴) $\dfrac{120\sqrt{73}+2400}{355}$



۱- اگر بار برف $150\ kg/m^2$ روی سطح افقی وارد شود و فاصلهٔ میل‌مهارها از یکدیگر برابر $2m$ فرض گردد، حداقل سطح‌مقطع برای میل‌مهار بحرانی کدام است؟ ($F_u = 4000\ kg/cm^2$) (آزاد ۸۸)



۱) $0/65\ cm^2$

۲) $0/5\ cm^2$

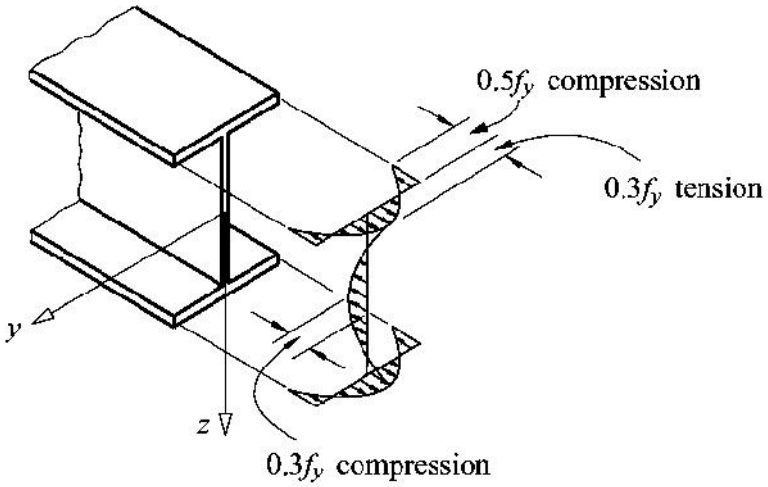
۳) $1\ cm^2$

۴) در حالت بارگذاری برف، میل‌مهارها نیروی محوری تحمل نمی‌کنند.

۳)ستونها

۳-۱- تنش های پسماند

در مقاطع نورد شده، پس از خروج از کوره آهن، در هنگام خنک شدن مقطع، لبه‌های آزاد زودتر به جسم جامد تبدیل می‌شوند. سپس قسمت‌های داخلی هنگام خنک شدن به علت انقباض کاهش طول می‌یابند و در نتیجه لبه های آزاد تحت اثر فشار، و قسمتهای داخلی تحت اثر کشش قرار می‌گیرند. به این تنش های ناشی از سرد شدن غیر یکنواخت، تنش های پسماند گویند.



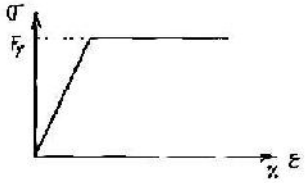
نکته: دلایل زیر باعث ایجاد تنش های پسماند می شود:
۱) نورد گرم مقاطع
۲) جوشکاری
۳) خم کاری سرد مقاطع
۴) سوراخ کاری (یا پیچ کردن)
۵) بریدن با شعله

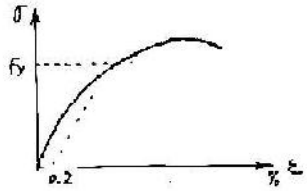
نکته:

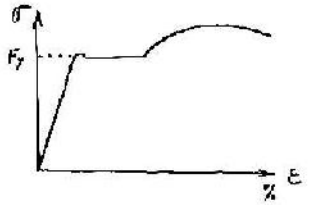
۱- تنش های پسماند مقاومت کششی را کاهش نمی‌دهد ولی مقاومت فشاری را کاهش می‌دهد.

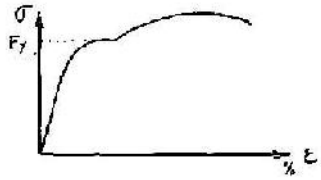
۲- تنش های پس ماند رفتار غیرخطی را در هر دو عضو کششی و فشاری تسریع می کند.

۸- نمودار تنش ـ کرنش حاصل از انجام آزمایش کشش بر روی یک مقطع کامل نبشی‌شکل با نورد گرم از فولاد نرمهٔ ساختمانی به کدام‌یک از شکل‌های زیر شبیه است؟ (سراسری ۸۶)

۱)


۲)


۳)


۴)


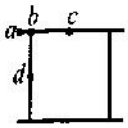
۱۲- تنش پسماند از نورد گرم (در پروفیل نورد گرم) یا جوشکاری (در مقاطع ساخته شده) به‌طور معمول معادل کدام‌یک از مقادیر زیر در نظر گرفته می‌شود؟ (سراسری ۷۵ و ۷۴)

۱) حدود ۱۰٪ حد ارتجاعی فولاد
۲) حدود ۵۰٪ حد ارتجاعی فولاد
۳) معادل حد ارتجاعی (فقط برای فولاد نرمه)
۴) خیلی جزیی و در محاسبات دخالت داده نمی‌شود.

۱۸- در مقاطع بال‌پهن تولید شده در کارخانه، تنش‌های پسماند به‌صورت زیر می‌باشند؟ (آزاد ۸۰)

۱) در وسط جان و انتهای بال‌ها فشاری است.
۲) در وسط جان و وسط بال‌ها فشاری است.
۳) در وسط جان و انتهای بال‌ها کششی است.
۴) در وسط جان و وسط بال‌ها کششی است.

۱۶- در مقطع فولی ساخته شده از ورق به شکل زیر، تنش‌های پسماند حرارتی به چه نحوی خواهد بود؟ (آزاد ۸۲)



۱) فشار در b و d
۲) فشار در b و کشش در c و d
۳) کشش در b و فشار در d
۴) کشش در c و a

۱۳- تأثیر تنش پسماند (*residual stress*) در باربری نهایی نیمرخ‌های فولادی تحت کشش و تحت فشار چگونه است؟ (سراسری ۷۵)

۱) باربری هر دو نوع قطعه کششی و فشاری را تقلیل می‌دهد.
۲) در باربری فشاری قطعات تأثیری ندارد ولی باربری کششی نیمرخ‌ها را تقلیل می‌دهد.
۳) در باربری کششی قطعات تأثیری ندارد ولی باربری فشاری نیمرخ‌ها را تقلیل می‌دهد.
۴) هیچگونه تأثیری در باربری نهایی قطعات کششی و فشاری ندارد.

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

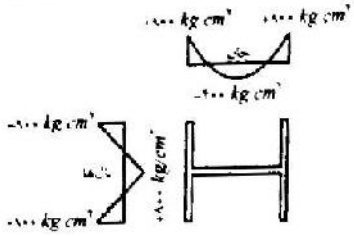
۱) پسماند تجاوز نکند.
۲) تسلیم تجاوز نکند.
۳) تسلیم به اضافه حداکثر تنش پسماند تجاوز نکند.
۴) تسلیم منهای حداکثر تنش پسماند تجاوز نکند.

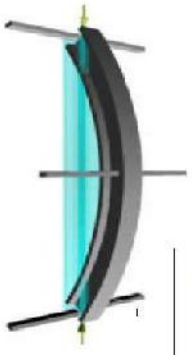
۱۷- در رابطهٔ با تنش‌های پسماند و پدیدهٔ تمرکز تنش در پروفیل‌های نوردشده کدام گزینه صحیح است؟ (آزاد ۸۱)

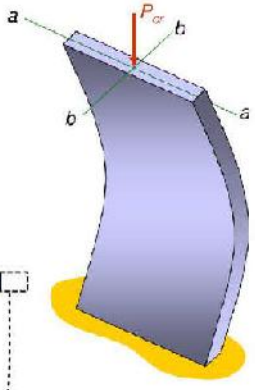
۱) در طرح اعضای فشاری اهمیت بیشتری دارند.
۲) در طرح اعضای کششی اهمیت بیشتری دارند.
۳) در طرح اعضای خمشی اهمیت بیشتری دارند.
۴) در طرح اعضای فشاری، کششی و خمشی اهمیت یکسان دارند.

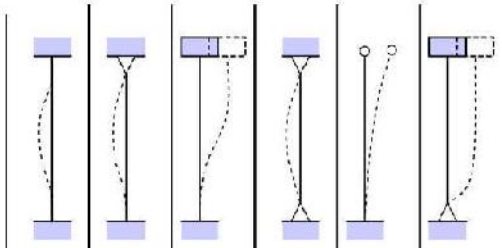
۱۰- تنش‌های پسماند حرارتی به‌صورت تقریبی در بال یک عضو کششی با مقطع IPB ۲۰۰ با تنش جاری‌شدن $F_y = ۲۴۰۰\ kg/cm^۲$ و تنش نهایی $F_u = ۳۷۰۰\ kg/cm^۲$ مطابق شکل زیر فرض شده است. درصد کاهش در مقاومت عضو کششی ناشی از این تنش کدام است؟ (هراهری ۸۰)

۱) ٪۲۲
۲) ٪۳۳
۳) ٪۶۷
۴) صفر







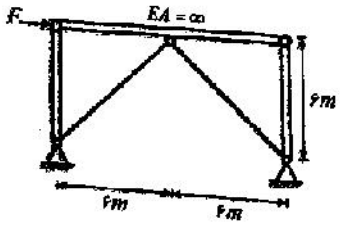


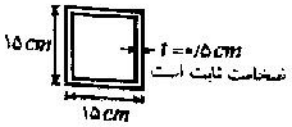
تئوریک	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
طراحی	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0

۴۳- برای سازهٔ شکل زیر چنانچه مقطع نشان داده شده برای بادبندها به‌کار رفته باشد، حداکثر نیروی F که سازه می‌تواند فقط با توجه به کمانش بادبندها با ضریب اطمینان ۲ تحمل کند، چند تن است؟ (حرکت سازه در جهت عمود بر صفحهٔ قاب مقید است.) ($E = ۲\times۱۰^۶\ kg/cm^۲$ مدول ارتجاعی)
(هراهری ۸۱)

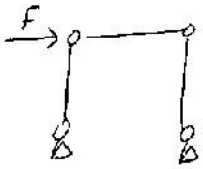
$(I = ۱۰۲۰\ cm^۴\ ,\ \pi^۲ = ۱۰)$

۱) ۱۲
۲) ۱۶/۴
۳) ۲۰
۴) ۳۲/۸





وقتی اتصالات تیر ستون مفصلی است



کل سری جانبی را بارنده تحمل می‌کنند

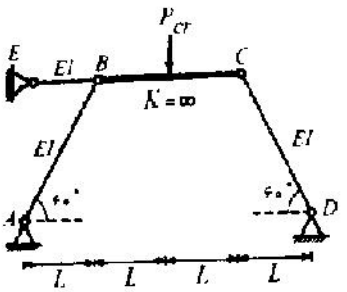
با فرض اینکه کل بارهای وارد را بادبندها می‌گیرند، این مسئله تاکید دارد که کمانش را بررسی کنیم (نه تاریس عرف نظر نشود)

نیروی هر بادبند $= (F/2)\times\frac{6\sqrt{2}}{6} = \frac{F\sqrt{2}}{2}$

نیروی بحرانی بادبند $= \frac{P_{cr}}{2} = \frac{\frac{\pi^2 EI}{L^2}}{2} = \frac{10\times 2\times10^6\times 620}{2\times(600\times\sqrt{2})^2} = 1416.7\ kg$ ← ضریب اطمینان

$\frac{F\sqrt{2}}{2} < 1416.7 \rightarrow F < 2003.4\ kg = 2ton$

۴۷- سازهٔ روبه‌رو در نقاط B و C، تکیه‌گاه‌های جانبی دارد. عضو BC نیز کاملاً صلب می‌باشد. چنانچه رفتار سیستم کاملاً الاستیک باشد، بار بحرانی P_{cr} را برای این سیستم محاسبه کنید. (سراسری ۷۸)

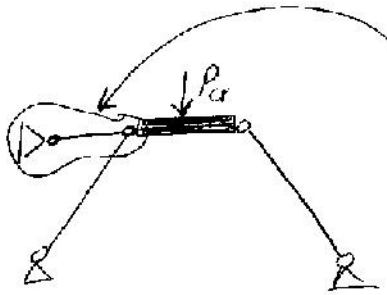


۱) $P_{cr} = \frac{2\pi^2 EI}{L^2}$

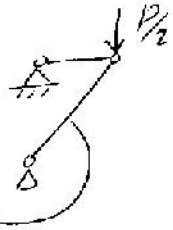
۲) $P_{cr} = \frac{\sqrt{3}\pi^2 EI}{2L^2}$

۳) $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}\left(\frac{\sqrt{3}}{4}+1\right)$

۴) $P_{cr} = \frac{\sqrt{3}\pi^2 EI}{4L^2}$



ستون‌ها در راستای عمود جانبی مقید و با توجه به تقارن هر کدام نصف P_{cr} را تحمل می‌کنند



مؤلفه نیروی این ستون باید $P/2$ باشد

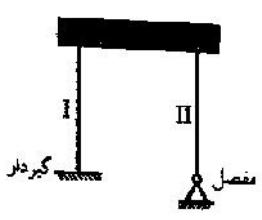
$F\times\sin 60^\circ = P/2 \rightarrow F = \frac{P_{cr}}{\sqrt{3}} \rightarrow \frac{\pi^2 EI}{(2L)^2} = \frac{P_{cr}}{\sqrt{3}} \rightarrow P_{cr} = \frac{\sqrt{3}\pi^2 EI}{4L^2}$

← نیروی ستون

← طول ستون $2L$ است

۳-۲- ضریب K

مقدار ضریب طول مؤثر کمانش (K) به ترتیب برای ستون‌های I و II سازه شکل مقابل که با انتهای فوقانی گیردار به عضو صلب فوقانی متصل شده‌اند کدام است؟ (سراسری ۸۰)



۱) ۱ و ۲

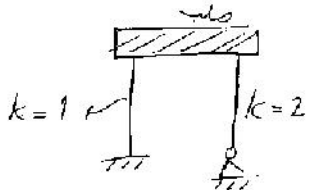
۲) ۰/۵ و ۰/۷

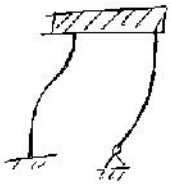
۳) ۱ و ۱

۴) ۰/۵ و ۱

هر دو ستون بدون مهار جانبی هستند ← (۱) $k=1$ لوسگیردار / $k=2$ کنسگیردار

شکل کمانش :

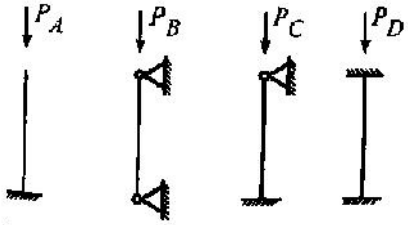




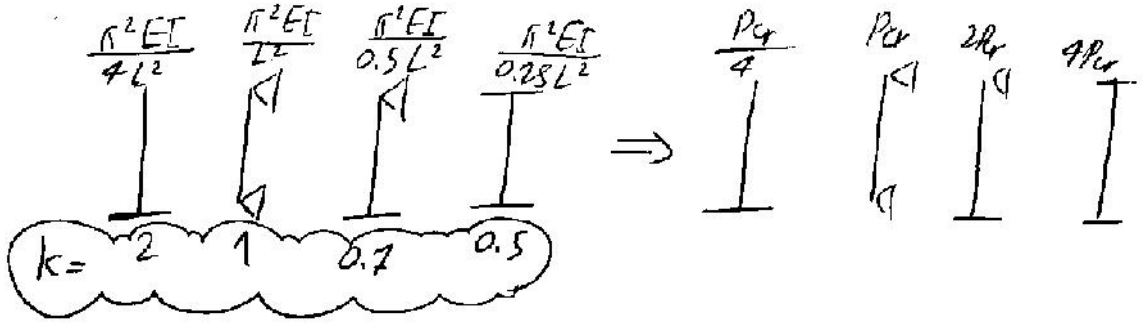
۳۶- طول کمانش یک ستون فولادی به طول L در یک قاب ساختمانی مهارنشده که حرکت جانبی در آن آزاد است کدام‌یک از مقادیر زیر را می‌تواند دارا باشد؟ (آزاد ۷۸ و نظام مهندسی)

۱) برابر L می‌باشد.
۲) بزرگتر از L می‌باشد.
۳) کوچکتر از L بوده و بستگی به سختی ستون‌های بالا و پایین ستون مورد نظر دارد.
۴) کوچکتر از L بوده و بستگی به سختی تیرهای متصل به دو انتهای ستون مورد نظر دارد.

