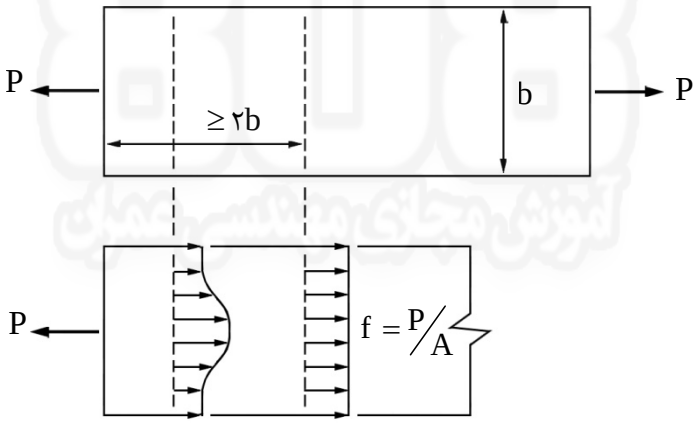
فصل ۲- طراحی اعضای کششی

www.shop.civil808.com

در این فصل به بررسی اعضایی که تحت اثر تنش‌های کششی خالص قرار دارند، می‌پردازیم. بادبندهای تحت کشش، اعضای کششی خرپا، میل مهارها در سقف‌های شیب‌دار، کابل‌ها و قسمت‌هایی از اتصالات اعضای فولادی، مواردی از کاربرد اعضای کششی در سازه‌ها هستند. در این فصل مکانیزم رفتاری و اصول طراحی اعضای کششی ذکر خواهد شد.

۲-۱- توزیع تنش در اعضای کششی

زمانی که یک عضو فولادی تحت اثر تنش‌های کششی قرار می‌گیرد، می‌توان فرض نمود که تنش در آن به صورت یکنواخت توزیع می‌شود ولی فرض یکنواخت بودن تنش در تمام نقاط مقطع صادق نیست. با توجه به اصل سنت ونان، در نزدیکی محل اثر نیرو به دلیل وجود تمرکز تنش، توزیع تنش غیر یکنواخت است ولی با دور شدن به اندازه‌ی کافی از محل اثر نیرو (در حدود دو برابر عرض مقطع) می‌توان توزیع تنش را یکنواخت فرض کرد. این موضوع در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱- توزیع تنش در مقاطع مختلف یک عضو کششی

حالات دیگری نیز وجود دارد که در آن‌ها توزیع تنش‌های کششی غیر یکنواخت است. برای مثال، شکل ۲-۲ را در نظر بگیرید. در صورتی که در صفحه‌ی تحت کشش سوراخی وجود داشته باشد، به دلیل تمرکز تنش، در نزدیکی سوراخ معادله‌ی توزیع تنش با فرض حالت الاستیک به صورت زیر است:

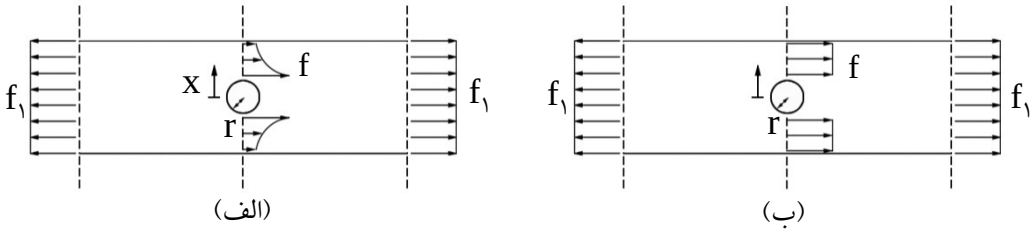
$$f = f_{۱}\left[۱+\frac{۱}{۲}(\frac{r}{x})^{۲}+\frac{۳}{۴}(\frac{r}{x})^{۴}\right] \qquad (۱-۲)$$

در این رابطه، در صورتی که مقدار x را برابر شعاع سوراخ (r) قرار دهیم، خواهیم داشت:

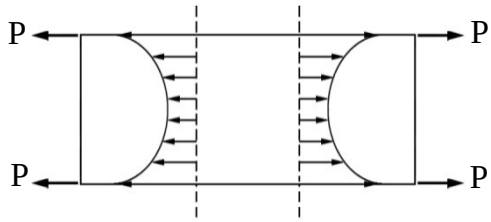
www.shop.civil808.com

$$f = \frac{۹}{۴} f_۱ = ۲/۲۵ f_۱ \qquad (۲-۲)$$

رابطه‌ی (۲-۲) با فرض صفحه‌ی نیمه بینهایت حاصل شده است در حالی که در صفحات محدود، توزیع تنش به مراتب پیچیده تر خواهد بود. اما در این حالت ساده حداکثر تنش در مقطع، ۲/۲۵ برابر مقداری است که با فرض یکنواخت بودن آن به دست آمده است.

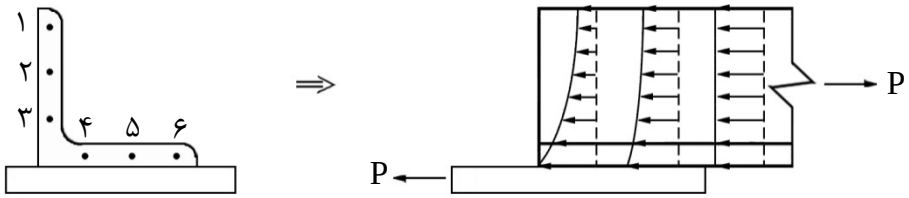


شکل ۲-۲- توزیع تنش در مقاطع سوراخ دار الف) توزیع الاستیک ب) توزیع پلاستیک



شکل ۲-۳- توزیع تنش در عرض مقطع بر اثر اعمال بار متمرکز P

در شکل ۲-۳ حالت دیگری از توزیع غیر یکنواخت تنش نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که نقاط دور از محل اثر بار، تنش کمتری را تجربه می‌کنند. بر اثر این توزیع غیر یکنواخت تنش، در مقطع عضو تغییر شکل های برشی ایجاد می‌شود.

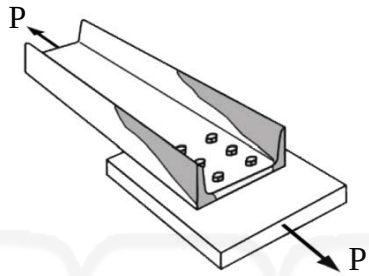


شکل ۲-۴- نمایش تنش در مقاطع مختلف اتصال تحت کشش

شکل ۲-۴ توزیع تنش در ارتفاع یک عضو کششی در ناحیه‌ی اتصال را نشان می‌دهد. در این ناحیه،

www.shop.civil808.com

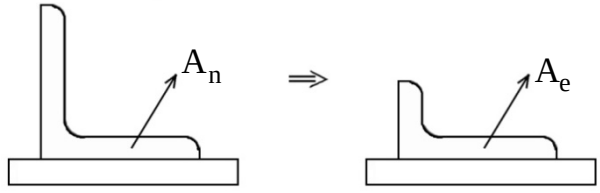
لایه‌های نزدیک به صفحه‌ی اتصال (نقاط ۴، ۵ و۶) نسبت به لایه‌های دور از آن (نقاط ۱، ۲ و ۳) کشش بیشتری را تجربه می‌کنند. در اصطلاح به آن‌چه که در شکل های ۲-۴ و ۲-۵ نشان داده شده است، تأخیر برشی و یا لنگی برشی گفته می‌شود. پدیده تأخیر برشی باعث می‌شود که در این ناحیه از تمام ظرفیت مقطع برای تحمل کشش استفاده نشود. از این رو به جای استفاده از سطح مقطع خالص، از سطح مقطع مؤثر استفاده می‌کنیم.



شکل ۲