۳۷- تناسب ظرفیت باربری ستون‌های مطابق شکل چگونه است؟ $P_A : P_B : P_C : P_D$ (آزاد ۷۹ و نظام مهندسی)

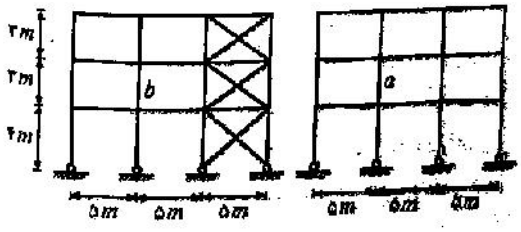


۱) ۱۶ : ۸ : ۴ : ۱
۲) ۴ : ۱/۴ : ۲ : ۱
۳) ۱۶ : ۱/۴ : ۲ : ۱
۴) ۴/۳ : ۲/۵ : ۲ : ۱



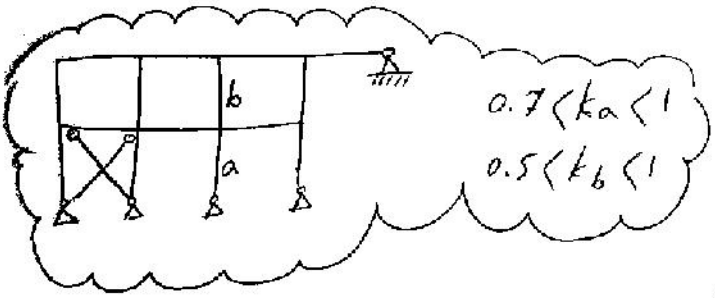
۳۸- دو ستون a و b دارای مشخصات هندسی مقطع یکسان می‌باشند. باربری کدام‌یک بیشتر است؟ (مشخصات هندسی قاب‌ها یکسان است). (نظام مهندسی)

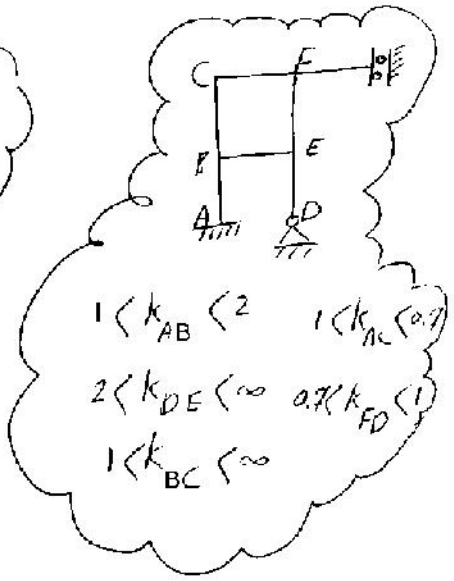
۱) ستون b
۲) ستون a
۳) هر دو مساوی هستند چون مشخصات هندسی مساوی دارند.
۴) هیچ‌کدام از جوابهای فوق

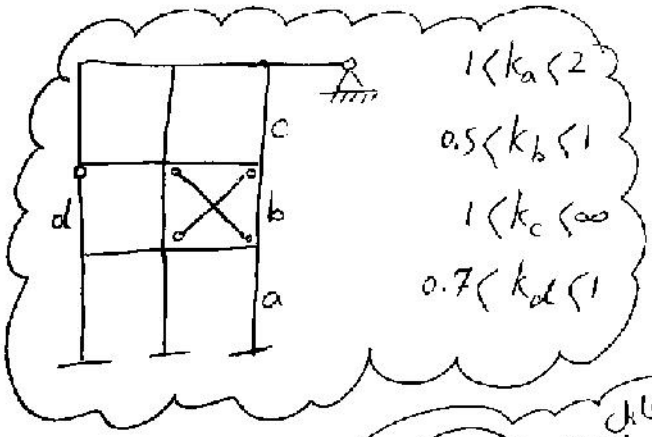


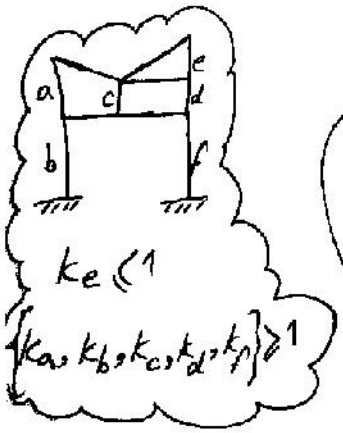
ستون a مهار شده است و $k_a < 1$
ستون b مهار شده است و $k_b < 1$
← ستون a ضعیف‌تر زودتر کمانش می‌کند

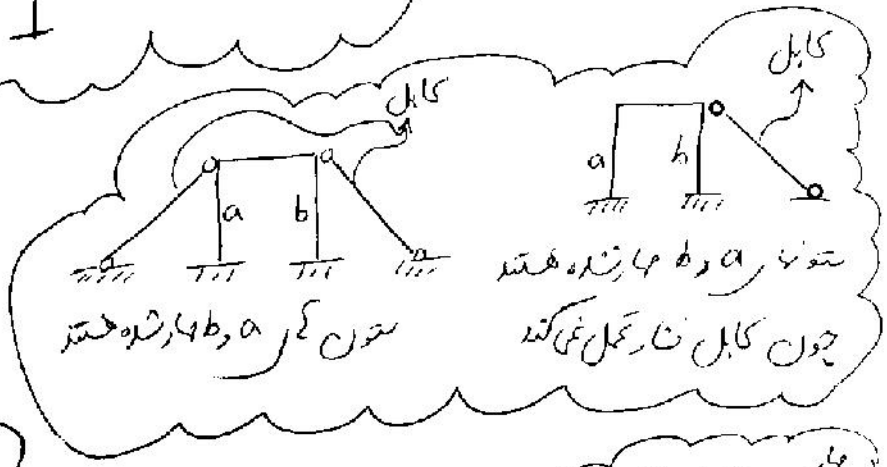
ضریب طول مؤثر ستون برای حالتهای مختلف (k)

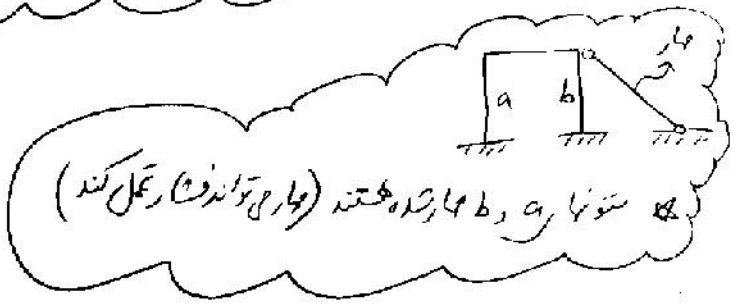


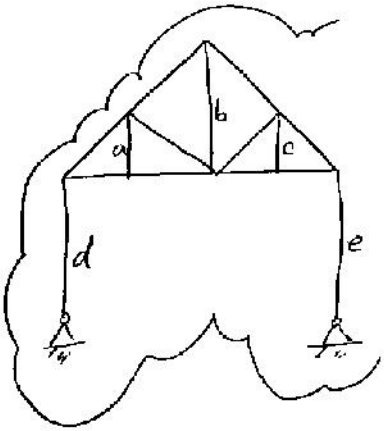












{ka kb kc} < 1

{kd ke} ≥ 1

۳۹- اگر نیروی محوری بحرانی (برای حالت کمانش) ستون دو سرگیردار P_1 و ستون دو سر مفصل P_2 و ستون یک سرگیردار- یک سر آزاد P_3 باشد (برای ابعاد و جنس یکسان فلزی) داریم: (نظام مهندسی)

۱) $P_1 < P_2 < P_3$

۲) $P_3 < P_1 < P_2$

۳) $P_3 < P_2 < P_1$

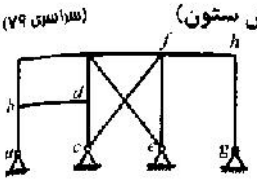
۴) $P_2 < P_1 < P_3$

$k=0.5 \rightarrow P_1 = \frac{\pi^2 EI}{(0.5L)^2} = 4P_{cr}$

$k=1 \rightarrow P_2 = \frac{\pi^2 EI}{(L)^2} = P_{cr}$

$k=2 \rightarrow P_3 = \frac{\pi^2 EI}{(2L)^2} = \frac{P_{cr}}{4}$

۳۴- در قاب شکل مقابل، کدام گزینه صحیح است؟ (K ضریب طول مؤثر کمانش ستون) (سراسری ۷۹)



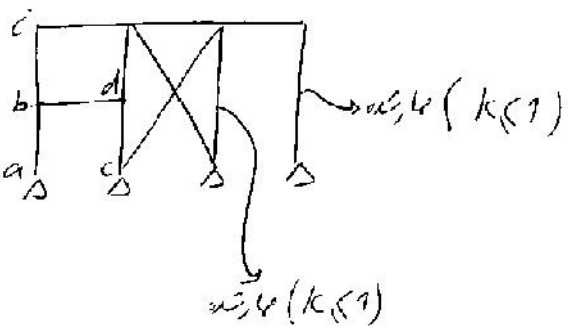
۱) $K_{gh} > 1$

۲) $K_{ef} > 1$

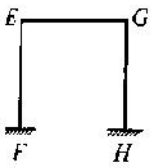
۳) $K_{cd} < 1$

۴) $K_{ab} > 1$

ستون ae مهارشده است ($k<1$)
دال ستون ab مهارشده است ($k \geq 1$)



۳۵- ضریب طول کمانش ستون EF چقدر است؟ (آزاد ۷۹)



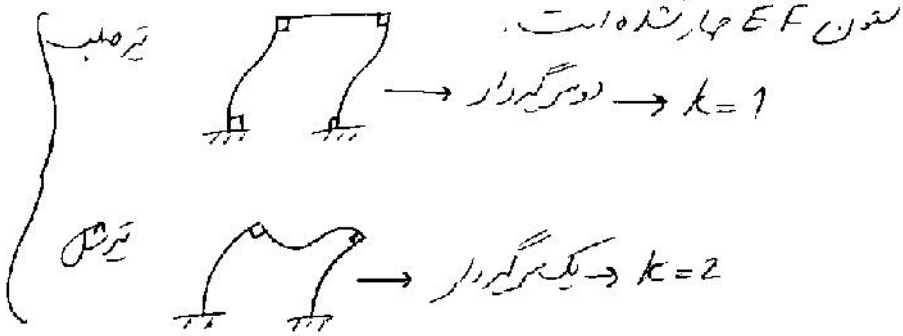
۱) $2 \leq K_{EF} \leq \infty$

۲) $0 < K_{EF} \leq 0.67$

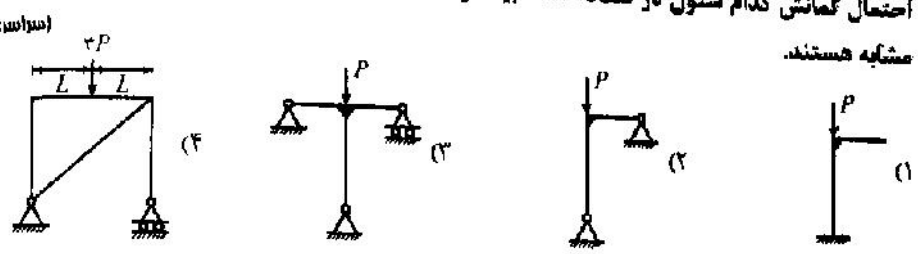
۳) $1 \leq K_{EF} \leq 2$

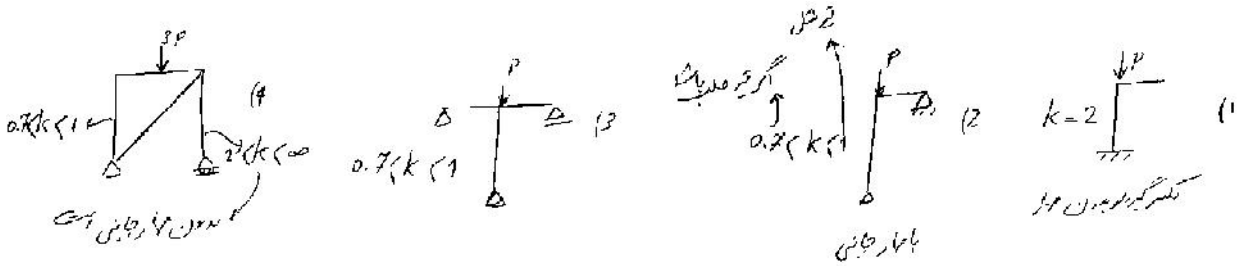
۴) $K_{EF} = 0.67$

ستون EF مهارشده است.

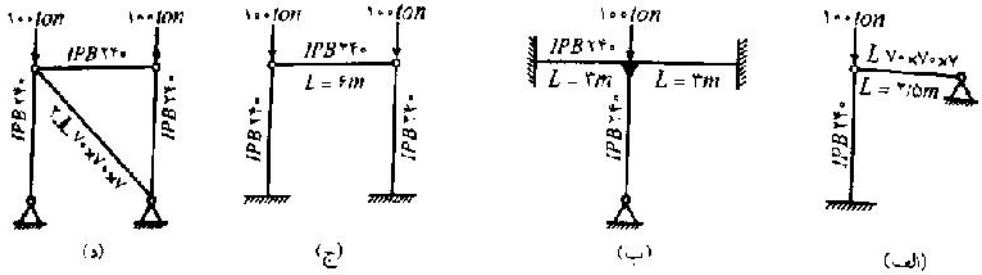


۳۶- احتمال کمانش کدام ستون در صفحهٔ کاغذ بیشتر است. تمام ستون‌ها دارای طول، مقطع و فولاد مشابه هستند. (سراسری ۷۸)





۲۰- **احتمال وقوع کمانش در کدام‌یک از ستون‌های شکل زیر در صفحهٔ کاغذ بیشتر است؟ طول تمام ستون‌ها برابر ۶ متر می‌باشد و مقطع آن‌ها نیز مشابه و از نیمرخ *IPB* ۲۴۰ است. عمود بر صفحه کاغذ تمام ستون‌ها در برابر کمانش نگهداری شده‌اند.** (سراسری ۸۶)



L ۷۰×۷۰×۷ ($A = ۹/۴\ cm^۲$, $r_x = ۲/۲۸\ cm$, $r_\eta = ۱/۳۷\ cm$)

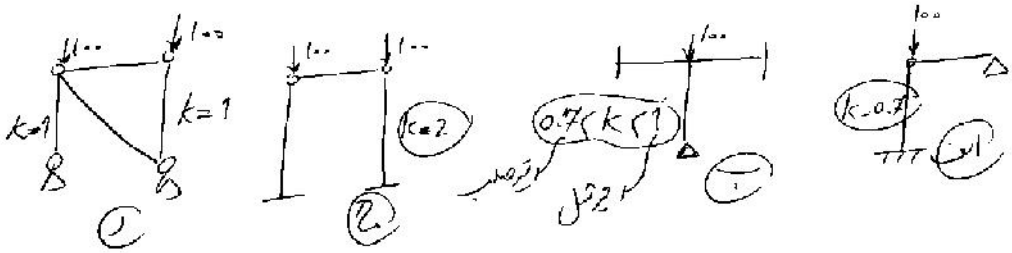
IPB ۲۴۰ ($A = ۱۰۶\ cm^۲$, $I_x = ۱۱۲۶۰\ cm^۴$, $r_x = ۱۰/۳\ cm$)

۱) به‌ترتیب موارد الف، ب، ج، د

۲) به‌ترتیب موارد ب، الف، د، ج

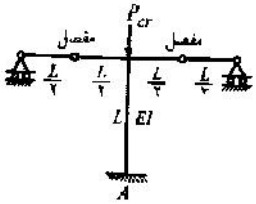
۳) به ترتیب موارد ج، د، ب، الف

۴) به ترتیب موارد د، ج، ب، الف



(ج > د > ب > الف)

۲۱- **در شکل زیر در صورتی که *EI* اعضاء افقی بی‌نهایت فرض شود، ضریب طول مؤثر تئوریک عضو قائم چقدر است؟** (سراسری ۸۱)

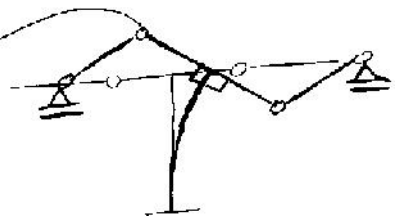


۱) $K = ۰/۷$

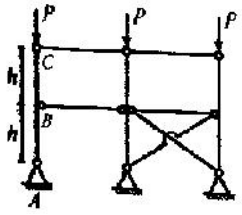
۲) $K = ۱$

۳) $K = ۱/۸$

۴) $K = ۲$



۵۹- در قاب الاستیک مطابق شکل، ستون‌ها یکسره بوده و تیرها با آنها اتصال مفصلی دارند. اتصال ستون به پی نیز مفصلی می‌باشد. برای بار کمانش ستون ABC در صفحهٔ قاب برحسب $P_E = \frac{\pi^2 EI}{h^2}$ می‌توان گفت:



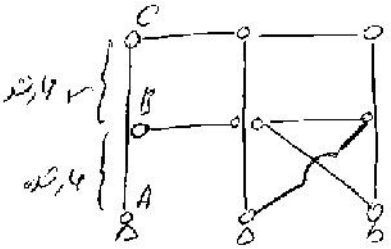
(آزاد ۸۰)

۱) $0.5P_E < P_{cr} < P_E$

۲) $P_{cr} = P_E$

۳) $0.25P_E < P_{cr} < 0.5P_E$

۴) $P_{cr} < 0.25P_E$



ستون CB ضعیف‌تر از AB است ← مهارشده / مهارنشده

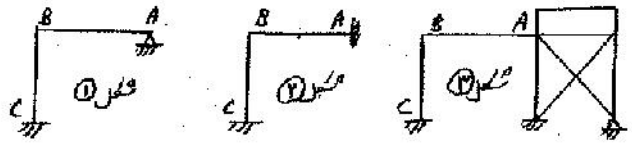
ستون BC: ← اگر ستون AB قوی باشد (صلب) ← $k = 2\frac{I_C}{I_B}$

اگر ستون AB ضعیف باشد (مفصل) ← $k = \infty \frac{I_C}{I_B}$

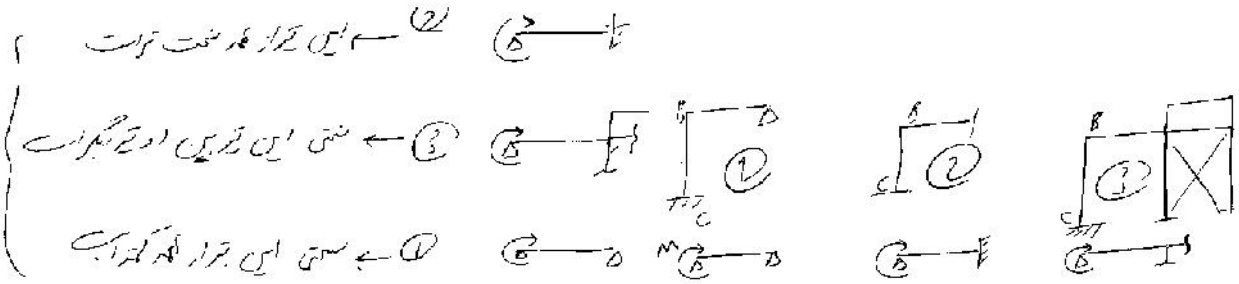
$$\frac{\pi^2 EI}{L^2} < P_{cr} < \frac{\pi^2 EI}{(2L)^2} \Rightarrow 0 < P_{cr} < \frac{P_E}{4}$$

۶۸- در سازه‌های شکل زیر چنانچه در هر سه شکل مشخصات تیر AB و ستون BC یکسان باشد، ضریب طولی مؤثر ستون BC در کدام شکل بیشتر خواهد بود؟

مراسوی ۸۹



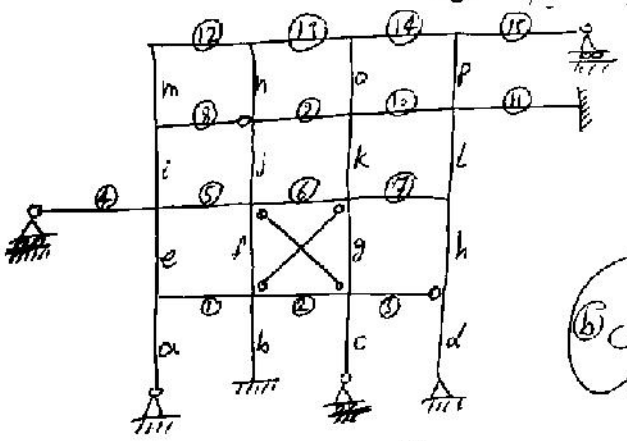
۱) $K_1 > K_2 > K_3$ ۲) $K_3 > K_2 > K_1$ ۳) $K_2 > K_3 > K_1$ ۴) $K_3 > K_1 > K_2$



$k_1 > k_3 > k_2$

هر سه ستون مهارشده هستند K ستون براساس مثلی که گفتیم تعیین میشود

ضریب اصلاح طول تیرها برای محاسبه ضریب ⑯



ستون a: مهار نشده
$2 < k < \infty$
$G_{top} = \frac{a+e}{①}$
$G_{bot} = 1.0$

ستون b: $1 < k < 2$
$G_{top} = \frac{f+b}{①+②}$ $G_{bot} = 1$

ستون c: $2 < k < \infty$, $G_{top} = \frac{c+g}{②+0.5\times⑤}$

ستون d: $2 < k < \infty$
$G_{top} = 1.0$
$G_{bot} = 1.0$

ستون e: $0.5 < k < 1$, $G_{top} = \frac{e+i}{1.5\times④+⑤}$, $G_{bot} = \frac{a+e}{①}$

ستون f: $0.5 < k < 1$, $G_{top} = \frac{f+j}{⑤+⑥}$, $G_{bot} = \frac{f+b}{①+②}$

ستون i: $1 < k < \infty$, $G_{top} = \frac{i+m}{0.5\times⑧}$, $G_{bot} = \frac{i+e}{0.5\times④+⑤}$

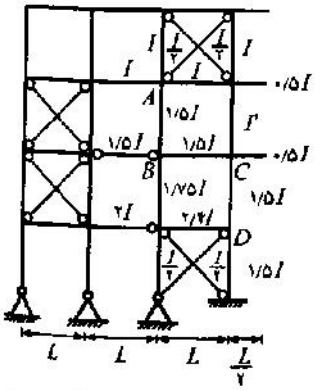
ستون j: $1 < k < \infty$
$G_{top} = \frac{n+j}{⑨}$
$G_{bot} = \frac{j+f}{⑤+⑥}$

ستون L: $1 < k < \infty$, $G_{top} = \frac{P+L}{⑩+\frac{2}{3}\times⑪}$, $G_{bot} = \frac{L+h}{⑦}$

ستون m: $1 < k < \infty$, $G_{top} = \frac{m}{⑫}$, $G_{bot} = \frac{m+i}{0.5\times⑧}$

ستون P: $1 < k < \infty$, $G_{top} = \frac{P}{⑭+0.5\times⑮}$, $G_{bot} = \frac{P+L}{⑩+\frac{2}{3}\times⑪}$

۴۷- مطلوب است تعیین مقدار I' به‌طوری که ضریب طول مؤثر اعضای AB و CD یکسان باشد. (سراسری ۷۷)



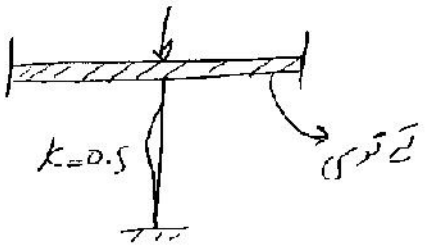
۱) $I' = 1.2I$

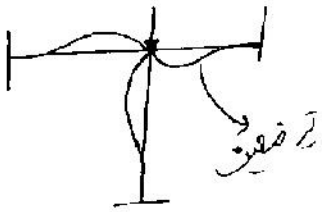
۲) $I' = 1.3125I$

۳) $I' = 1.75I$

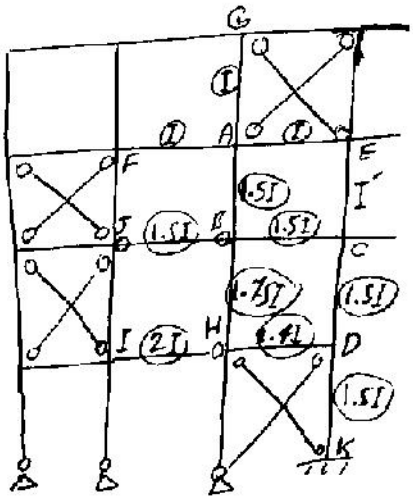
۴) مقدار I' قابل محاسبه نمی‌باشد.

هرچه سختی تیرکی متصل به ستون نسبت به ستون بیشتر باشد، تیرکی بهتر می‌تواند به ستون کمک کند و لاستون کاهش می‌یابد





$$G = \frac{\sum (EI/L)_{\text{ستون}}}{\sum (EI/L)_{\text{تیر}}}$$



$$G_A = \frac{I + 1.5I}{I + I} = 1.25$$

(AG: I، AB: $1.5I$، AF: I، AE: I)

$$G_B = \frac{1.5I + 1.75I}{1.5I + 1.5I \times 0} = \frac{3.25}{1.5}$$

(AB: $1.5I$، BH: $1.75I$، BC: $1.5I$، BJ: $1.5I \times 0$)

ستون AB

$$\Rightarrow I' = 1.75I$$

$$G_C = \frac{1.5I + I'}{1.5I}$$

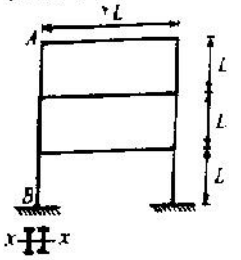
(CD: I'، BC: $1.5I$)

$$G_D = \frac{1.5I + \frac{DC}{1.5I}}{2.4I} = 1.25$$

(DK: $1.5I$، DC: $1.5I$، DH: $2.4I$)

ستون CD

۲۹- برای ستون AB از سازهٔ شکل مقابل که تکیه‌گاه‌های جانبی آن فقط در نقاط A و B (عمود بر صفحه) قرار دارد، در صورتی که نسبت ضریب طول مؤثر در دو جهت برابر $K_y = ۳K_x$ باشد. کدام‌یک از نسبت‌های شعاع زیراسیون برای مقطع داده شده مناسب‌تر است؟ (صراحی ۷۹)



۱) $r_x = r_y$

۲) $r_x = ۳r_y$

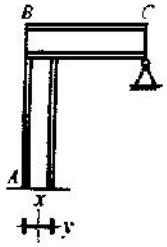
۳) $۳r_x = r_y$

۴) $۹r_x = r_y$

جهت بهینه شدن ستون باید $\lambda_x = \lambda_y$ شود

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_x = \left(\frac{kL}{r}\right)_y \rightarrow \frac{k_x L}{r_x} = \frac{(۳k_x)L}{r_y} \rightarrow \boxed{r_y = ۳r_x}$$

۳۰- قطعات قاب ABC از یک نیمرخ بال پهن تشکیل شده‌اند. وضع تکیه‌گاه‌ها در صفحهٔ قاب مطابق شکل زیر بوده و در نقاط A و C دارای تکیه‌گاه جانبی است که از حرکت قاب در امتداد عمود برصفحهٔ قاب در این نقاط جلوگیری می‌نمایند. ضریب کمانش ستون AB در دو امتداد به ترتیب زیر است: (صراحی ۷۲)

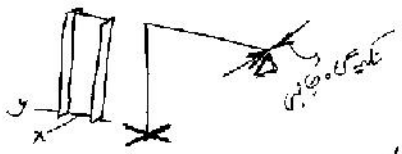


۱) $K_y < ۱ , K_x < ۱$

۲) $K_y > ۱ , K_x < ۱$

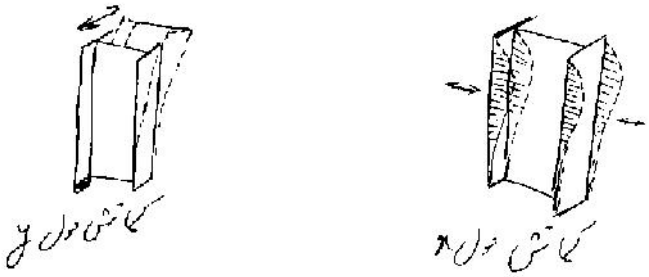
۳) $K_y > ۱ , K_x > ۱$

۴) $K_y < ۱ , K_x > ۱$



برای کمانش حول y ستون مهار نشده است $\Rightarrow k_y > ۱$

برای کمانش حول x ستون مهار شده است $\Rightarrow k_x < ۱$



۳۴- در قاب‌های خمشی بدون بادبند، با کاهش صلبیت تیرها، ضریب طول مؤثر قطعات فشاری، (آزاد ۸۱)

۱) کاهش می‌یابد.

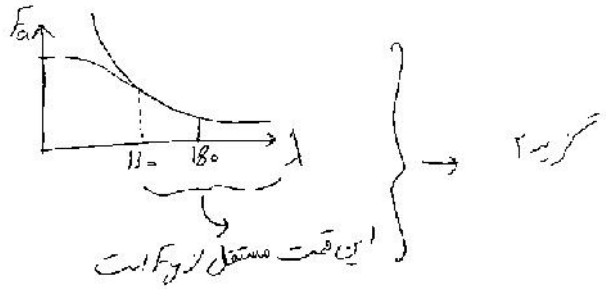
۲) تغییر نمی‌کند.

۳) افزایش می‌یابد.

۴) به سمت ۱/۵ میل می‌کند.

۴۲- لاغری یک ستون با حد تسلیم $F_y = ۲۴۰۰ \, kg/cm^۲$ برابر $\lambda = ۱۸۰$ و بار مجاز آن ۱۰۰ تن می‌باشد. اگر به جای استفاده از فولاد نرمه فوق‌الذکر از فولادی که دارای حد تسلیم $F_y = ۳۶۰۰ \, kg/cm^۲$ است استفاده گردد، بار مجاز ستون به چند تن خواهد رسید؟ (صراحی ۸۱)

۱) ۶۶/۶ ۲) ۱۰۰ ۳) ۱۲۰ ۴) ۱۵۰



۴۸- اگر ستون شمارهٔ ۱ از فولاد $ST-37$ $(F_y = 2400\ kg/cm^2)$ و ستون شمارهٔ ۲ از فولاد $ST-52$ $(F_y = 3600\ kg/cm^2)$ ساخته شده باشند، تحت شرایط کمانش ارتجاعی مقدار تنش فشاری مجاز (F_a) آن دو چه رابطه‌ای با یکدیگر دارند؟ (F_y تنش تسلیم فولاد است.) (سراسری ۷۷)

۱) $F_{a2} = F_{a1}$ ۲) $F_{a2} = 1/5\, F_{a1}$ ۳) $F_{a2} = 2\, F_{a1}$ ۴) $F_{a2} = 0/66\, F_{a1}$

۴۹- اگر ضریب اطمینان طراحی ستون‌های لاغر را ۲/۵ در نظر گرفته، حد تناسب (رفتار خطی) را برابر $0/6F_y$ فرض کنیم، کدام‌یک از روابط طراحی زیر برای فولاد نرمه ساختمانی با $F_y = 2400$ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و $E = 2/1\times10^6$ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع صحیح می‌باشد؟ (مدول ارتجاعی فولاد F_a تنش فشاری مجاز بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد). (سراسری ۷۷)

۱) برای $\frac{KL}{r} \geq 120$ ، $F_a = \frac{10/4\times10^6}{(KL/r)^2}$ ۲) برای $\frac{KL}{r} \geq 120$ ، $F_a = \frac{8/3\times10^6}{(KL/r)^2}$

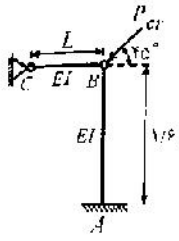
۳) برای $\frac{KL}{r} \geq 110$ ، $F_a = \frac{8/3\times10^6}{(KL/r)^2}$ ۴) برای $\frac{KL}{r} \geq 131$ ، $F_a = \frac{10/8\times10^7}{(KL/r)^2}$

$$0.6F_y = \frac{\pi^2 E}{\lambda_c^2} \rightarrow \lambda_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6\times 2400}} = 120$$

$$F_a = \frac{1}{2.5}\times\frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{5147^2\times 2.1\times10^6}{2.5\times\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{8.29\times10^6}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

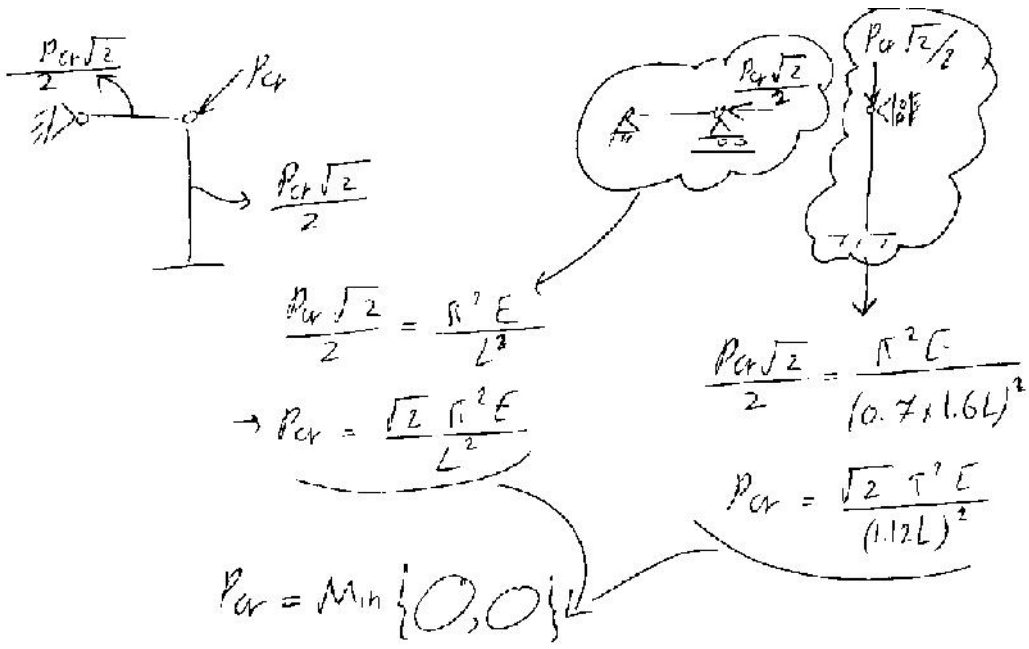
گزینه ۲:

۵۱- چنانچه رفتار سازه شکل مقابل الاستیک فرض شود و EI هر دو عضو یکسان باشد، بار بحرانی عبارت است از: (سراسری ۷۶)

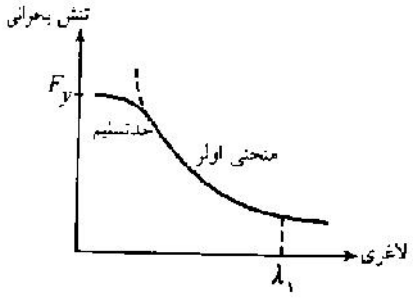


۱) $P_{cr} = \frac{\sqrt{2}\pi^2\cdot EI}{(1/12L)^2}$ ۲) $P_{cr} = \frac{\sqrt{2}\pi^2\cdot EI}{(1/6L)^2}$

۳) $P_{cr} = \frac{\sqrt{2}\pi^2\cdot EI}{L^2}$ ۴) $P_{cr} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2}\pi^2\cdot EI}{1/12L^2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}\pi^2\cdot EI}{L^2}\right)^2}$



۵۲- با توجه به شکل زیر که درمورد یک ستون با بار محوری رسم شده است: (سراسری ۷۶)



۱) تنش مجاز ستون در لاغری نظیر λ_1 تنها تابع تنش تسلیم فولاد است.

۲) تنش مجاز ستون در لاغری نظیر λ_1 تنها تابع تنش تسلیم فولاد و مدول الاستیسیتهٔ فولاد است.

۳) تنش مجاز ستون در لاغری نظیر λ_1 تنها تابع مدول الاستیسیتهٔ فولاد است.

۴) تنش مجاز ستون در لاغری نظیر λ_1 تنها تابع مدول الاستیسیتهٔ مماسی فولاد است.

۵۸- ضریب لاغری هر دو ستون a و b برابر ۱۸۰ می‌باشد، تنش حد جاری‌شدن فولاد ستون‌های a و b به‌ترتیب برابر ۲۴۰۰ و ۳۶۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است. نسبت تنش فشاری مجاز ستون a به ستون b برابر است با: (آزاد ۸۰)

۱) $\frac{۲}{۳}$ ۲) ۱ ۳) $\frac{\sqrt{۲}}{۳}$ ۴) $\frac{۴}{۹}$

۵۳- فرمول اولر برای محاسبهٔ بار بحرانی ستون‌ها در محدودهٔ الاستیک به‌صورت $P=\frac{\pi^۲EI}{(KL)^۲}$ است،

چنانچه ستون دارای رفتار غیرالاستیک باشد: (سراسری ۷۰)

۱) از فرمول فوق می‌توان بار بحرانی را به دست آورد.

۲) اصولاً چنین حالتی برای ستون‌ها پیش نمی‌آید.

۳) از فرمول اولر نمی‌توان استفاده کرد.

۴) از فرمول اولر با تغییراتی می‌توان بار بحرانی ستون را به دست آورد.

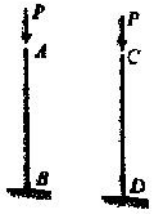
۵۵- برای عضو فشاری با ضریب لاغری بیشتر از C_c، تنش مجاز متناسب با کاهش ..... کاهش می‌یابد.
r = شعاع ژیراسیون، F_y = تنش حد جاری‌شدن فولاد
(آزاد ۸۹)

۱) $r^2 F_y$ ۲) $r F_y$ ۳) r^2 ۴) r

لاغری بیشتر از C_c است بنابراین تنش کار برابر است با:

$F_a = \frac{12}{23}\frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{12}{23}\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{12}{23}\frac{\pi^2 E}{(KL)^2} r^2$ → با کاهش r^2، کاهش می‌یابد

۶۰- ستون‌های AB و CD دارای مقطع، ارتفاع و شرایط تکیه‌گاهی یکسان می‌باشند. ستون AB از فولاد با $F_y = 2400\ kg/cm^2$ و ستون DC از فولاد با $F_y = 3600\ kg/cm^2$ می‌باشند. کدام‌یک از پاسخ‌های زیر صحیح است؟
(آزاد ۷۹)

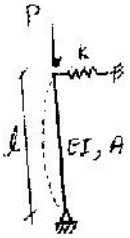


۱) ستون‌ها دارای ظرفیت باربری یکسان هستند.
۲) ستون CD دارای ظرفیت باربری بیشتر است.
۳) برحسب ضریب لاغری هر یک از موارد (۱) و (۲) امکان‌پذیر است.
۴) برحسب ضریب لاغری و مدول الاستیسیتهٔ فولاد هریک از موارد (۱) و (۲) امکان‌پذیر است.

۶۱- اعضای فشاری با لاغری متوسط چگونه خراب می‌شوند؟
(آزاد ۷۸)

۱) به واسطهٔ کمانش الاستیک
۲) به واسطهٔ جاری‌شدن
۳) به واسطهٔ کمانش بعد از جاری‌شدن نقاطی از مقطع
۴) به واسطهٔ تسلیم

۱۲۴- در ستون نشان داده شده حداقل سختی میلرجانبی برای آنکه کمانش ستون به صورت دو سر مفصل انجام شود کدام است؟



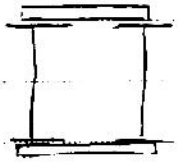
۱) $k \geq \frac{\pi^2 EI}{4\ell^2}$ ۲) $k \geq \frac{4\pi^2 EI}{\ell^2}$ ۳) $k \geq \frac{\pi^2 EI}{\ell^2}$ ۴) $k > \frac{\pi^2 EI}{4\ell^2}$

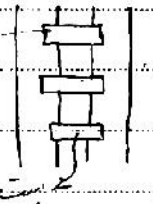
نکته

For $\lambda > C_c$:
- $E\uparrow \rightarrow F_a\uparrow$
- $L\uparrow \rightarrow F_a\downarrow$
- $\lambda\uparrow \rightarrow F_a\downarrow$
- $F_y\uparrow \rightarrow F_a$ تغییر نکند

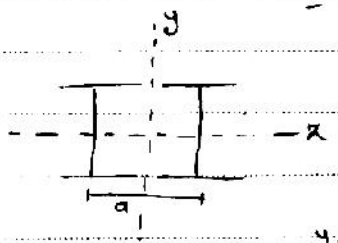
For $\lambda < C_c$:
- $\lambda\uparrow \rightarrow S.F\uparrow$
- $\lambda\uparrow \rightarrow F_a\downarrow$
- $f_y\uparrow \rightarrow F_a\uparrow$

ستونهای مرکب : علت استفاده : برای افزایش I_y ستونهای I شکل را با فاصله از هم قرار می دهند برای اتصال از بست استفاده می کنند .





در کنش نامه جزء از ستونهای مرکب زمانی می توان استفاده کرد که عضو تحت فشار خالص و یا فشار + خمش حول محور با متعالج (محور x) قرار گیرد .

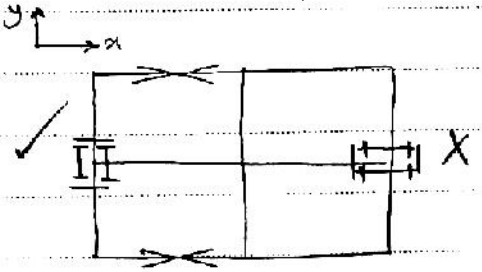


حول محور x با متعالی است
" y بدون " "

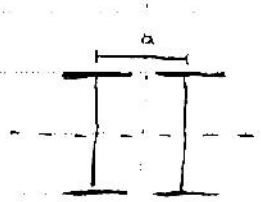
M_x می توان داشت
M_y نمی توان داشت

نکته : هرچه فاصله a بیشتر شود I_y بهتر خواهد شد .

در مقدار مشخص از a ، $I_x = I_y$ می شود



سوال : اگر $I_x = I_y$ باشد کمانش حول کدام محور رخ می دهد ؟



$I_x = 2I'_x$

$I_y = 2I'_y + 2A'(\frac{a}{2})^2$ ← با فرض صلب بودن بست ها است اگر بست ها کاملا شل و ضعیف باشند $I_y = 2I'_y$ خواهد شد .

$2I'_y < I_y$ حقیقی $< (2I'_y + 2A'(\frac{a}{2})^2)$

جواب سوال : حول محور y کمانش می کند چون $I_y < I_x$ حقیقی است .

نحوه تعیین لاغری موثر حول محور y :

لاغری حول محور y

$$\lambda_y = \frac{k_y L}{r_y} = \frac{k_y L}{\sqrt{\frac{2I'_y + 2A'(\frac{a}{2})^2}{2A}}}$$

لاغری تک پروفیل بین بست‌ها

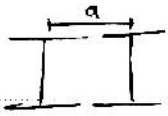
$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_1} = \frac{\text{فاصله مرکز تا مرکز بست‌ها}}{\sqrt{\frac{I'_y}{A'}}}$$

$$\Rightarrow \lambda_{ye} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$$

لاغری موثر ستون حول محور ضعیف

با افزایش فاصله بست‌ها L_1 ↑ $\Leftrightarrow$ λ_{ye} ↑ ، λ_y ≠ ، k_y ≠ ضریب طول موثر

با افزایش طول a $\Leftrightarrow$ λ_{ye} ↓ ، λ_y ↓ ، k_y ≠



جهت یافتن بار مجاز طراحی $F_a \leftarrow \lambda = \max\{\lambda_x, \lambda_{ye}\}$

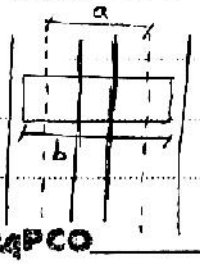
✓ برای بست‌ها می‌توان از تسمه، ناودانی و یا نبشی استفاده کرد.

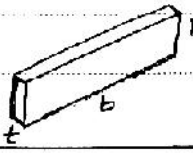
$$\frac{L_1}{r_1} < \left\{ \frac{3}{4}\lambda_y \ , \ 40 \right\}$$

طراحی بست :

✓ ضخامت بست (t) $\quad t \geq \frac{a}{40}$

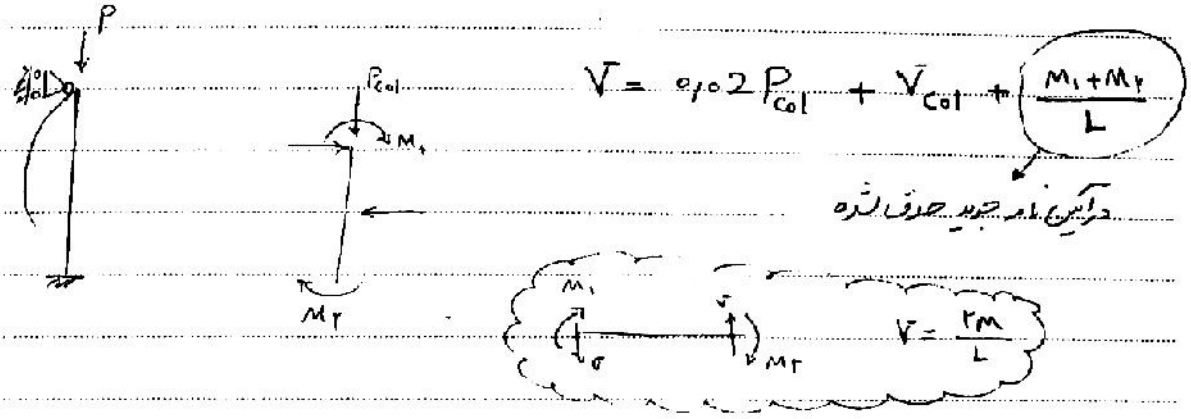
✓ پهنای بست (h) $\quad h \geq \frac{b}{2}$



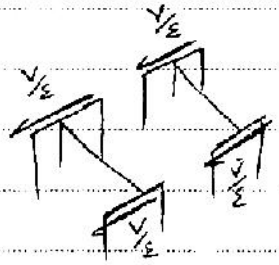


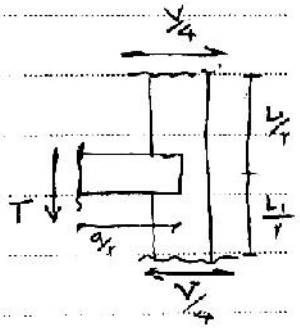
PaPCO

✓ بست باید بتواند خشش برشی را به شرح زیر تحمل کند:



این برش V توسط ۴ بال تحمل می شود.

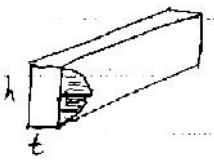




$T = \frac{\frac{V}{4} \times L_1}{a/2} = \frac{VL_1}{2a}$ نیروی برشی بست

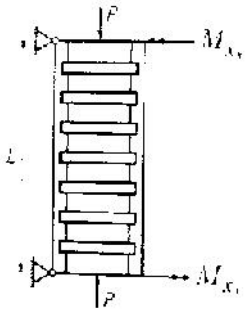
$M = T \times \frac{a}{2} = \frac{VL_1}{4}$ بست

$\frac{6M}{th^2} < 0.6F_y \longrightarrow \frac{6\left(\frac{VL_1}{4}\right)}{th^2} < 0.6F_y$



$\frac{1.5T}{ht} < 0.4F_y$

در طرح ستون‌های مرکب (مشبک) با قیدهای افقی که مطابق شکل بارگذاری شده‌اند و برای ساختمان به کار می‌روند، مقدار نیروی برشی در طول ستون از کدام گزینه به‌دست می‌آید؟ (سراسری ۷۵)



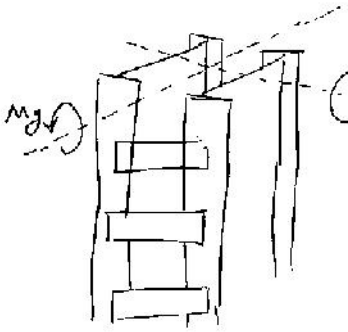
۱) $V = 0.02P$

۲) $V = 0.02P + \frac{M_{x_1} - M_{x_2}}{L}$

۳) $V = 0.02P + \frac{M_{x_1} - M_{x_2}}{2}$

۴) $V = 0.02P - \frac{M_{x_1} - M_{x_2}}{L}$

نکته: لنگری که موجب تغییر شکل و بیت کشور در مباحث بیت در نظر گرفته می‌شود



M_y را در نظر می‌گیریم (حول محور x را در طراحی بیت در نظر می‌گیریم)

گزینه ۱ صحیح است

ستونی دو سر مفصل به طول ۴ متر از دو نیمرخ I شکل تشکیل شده است و در آن از بست‌های افقی استفاده گردیده است. طبق ضوابط خاصی ضریب لاغری هر جزء ستون مابین بست‌ها نباید بیشتر از $\frac{2}{3}$ ضریب لاغری کل ستون باشد. در عین حال ضریب لاغری هر جزء ستون مابین بست‌ها نباید از ۴۰ نیز بیشتر شود. بر این اساس حداکثر فاصلهٔ S چقدر می‌تواند باشد؟ (مراسوی ۷۸)

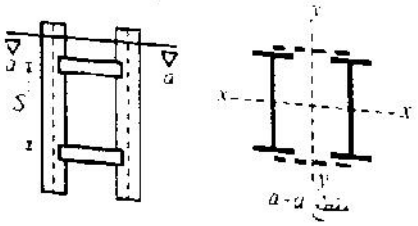
مشخصات هندسی نیمرخ دوبل:

$A = ۶۰\ cm^۲ ,\ I_x = ۴۰۰۰\ cm^۴ ,\ I_y = ۴۰۰۰\ cm^۴$

$A' = ۳۰\ cm^۲ ,\ I_{x'} = ۲۰۰۰\ cm^۴ ,\ I_{y'} = ۲۰۰\ cm^۴$

$r'_x = ۸/۲\ cm ,\ r'_y = ۲/۶\ cm$

مشخصات هندسی یک نیمرخ:



۱) ۴۲ cm

۲) ۸۴ cm

۳) ۱۰۳ cm

۴) ۱۲۶ cm

$\frac{L_1}{r_1} < \frac{2}{3}\left(\frac{L}{r}\right)$ ← کل ستون

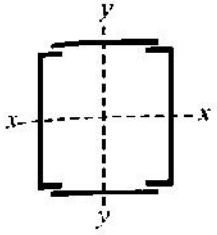
$\frac{S}{2.6} < \frac{2}{3} \times \frac{400}{\sqrt{\frac{4000}{60}}}$ ← r_y مقطع کل ستون ← طول ستون ← I کل ستون

$\rightarrow S < 84.9\ cm$

$\frac{S}{2.6} < 40 \rightarrow S < 104\ cm$

گزینه ۲ صحیح است

۶۸- در یک ستون با مقطع مرکب که از دو پروفیل ناودانی ساخته شده و در آن از بست‌های افقی استفاده شده و فقط نیروی محوری را تحمل می‌کند، اگر $\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \left(\frac{KL}{r}\right)_x$ باشد، مقدار بار ماکزیممی که ستون می‌تواند تحمل کند چگونه محاسبه خواهد شد؟ (مراسوی ۷۴ و نظام مهندسی)



۱) از محاسبه حول محور yها

۲) از محاسبه حول محور xها

۳) باربری ستون در دو جهت برابر است.

۴) بار محاسبه شده حول محور y را باید ۲٪ افزایش داد.

۶۹- ستونی از $2INP$ با فاصلهٔ مرکز تا مرکز a تشکیل شده است. اگر ستون تحت نیروی محوری و M_x قرار گیرد (خمش حول محور x)، مناسب‌ترین فاصلهٔ a چگونه محاسبه می‌شود؟ (معماری ۷۴ و نظام مهندس)

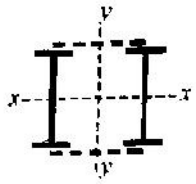
۱) ضریب لاغری مؤثر ستون حول دو محور یکسان باشد.

۲) شعاع ژیراسیون حول دو محور یکسان باشد.

۳) طول مؤثر $(\frac{KL}{r})$ ستون نسبت به دو محور یکسان باشد.

۴) هرچه a بیشتر انتخاب شود بهتر است.

۷۳- ستون مرکب حاصل از دو تیرآهن IPE ۲۰۰ که فاصلهٔ محور آنها $200\ mm$ است را در نظر بگیرید. اگر ورق‌های بست دارای فاصله محور تا محور $500\ mm$ و ابعاد هر ورق برابر $240\times100\times10$ باشد، بر اثر بار محوری ۳۰ تن برای ستون، ورق بست برای چه تنش خمشی باید جوابگو باشد؟ (آزاد ۸۰)



۱) $900\ kg/cm^2$

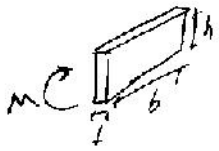
۲) $1400\ kg/cm^2$

۳) $450\ kg/cm^2$

۴) $1800\ kg/cm^2$

$V = 0.02\times P = 0.02\times 30000 = 600kg \Rightarrow$ بست $M = \frac{Vl_1}{4} = \frac{600\times 50}{4} = 7500\ kg.cm$

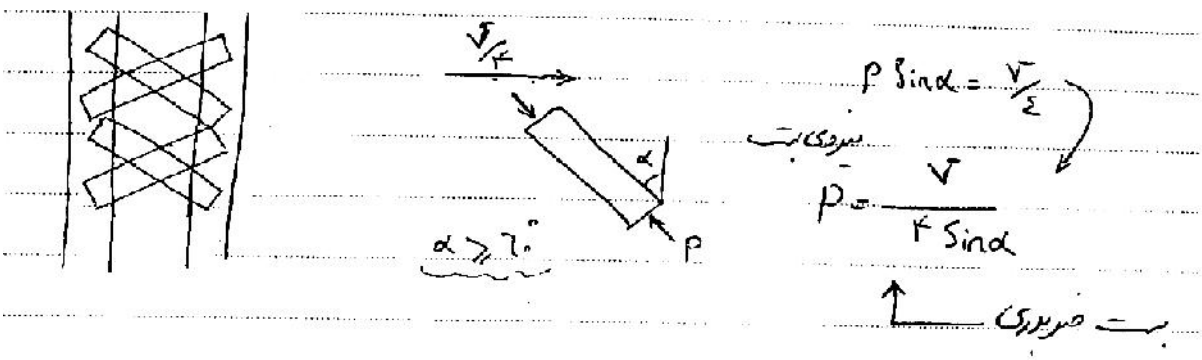
$\sigma = \frac{6M}{bt^2} = \frac{6\times 7500}{10\times 1^2} = 4500\ kg/cm^2$

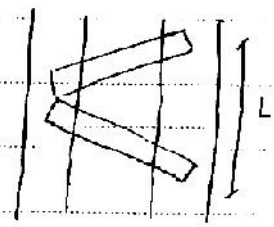


۷۴- بست‌های موازی در ستون‌های دوبل براساس ..... طراحی می‌شوند. (آزاد ۷۸)

۱) خمش ۲) برش ۳) کشش و خمش ۴) ترکیب برش و خمش

نکته: در ستونهای با بست های مورب، بست ها براساس نیروی برشی طراحی می شوند.





بست مورب تکی ⟵ $P = \frac{V}{2\sin\alpha}$

$$\frac{L_1}{r_1} < \frac{3}{4}\lambda_{\text{کل ستون}}$$

$$\lambda_{\text{کل ستون}} = \max(\lambda_y, \lambda_x)$$

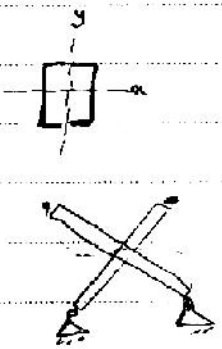
نکته: $\frac{L}{r} <$ { تک ۱۴۰ ، ضروری ۲۰۰ }

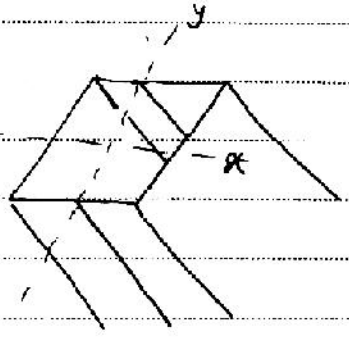
ضریب طول مؤثر ↑

$\lambda = \frac{kL}{r}$ = { بست ضروری $0.7\frac{L}{r}$ ، بست تکی $1\times\frac{L}{r}$ }

تقاطع نوارها یا بست که توصیه میشود برابر $0.3t$ میباشد.

نکته: در بادبندها، چگونه λ_x و λ_y را حساب کنیم.





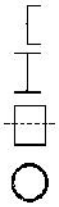
اگر بادبند در صفحه خود کمانش کند ⟵ $\lambda_x = \frac{0.8\,KL}{\sqrt{\frac{I_x}{A}}}$

اگر بادبند در جهت عمود بر صفحه کمانش کند ⟵ $\lambda_y = \frac{0.7\,L}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}}$

■ *Compact* $\frac{b_f}{2t_f} < \frac{545}{\sqrt{F_y}}$, $\frac{d}{t_w} < \frac{5365}{\sqrt{F_y}}$

■ *Laterally supported* $L_b < \left(\frac{635b_f}{\sqrt{F_y}} , \frac{14\times10^5}{\left(\frac{d}{A_f}\right)F_y}\right)$

■ flanges are continuously connected to the webs

$\Rightarrow$  : $F_b = 0.66F_y$, : $F_b = 0.75F_y$

■ *Noncompact* $\left(\frac{545}{\sqrt{F_y}} < \frac{b_f}{2t_f} < \frac{795}{\sqrt{F_y}}\right), \left(\frac{5365}{\sqrt{F_y}} < \frac{d}{t_w} < \frac{6370}{\sqrt{F_y}}\right)$

■ *Laterally supported* $L_b < \left(\frac{635b_f}{\sqrt{F_y}} , \frac{14\times10^5}{\left(\frac{d}{A_f}\right)F_y}\right)$

$\Rightarrow F_b = 0.6F_y$

■ flanges need not to be continuously connected to the webs

■ *Compact or non compact* $\frac{b_f}{2t_f} < \frac{795}{\sqrt{F_y}}$, $\frac{d}{t_w} < \frac{6370}{\sqrt{F_y}}$

■ *Laterally Unsupported* $L_b < \left(\frac{635b_f}{\sqrt{F_y}} , \frac{14\times10^5}{\left(\frac{d}{A_f}\right)F_y}\right)$

■ *flanges need not to be continuously connected*

$$\begin{cases} if\ \sqrt{\frac{72\times10^5\times C_b}{F_y}} \le \frac{L_b}{r_T} < \sqrt{\frac{360\times10^5\times C_b}{F_y}} \rightarrow F_b = Min\left(Max\left[\left(\frac{2}{3} - \frac{F_y\left(\frac{L_b}{r_T}\right)^2}{1075\times10^5\times C_b}\right)F_y, \frac{84\times10^4\times C_b}{\frac{L_b\times d}{A_f}}\right], 0.6F_y\right) \\ if\ \frac{L_b}{r_T} > \sqrt{\frac{360\times10^5\times C_b}{F_y}} \rightarrow F_b = Min\left(Max\left[\frac{120\times10^5\times C_b}{\left(\frac{L_b}{r_T}\right)^2}, \frac{84\times10^4\times C_b}{\frac{L_b\times d}{A_f}}\right], 0.6F_y\right) \end{cases}$$

A_f: *Area of the compression flange*

L_b: *Unsupported length of compression flange*

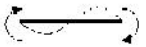
r_T: *Radious of gyration of a section consisting of the compression flange* $+\frac{1}{3}$ *of the compresion web taken about the plane of the web*

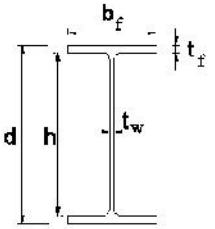
$C_b = Min\left\{1.75 + 1.05\times\frac{M_1}{M_2} + 0.3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 , 2.3\right\}$

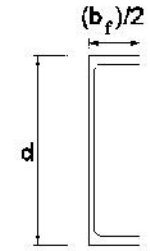
$\begin{cases} For\ cantiliver\ beams: C_b = 1 \\ if\ M_{max}\ is\ not\ at\ the\ ends: C_b = 1 \end{cases}$

M_1 *is the smaler and* M_2 *is the larger bending moment at the ends of the unbraced length*

for single curvature : $\frac{M_1}{M_2} < 0$

for reverse curvature  : $\frac{M_1}{M_2} > 0$

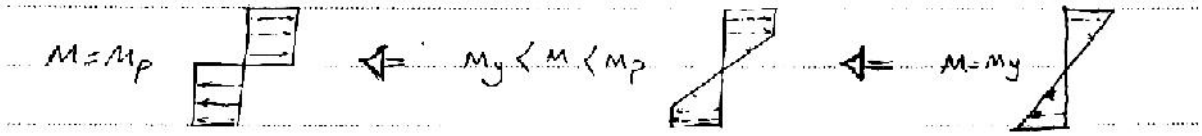




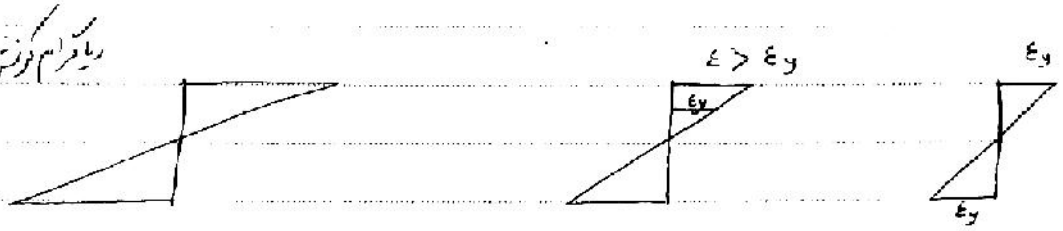
٤-١- ضریب شکل

مفهوم ضریب شکل :

دیاگرام تنش

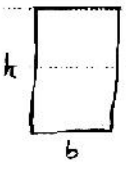


دیاگرام کرنش



بنابراین هرچه مقاومت خمشی مقطع (Mp) بیشتر از My باشد بهتر است و نسبت $\frac{Mp}{My}$ را ضریب شکل می نامیم .

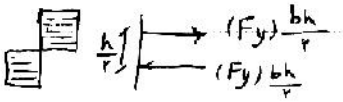
$S.F = \frac{Mp}{My}$ ← $Mp = (F_y \cdot \frac{bh}{2}) \cdot \frac{h}{2}$



$My = F_y \cdot \frac{\frac{bh^3}{12}}{\frac{h}{2}} = F_y \cdot \frac{bh^2}{6}$

$Mp = F_y \cdot \frac{bh^2}{4}$

$\Rightarrow S.F = \frac{\frac{bh^2}{4}}{\frac{bh^2}{6}} = 1.5$



S.F	۱٫۱۲	۱٫۱۲	۱٫۵	۱٫۳	۹٫۱۲
	I	□	▭	⬭	○
		توخالی			

۹۱- تعریف ضریب شکل (*shape factor*) در تیرهای خمشی چیست؟ (سراسری ۷۹)

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

۹۲- برای مقطع قوطی مربع‌شکل با ابعاد خارجی ۶۰×۶۰ سانتی‌متر و ضخامت ورق ۲ سانتی‌متر، مقدار اساس مقطع پلاستیک نسبت به محوری که از مرکزسطح گذشته و موازی دو ضلع آن باشد چقدر است؟ (بر حسب cm^3) (آزاد ۸۱)

۱) ۶۷۰۰ ۲) ۸۷۰۰ ۳) ۹۵۰۰ ۴) ۱۰۱۰۰

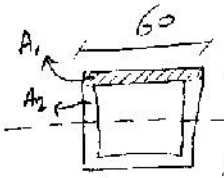
۲۴- نحوه محاسبه اساس مقطع پلاستیک (اساس الاستیک ← $S = \frac{I}{c}$)

ابتدا تار خنثی پلاستیک را می یابیم: این دو مساحت باید برابر باشند

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= \frac{x^2}{2} \\ A_2 &= \frac{a^2}{2} - \frac{x^2}{2} \end{aligned}\right\} \rightarrow A_1 = A_2 \rightarrow x = \frac{a\sqrt{2}}{2}$$

و رطالیکه می دانیم تار خنثی الاستیک در $x = \frac{2a}{3}$ قرار دارد.

سپس مجموع ضرب مساحت را نسبت به تار خنثی محاسبه می کنیم



$$Z = 2\left[A_1 \times 21 + 2 \times A_2 \times 14\right] = 10096 \simeq 10100$$

(60×2) (28×2)

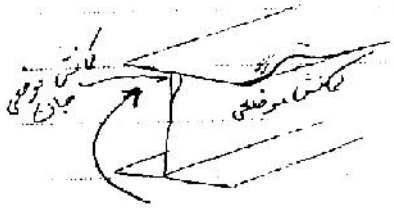
با نتایج پایین متفاوت است

٤-٢- کمانش موضعی

برای اینکه بتوان از M_p بجای M_y استفاده کرد باید شرایط زیر ارضا شود:

✓ مقطع فشرده باشد ← آلدنشده نباشد قسمتی از مقطع بصورت موضعی کمانش می کند.

✓ تیر دارای مهار جانبی یا فواصل کافی برای بال فشاری باشد.



مقطع غیرفشرده ← مقطعی که تا رسیدن به M_y کمانش موضعی نمی‌کند ولی قبل از رسیدن به M_p کمانش موضعی می‌کند.

$M_y < M < M_p \longrightarrow F_b = 0.7 F_y$

مقطع لاغر ← قبل از رسیدن به M_y ، کمانش موضعی خواهد داشت.
استفاده از اجزای لاغر مجاز نیست مگر برای جان تیرورق‌ها

نکته: در مقطع غیرفشرده نیازنیست که اتصال بال به جان پیوسته باشد.

۱- کنترل نسبت عرض به ضخامت بال و جان در تیرها و ستون‌های فولادی I شکل و محدود کردن این نسبت اساساً به منظور جلوگیری از: (سراسری ۷۷)

۱) به تسلیم رسیدن جان و بال است.
۲) سنگین شدن عضو است.
۳) شکست و فروریختن عضو است.
۴) کمانش موضعی جان و بال است.

۲- شرط آن‌که پروفیلی به عنوان تیر فشرده محسوب شود، علاوه بر اتصال سرتاسری جان به بال چیست؟ (سراسری ۷۴)

۱) نسبت عرض به ضخامت قسمت‌های مختلف آن از حد معینی تجاوز ننماید.
۲) نسبت عرض به ضخامت در عناصر فشاری آن از حد معینی تجاوز ننماید.
۳) نسبت طول دهانه تیر به عرض بال از حد معینی تجاوز ننماید.
۴) شرط دیگری وجود ندارد چون همه پروفیل‌های نوردشده از فولاد نرمه، فشرده محسوب می‌شوند.

۳- پروفیل‌های فشرده به پروفیل‌هایی گفته می‌شوند که دارای خاصیت زیر باشند: (سراسری ۷۶ و نظام مهندسی)

۱) نسبت عرض به ضخامت قسمت‌های مختلف آنها از حد معینی تجاوز نکند.
۲) همه پروفیل‌های فولادی نوردشده از فولاد نرمه پروفیل فشرده می‌باشند.
۳) پروفیل‌هایی هستند که به روش خاصی در کارخانجات نورد شده‌اند.
۴) هیچ‌کدام از گزینه‌ها کامل نیست.

۴- حداکثر مجاز نسبت پهنای آزاد به ضخامت در بال پروفیل یا مقطع فشرده متناسب است با: (آزاد ۸۶)

۱) تنش حد جاری‌شدن فولاد مصرفی
۲) جذر تنش حد جاری‌شدن فولاد مصرفی
۳) عکس جذر تنش حد جاری‌شدن فولاد مصرفی
۴) عکس تنش حد جاری‌شدن فولاد مصرفی

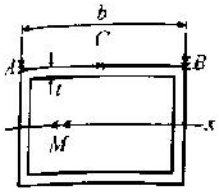
۷- معیار کنترل پدیدهٔ کمانش موضعی در آیین‌نامهٔ فولاد ایران کدام است؟ (آزاد ۸۳)

۱) مقدار $L_c = \frac{۶۳۵ b_f}{\sqrt{F_y}}$
۲) فرمول اولر
۳) نسبت عرض به ضخامت
۴) طول مهاری بال فشاری

۸- حداکثر مجاز نسبت پهنای آزاد به ضخامت در بال تیر یا مقطع فشرده متناسب است با: (آزاد ۸۵)

۱) تنش حد جاری‌شدن فولاد مصرفی
۲) جذر تنش حد جاری‌شدن فولاد مصرفی
۳) عکس جذر تنش حد جاری‌شدن فولاد مصرفی
۴) عکس تنش حد جاری‌شدن فولاد مصرفی

۴- در تیر مقطع قوطی اگر نسبت $\frac{b}{t}$ بیش از مقدار مجاز انتخاب گردد و در خمش حول محور x مقادیر σ_A، σ_B و σ_C به‌ترتیب تنش‌های ایجاد شده در A، B و C باشند، کدام رابطه صحیح است؟ (سراسری ۷۹)



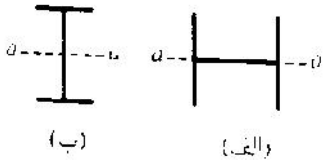
۱) $\sigma_A = \sigma_B < \sigma_C$

۲) $\sigma_A = \sigma_B > \sigma_C$

۳) $\sigma_A = \sigma_B = \sigma_C$

۴) $\sigma_A = -\sigma_B$ ، $\sigma_C = 0$

دو مقطع فشردهٔ نشان داده شده دارای اساس مقطع مساوی حول محور a-a می‌باشند. اگر از این دو مقطع به عنوان تیری با دهانه‌های مساوی استفاده شود، ظرفیت باربری خمشی کدام‌یک بزرگتر خواهد بود؟ (سراسری ۸۱)



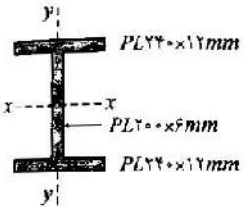
۱) مقطع ب

۲) مقطع الف

۳) ظرفیت خمشی هر دو مساوی است.

۴) بستگی به طول مهارنشدهٔ بال فشاری تیرها دارد.

۳۶- برای مقطع فشرده مطابق شکل نسبت لنگر خمشی مجاز M_x به لنگر خمشی مجاز M_y چقدر می‌باشد؟



(آزاد ۸۱)

۱) ۲/۳۴

۲) ۲/۷۱

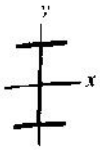
۳) ۲/۸۷

۴) ۲/۸۱

$$M_x = S^* \times (0.66F_y) = \frac{I_n}{22.4}(0.66F_y) = \frac{\left[\frac{24\times 22.4^3}{12} - \frac{23.4\times 20^3}{12}\right]}{11.2}(0.66F_y) = 405.4F_y$$

$$M_y = S \times (0.75F_y) = \frac{I_y}{12}(0.75F_y) = \frac{\left[2\times\frac{24^3\times 1.2}{12} + \frac{20\times 0.6^3}{12}\right]}{12}(0.75F_y) \rightarrow M_y = 172.8F_y \rightarrow \frac{M_n}{M_y} = 2.34$$

۴۴- در تیر با مقطع نورد‌شده (از نوع IPE) اگر F_{bx} و F_{by} تنش‌های خمشی مجاز نسبت به محورهای x و y بوده و W_x و W_y مدول مقطع نسبت به محورهای x و y باشند و تیر با داشتن تکیه‌گاه جانبی جزء تیرهای با اتکاء جانبی تلقی گردد، کدام گزینه صحیح است؟ (تیر دارای شرایط مقطع فشرده می‌باشد.) (سراسری ۷۹ و آزاد ۷۹)



۱) $W_x >> W_y$ ، $F_{by} > F_{bx}$

۲) $W_x >> W_y$ ، $F_{by} < F_{bx}$

۳) $W_x = W_y$ ، $F_{bx} = F_{by}$

۴) $\frac{W_x}{W_y} = \frac{F_{bx}}{F_{by}}$

۹- پروفیل‌های فولادی که شرایط مقطع فشرده و محدودیت فواصل تکیه‌گاه‌های جانبی را دارا می‌باشند: (آزاد ۸۱)

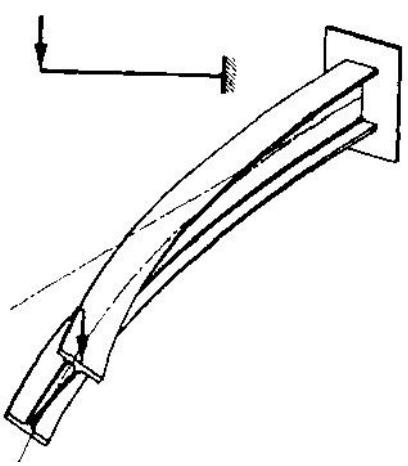
۱) تا حد لنگر خمشی پلاستیک قادر به تحمل لنگر هستند.

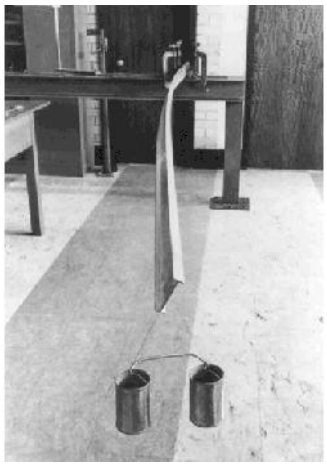
۲) تا حد لنگر خمشی جاری‌شدن قادر به تحمل لنگر هستند.

۳) چنانچه تنش فشاری ناشی از خمش از $0/66F_y$ تجاوز کند، قسمت‌های فشاری مقطع کمانش موضعی پیدا می‌کنند.

۴) چنانچه تنش فشاری ناشی از خمش از تنش حد جاری‌شدن (F_y) تجاوز کند، قسمت‌های فشاری مقطع کمانش موضعی پیدا می‌کنند.

٤-٣- کمانش پیچشی جانبی

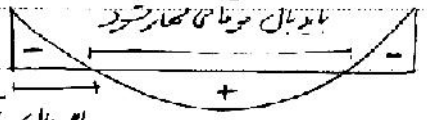


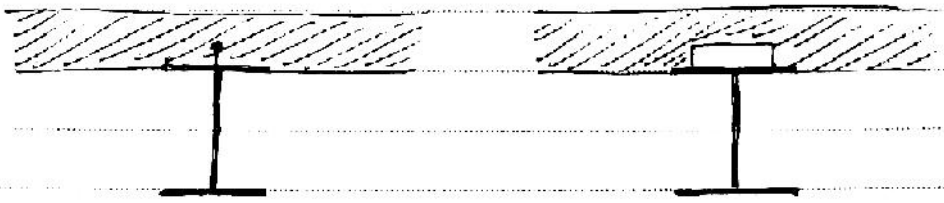


* کمانش پیچشی جانبی :

برای جلوگیری از کمانش پیچشی جانبی باید بال فشاری مقطع در فواصل مناسبی مهار گردد.

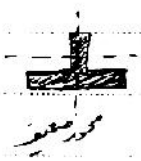
* در سیستم‌های کف کامپوزیت سخت‌کننده‌های عرضی مهار جانبی را برای بال تحتانی انجام دهند.

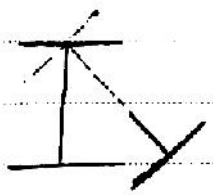




* در مقابل کمانش پیچشی جانبی در عامل مقاومت می‌کند : 1 مقاومت پیچشی مقطع

2 مقاومت کمانش تحت فشاری مقطع حول محور ضعیف آن





$\uparrow F_y \longrightarrow L_b$ باید کاهش یابد

$\uparrow F_y \longrightarrow$ احتمال کمانش پیچشی جانبی بیشتر است.

$\uparrow b_f \longrightarrow L_b$ می‌تواند افزایش یابد $\longrightarrow$ احتمال کمانش پیچشی کاهش میابد

$\uparrow A_f \longrightarrow \uparrow L_b \longrightarrow$ احتمال کمانش پیچشی جانبی کاهش می‌یابد.

(برعلت کمانش)

$\uparrow I_y$ عین تیر $\longrightarrow$ احتمال کمانش $\uparrow$ و $\uparrow S_x$ و $\downarrow F_b$ $\quad F \ll 0.6F_y$

اگر تیر بدون مهار جانبی محسوب شود $\longrightarrow$ $F_{bt} = 0.6F_y$ (تنش مجاز کششی)

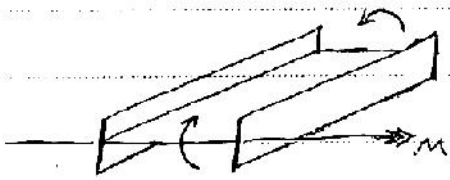
$F_{bc} \le 0.6F_y$ (" " فشاری)

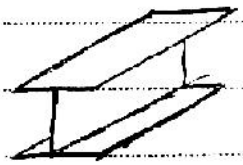
اگر تیر دارای مهار جانبی بود و غیر فشرده بود $\longrightarrow$ $F_{bt} = F_{bc} = 0.6F_y$

نکته: کمانش پیچشی جانبی تنها برای لنگر خمشی حول محور قوی (M_x) اتفاق می‌افتد.

$M \Longrightarrow$ ریفلی $\rightarrow L_b$ ندارد $\longrightarrow$ فشرده باشد $\longrightarrow 0.75F_y$

غیر فشرده باشد $\longrightarrow 0.6F_y$





۴۰- در تیرهای تحت خمش M_x برابر است با: (آزاد ۷۷)

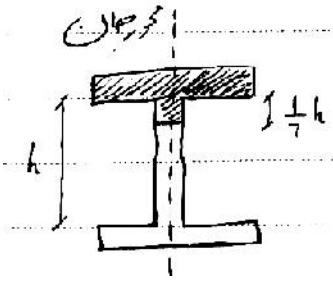
۱) شعاع ژیراسیون قسمتی از مقطع شامل بال فشاری و $\frac{1}{6}$ مساحت جان تحت فشار حول محوری که در صفحه جان قرار دارد.

۲) شعاع ژیراسیون قسمتی از مقطع شامل بال فشاری و $\frac{1}{3}$ مساحت جان تحت فشار حول محوری که در صفحه جان قرار دارد.

۳) شعاع ژیراسیون قسمتی از مقطع شامل بال کششی و $\frac{1}{3}$ مساحت جان تحت فشار حول محوری که در صفحه جان قرار دارد.

۴) شعاع ژیراسیون قسمتی از مقطع شامل بال کششی و $\frac{1}{6}$ مساحت جان تحت فشار حول محوری که در صفحه جان قرار دارد.

r_T : شعاع ژیراسیون بال فشاری + $\frac{1}{3}$ قسمت فشاری جان حول محور جان



$r_T = 1/2\, r_y$ لاغری کل مقطع حول محور y = r_y

۴۱- اگر برای یک عضو خمشی، σ حداکثر تنش خمشی مجاز و ρ شعاع ژیراسیون و عمق آن y باشد، مساحت سطح مقطع مورد نیاز تحت لنگر M کدام است؟ (آزاد ۷۱)

۱) $A=\frac{My}{\rho^2\sigma}$ ۲) $A=\frac{My^2}{\rho^2\sigma}$ ۳) $A=\frac{My}{\rho\sigma}$ ۴) $A=\frac{My}{\rho^2\sigma^2}$

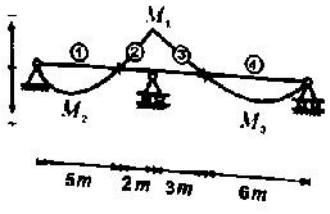
۱۱- کدام‌یک از تدابیر مطروحه در زیر برای افزایش مقاومت کمانش جانبی مؤثر نمی‌باشد؟ (آزاد ۷۹)

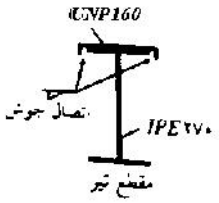
۱) تقویت بال‌های فشاری تیر
۲) استفاده از *Stiffener* و سخت‌کننده‌ها
۳) تقویت و اضافه نمودن صفحه در بال فشاری
۴) افزایش ضخامت جان تیر

کدام‌یک از مجموعه عوامل زیر در تعیین لنگر (بار) کمانش پیچشی جانبی تیرها بیشتر تأثیرگذار هستند؟ (سراسری ۸۲)

۱) طول تیر، فاصلهٔ سخت‌کننده‌های عرضی جان تیر و نوع تکیه‌گاه‌های انتهایی تیر.
۲) فاصلهٔ مهارهای جانبی، محل مهارهای جانبی، ایجاد انحنای تک یا دوبل توسط لنگرهای انتهایی.
۳) لاغری بال فشاری در فواصل مهارهای جانبی، مقاومت پیچشی مقطع تیر، نحوهٔ توزیع لنگر خمشی در طول تیر.
۴) نسبت‌های عرض به ضخامت ورق‌های تشکیل‌دهندهٔ مقطع تیر، مقاومت و شکل‌پذیری فولاد مقطع.

با توجه به شکل زیر، در کدام قطعه از تیر، احتمال کمانش پیچشی جانبی بال فشاری بیشتر است؟ تیر در تکیه‌گاه‌ها و نقاط عطف که با ضربدر مشخص شده‌اند، دارای مهار جانبی بال فشاری می‌باشد. مقطع تیر از یک نیمرخ I که در بال بالا با یک ناودانی تقویت شده، تشکیل گردیده است. (سراسری ۸۰)





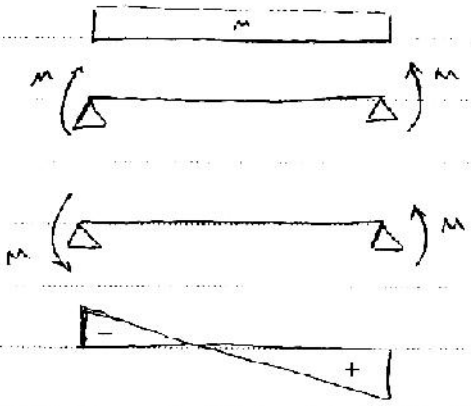
$|M_1^-| > |M_2^+| > |M_2^+|$

۱) شمارهٔ (۱)
۲) شمارهٔ (۲)
۳) شمارهٔ (۳)
۴) شمارهٔ (۴)

پدیدهٔ کمانش پیچشی جانبی در کدام‌یک از حالات زیر بحرانی است؟ (آزاد ۸۳)

۱) خمش تیرها حول محور ضعیف
۲) کمانش ستون‌ها حول محور قوی
۳) کمانش ستون‌ها حول محور ضعیف
۴) خمش تیرها حول محور قوی

تأثیر دیاگرام لنگر در مقاومت پیچشی جانبی :



در این تیر احتمال کمانش پیچشی جانبی بیشتر است

C_b : برای تأثیر دادن شکل نمودار لنگر بر روی تنش مجاز خمشی . $C_{bending}$

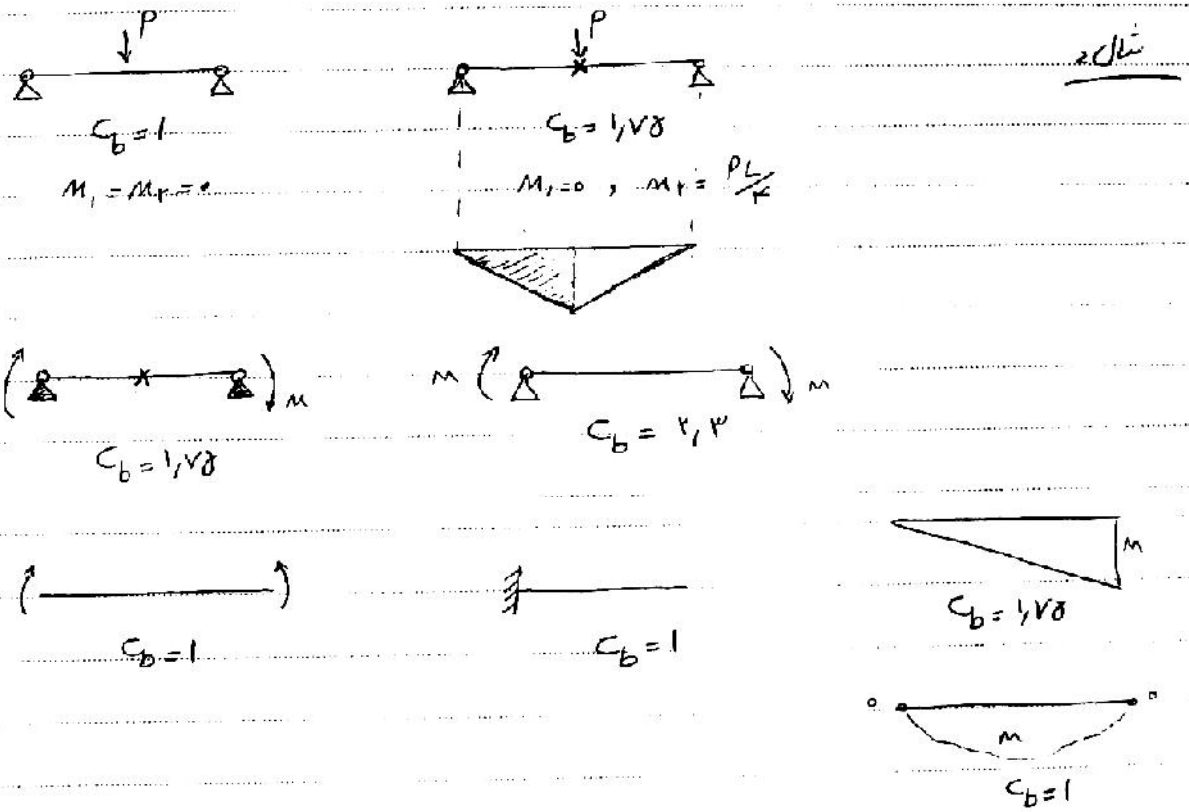
F_b بیشتر می‌شود ← بهترین حالت ← $C_b > 2.3$ ← بدترین حالت $1 < C_b$

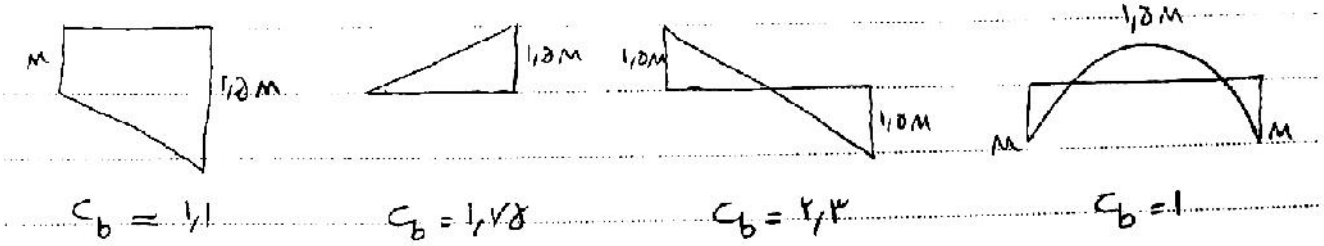
↓ کمتر F_b

نکته : برای تیر ساده دار $C_b = 1$ است .

• اگر حداکثر لنگر در بین دو لنگر انتهایی باشد $C_b = 1$ است .

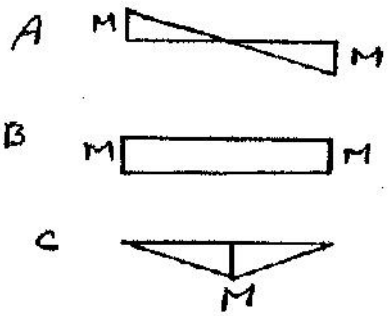
مثال :

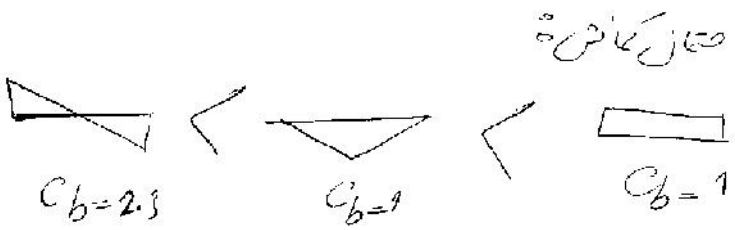




دیاگرام لنگر خمشی بین تکیه‌گاه‌های جانبی سه تیر مشابه، مطابق شکل زیر است. خطر کمانش پیچشی جانبی در کدام تیر نامحتمل‌تر است؟ سراسری ۸۹

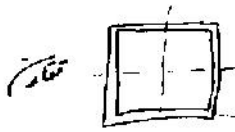
۱) A
۲) B
۳) B,A
۴) C





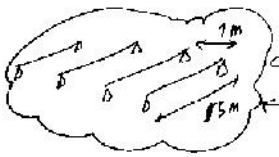
در تقویت خمشی یک تیر با تقارن دوبل و مقطع جعبه‌ای فشرده، فاقد اتکای جانبی، ورق تقویت تنها برای یک بال موجود است. تقویت کدام بال به مقاومت تیر بیشتر می‌افزاید؟ سراسری ۸۹

۱) بال کششی ۲) بال فشاری ۳) بال تحتانی ۴) تفاوتی ندارد



۳۲- طاق ضربی یک ساختمان از تیرهای IPE ۱۸۰ به فواصل یک متر و آجر ساخته می‌شود. اگر طول دهانه تیر پنج متر باشد و بار مردهٔ کف $500\ kg/m^2$ و زندهٔ آن $200\ kg/m^2$ باشد، نسبت تنش موجود به تنش مجاز در خمش چقدر است؟ ($S_x = 146\ cm^3$) (آزاد ۸۴)

۱) ۱/۰۳ ۲) ۱/۲ ۳) ۰/۹۵ ۴) ۰/۸

فواصل تیرها از هم یک متر است  بارهای سهم آگیر هر تیر 1m خواهد بود

$q = 1 \times (500 + 200) = 700$

$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{700 \times 5^2}{8} kg.m = 218750 kg.cm$ ⇒ تنش موجود $= \frac{M}{S} = \frac{218750}{146} = 1498 kg/cm^2$

تنش مجاز $= 0.66 F_y = 1584 kg/cm^2$

⇒ $\frac{M/S}{F_b} = \frac{1498}{1584} = 0.95$

کد: چون IPE یک مقطع استاندارد است ← فشرده است

چون تیر دوسرساده است (simple) هر جای تیر تکیه + دارای مهار فشاری پیوسته بال بالایی است و چون بال بالایی در داخل طاق فرعی قرار گرفته و یک تیر با مهار جانبی عرضی می‌شود

$F_b = 0.66 F_y$

٤-٤- صفحات تقویتی

ورق های تقویتی ← در جایی که لنگر خمشی زیاد است یعنی

تغییر مقطع می‌توان توسط ورق‌های

تقویت بال آن را تقویت کرد.

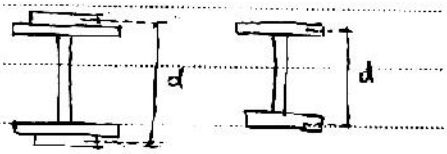
مساحت ورق تقویتی باید > 0.7 (مساحت کل بال شامل بال تیر + ورق تقویتی)

مثلاً، اگر مساحت یکی از بال‌های موجود $3 cm^2$ باشد حداکثر مساحت ورق تقویتی آن بال $7 cm^2$ است.

اگر به یک مقطع I شکل ورق‌های تقویتی به دو بال آن اضافه شود تحمل لنگر آن (مقدار S) چقدر افزایش می‌یابد؟

I_x جدید $= I_x + 2 I'_x + 2A\left(\frac{d}{2}\right)^2$

I'_x: ممان اینرسی ورق‌های حول محور خودشان



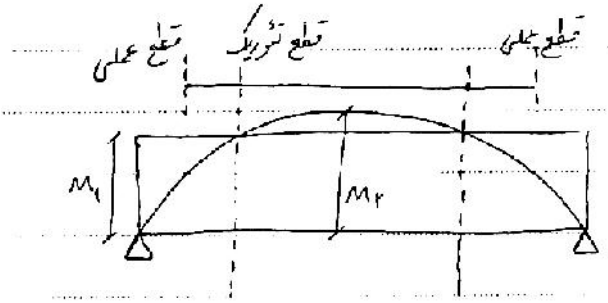
S جدید $= \frac{I \text{ جدید}}{\frac{d \text{ جدید}}{2}}$

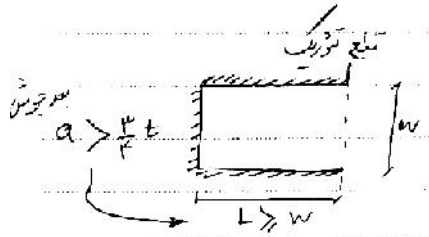
$S_{\text{تقریبی جدید}} \approx S_{\text{قدیم}} + 2A\left(\frac{d}{2}\right)$

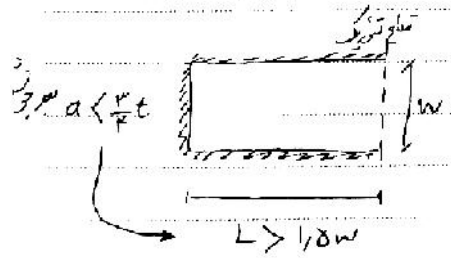
* نقطه قطع تئوریک و عملی ورق‌ها :

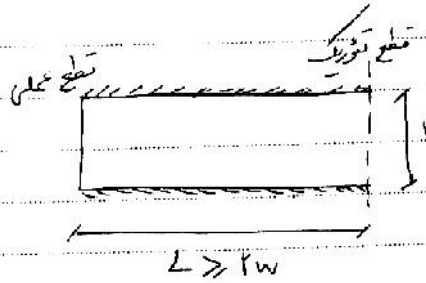
M_2 مقاومت با ورق تقویتی

M_1 مقاومت مقطع بدون ورق تقویتی









۱۴- برای مقطع تیر دو سر ساده‌ای تحت بار گسترده یکنواخت $2t/m$ در طول ۶ متر از پروفیل IPE ۲۷۰ با مدول مقطع $S = 429\,cm^3$ استفاده شده است. چنانچه تنش خمشی مجاز برابر $1440\,kg/cm^2$ باشد، مساحت صفحات تقویتی که به‌طور مساوی بایستی به بال‌های کششی و فشاری اضافه نمود تقریباً چقدر است؟ (مبانی ۸۱ و نظام مهندسی)

۱) $7\,cm^2$ ۲) $10\,cm^2$ ۳) $15\,cm^2$ ۴) نیازی به تقویت نیست

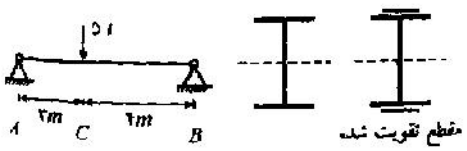
$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{2\times 6^2}{8} = 9\,t.m.$ ← لنگر موجود

$S\times 1440 = 9\times 10^5\,kg.cm.$ ← S مورد نیاز

$\longrightarrow \boxed{S = 625\,cm^3}$

$\Rightarrow 625 = 429 + \frac{A}{2}\times 27 \longrightarrow A = 7.25\,cm^2$ ← مساحت ورق تقویتی ← گزینه ①

تنش مجاز نرمال در تیر زیر را $1400\,kg/cm^2$ در نظر بگیرید و طول تئوریک یک ورق لازم برای تقویت خمشی آن را بر حسب cm به‌دست آورید. اساس مقطع نیمرخ تقویت‌نشده نسبت به محور خنثی $430\,cm^3$ می‌باشد. (مبانی ۷۹)

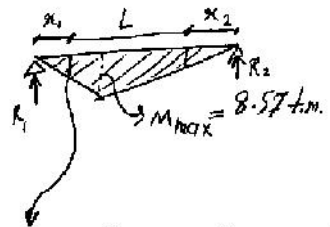


۱) ۲۸۱
۲) ۲۱۱
۳) ۲۰۸
۴) به ورق نیاز ندارد.

از آنجایی که $S = 430$ ، حداکثر لنگری که تیر تقویت نشده می‌تواند تحمل کند برابر است با:

$M = 430\times 1400 = 602000\,kg.cm. = 6.02\,t.m.$ بدون تقویت

ابتدا و انتهای تیر لنگر کم است و نیاز به تقویت نیست



$R_1 = \frac{5\times 4}{7} = \frac{20}{7}$

$R_2 = \frac{5\times 3}{7} = \frac{15}{7}$

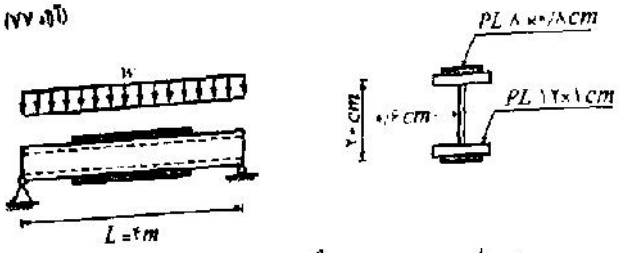
$M_{x_1} = R_1\times x_1 = 6.02 \longrightarrow x_1 = \frac{6.02}{(\frac{20}{7})} = 2.107m$

$M_{x_2} = R_2\times x_2 = 6.02 \longrightarrow x_2 = \frac{6.02}{(\frac{15}{7})} = 2.81m$

$L = 7 - x_1 - x_2 = 2.08\,m = 208\,cm \longrightarrow$ در طول $L = 208$ نیاز به تقویت است

در سازه شکل زیر مطلوب است تعیین ظرفیت باربری تیر (w) بدون تسمه تقویتی. تنش خمشی مجاز را برابر $0/6F_y$ فرض کنید.

(آزاد ۷۷)



۱) ۱۸/۸۸ kg/cm

۲) ۱۷/۸۸ kg/cm

۳) ۱۷/۷۱ kg/cm

۴) ۲۲/۲۲ kg/cm

$$M_{\text{موجود}} = \frac{wL^2}{8} = \frac{w\times 400^2}{8} = 20000w \text{ kg.cm}$$

$$\text{ظرفیت تیر} \rightarrow M_{\text{مجاز}} = S\times 0.6F_y = \left[\frac{\left(\frac{12\times 20^3}{12} - \frac{11.4\times 18^3}{12}\right)}{10}\right]\times 0.6\times 2400$$

$$\rightarrow M_{\text{مجاز}} = 354182$$

$$\rightarrow M_{\text{موجود}} < M_{\text{مجاز}} \Rightarrow 20000w < 354182 \rightarrow \boxed{w < 17.71 \text{ kg/cm}}$$

در سازه شکل فوق ظرفیت باربری تیر را در حالت تقویت شده (با تسمه تقویتی) محاسبه نمایید.

(آزاد ۷۷)

۱) ۵۲/۶۳ kg/cm ۲) ۲۵/۶۳ kg/cm ۳) ۲۲/۳۳ kg/cm ۴) ۲۸/۱۷ kg/cm

$$M_{\text{مجاز تقویت شده}} = S_{\text{تقویت شده}}\times 0.6F_y = \left[\frac{\left(\frac{12\times 20^3}{12} - \frac{11.4\times 18^3}{12}\right) + 2\left(8\times 0.8\times 10.4^2\right)}{10.8}\right]\times 0.6F_y$$

در محاسبه I از همان ابتدا می‌توان کل ممان اینرسی ورق‌ها حول محور خودشان صرف نظر می‌شود

$$\rightarrow M_{\text{مجاز تقویت شده}} = 512540 \text{ kg.cm.}$$

$$\rightarrow M_{\text{موجود}} < M_{\text{مجاز تقویت شده}} \Rightarrow 20000w < 512540 \rightarrow \boxed{w < 25.63 \text{ kg.cm.}}$$

اگر با روش تقریبی محاسبه کنیم:

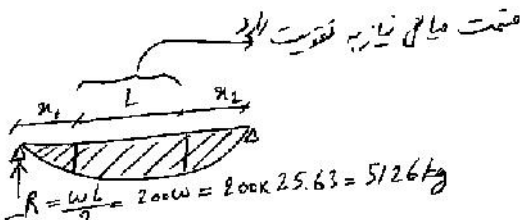
$$M_{\text{مجاز تقویت}} = \left[8\times 0.8\times 20\times (0.6F_y)\right] + M_{\text{مجاز بدون تقویت}} = 184320 + 354182$$

$$= 538502$$

$$20000w < 538502 \rightarrow w < 26.92$$

. در شکل فوق طول تئوریک تسمه تقویتی را تعیین کنید. (حل با ماشین‌حساب) (آزاد ۷۷)

۱) ۳۳۴/۱۷ cm ۲) ۱۲۶ cm ۳) ۳۲۴/۱۷ cm ۴) ۲۲۲/۲۷ cm



قسمت میانی نیازبه تقویت دارد

با توجه به اینکه خاصیت خمش بدون تقویت برابر $M = 354182 kg.cm$ است

می‌توان مقدار x_1 را بدست آورد

$Rx_1 - \frac{wx_1^2}{2} = M_{max} \Rightarrow 5126x_1 - \frac{25.63x_1^2}{2} = 354182$

$\rightarrow x_1 = 88.82 cm$

$\rightarrow L = 400 - 2x_1 = 222.37 cm$

تأثیر سوراخ در بال‌های تیر

$\frac{A_{fn}}{A_{fg}} < \underbrace{\frac{F_y}{120000} + 0.79}_{0.85}$ ← وجود سوراخ‌ها باید منظور گردد

" ← " ← نیازی به در نظر گرفتن سوراخ‌ها نیست

٤-٥- کاهش لنگر

شرایط استفاده از کاهش لنگر (باز توزیع لنگر) در تیرها:

-مقطع فشرده باشد

- تیر دارای تکیه‌گاه جانبی باشد

- بارگذاری ثقلی

- تیر طره (معین) نباشد

-اتصال صلب انتهایی ویا سراسری

- حداکثر لنگر در تکیه‌گاه‌ها

- اگر $f_a \leq 0.15F_a$ می‌توان لنگر ستون را نیز کاهش داد

تحت شرایط خاصی می‌توان لنگر ماکزیمم منفی را در تیرهای ممتد به میزان ۱۰ درصد کاهش داد و تیر را بر این اساس طراحی نمود. کدام گزینه بیشترین تعداد این شرایط را در بر دارد؟ (سراسری ۷۸)

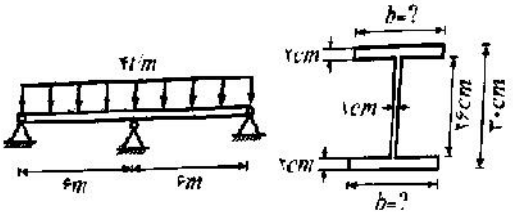
۱) مقطع باید فشرده باشد و لنگر ماکزیمم مثبت پس از بازتوزیع از قدرمطلق لنگر ماکزیمم منفی کمتر باشد.

۲) مقطع باید فشرده باشد و لنگر ماکزیمم مثبت پس از بازتوزیع از قدرمطلق لنگر ماکزیمم منفی بیشتر باشد.

۳) مقطع باید غیرفشرده باشد و لنگر ماکزیمم مثبت پس از بازتوزیع از قدرمطلق لنگر ماکزیمم منفی بیشتر باشد.

۴) مقطع باید غیرفشرده باشد و لنگر ماکزیمم مثبت پس از بازتوزیع از قدرمطلق لنگر ماکزیمم منفی کمتر باشد.

در صورتی که تیر مطابق شکل به‌طور کامل از جانب نگهداری شده باشد، عرض ورق بال را حساب کنید. (تنش خمشی مجاز فولاد $1415\ kg/cm^2$ می‌باشد.) (سراسری ۷۵)



۱) $10\ cm$

۲) $12\ cm$

۳) $15\ cm$

۴) $20\ cm$

$M_{\text{لنگر موجود}} = \frac{0.9}{\text{ضریب کاهش لنگر منفی}}\left(\frac{ql^2}{8}\right) = 0.9\left(\frac{4\times 6^2}{8}\right) = 16.2\ t.m.$

$\Rightarrow M = S\times 1415 = \frac{\left[b\left(\frac{30^3}{12}-\frac{26^3}{12}\right)+\frac{26^3\times 1}{12}\right]}{15}\times 1415$

$\longrightarrow M_{\text{بار}} = (7408.3)b + 13816.7$

$M_{\text{موجود}} \geq M_{\text{بار}} \rightarrow 16.2\times 10^5\ kg.cm \geq (7408.3\,b + 13816.7)$

$\longrightarrow \boxed{b \geq 20\ cm} \longrightarrow$ (۴ پاسخ)

در تیرهای با مقطع فشرده و مهار جانبی کافی که دو سر آنها با اتصال صلب به ستون‌ها متصل شده‌اند، با شرایطی در آیین نامه اجازه داده شده که برای ۹۰ درصد لنگر منفی ناشی از بار گسترده قائم طراحی شوند، علت چیست؟ (سراسری ۷۴ و نظام مهندسی)

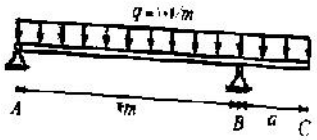
۱) چون نیر مشکل کمانش نخواهد داشت.

۲) ایجاد لولای پلاستیک در دو انتهای تیر و تغییر رفتار تیر

۳) چون در این تیرها جلوی کمانش گرفته شده و در نتیجه مقاومت خمشی آنها افزایش یافته است.

۴) چون لنگر خمشی در تیر دو سر گیردار در انتها حداکثر است و لنگر ناشی از کمانش در وسط تیر حداکثر است.

- تیری با سمان‌اینرسی 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 در وسط دهانه تیر فرض می‌کنیم.) (سراسری ۷۰)



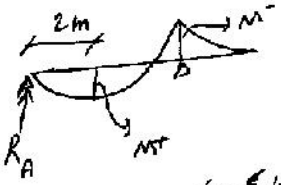
۱) $1/72\ m$

۲) $1/55\ m$

۳) $2\ m$

۴) $1/63\ m$

جهت بهینه شدن باید لنگر منفی برابر لنگر مثبت باشد:



$$M^- = \frac{qa^2}{2}$$

$$(\text{به ازای } x=2)\ M^+ = R_A \times 2 - \frac{q(2)^2}{2} = 4q - \frac{qa^2}{4} - 2q = 2q - \frac{qa^2}{4}$$

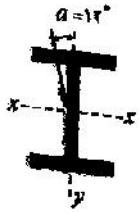
$$R_A \times 4 = \frac{q(4)^2}{2} - \frac{qa^2}{2} \rightarrow R_A = 2q - \frac{qa^2}{8}$$

$$M^- = M^+ \rightarrow \frac{qa^2}{2} = 2q - \frac{qa^2}{4} \rightarrow \frac{3a^2}{4} = 2 \rightarrow a = \sqrt{\frac{8}{3}} = 1.63\ m$$

٤-٦- خمش دو محوره

- در تیر دو سر مفصل به طول ۶ متر چنانچه بار گستردهٔ یکنواختی با شدت ۱/۲ تن بر متر مطابق شکل اثر کند و $1500\ kg/cm^2$ = تنش خمشی مجاز حول محور x، $1875\ kg/cm^2$ = تنش خمشی مجاز حول محور y، کدام‌یک از روابط زیر درست می‌باشد؟ (حل با ماشین حساب)

(سراسری ۷۰)



مدول خمشی حول محور x = S_x

مدول خمشی حول محور y = S_y

۱) $\frac{۳۵۲/۱۳}{S_x} \le ۱$, $\frac{۵۹/۸۸}{S_y} \le ۱$

۲) $\frac{۳۵۲/۱۳}{S_x} + \frac{۵۹/۸۸}{S_y} \le ۱$

۳) $\frac{۳۵۲/۱۳}{S_x} \le ۱$

۴) $\frac{۳۵۲/۱۳}{S_x} \le ۱$ یا $\frac{۵۹/۸۸}{S_y} \le ۱$

٤-٧- کنترل خیز در تیرها

کنترل خیز سازه:

- در محاسبه خیز تنها از بارهای سرویس استفاده می‌شود

-علت کنترل:

۱- آسیب اجزای غیرسازه‌ای ۲-احساس امنیت ساکنین

-در دهانه‌های بزرگ باید از پیش خیز استفاده کرد

-ارتفاع تیرهایی که سطوح بزرگ خالی از تیغه بندی دارند: $\frac{d}{L} > \frac{1}{20}$

افتادگی در سقف های نازک‌کاری شده: $\begin{Bmatrix} \Delta_{D+L} < \frac{L}{240} \\ \Delta_L < \frac{L}{360} \end{Bmatrix}$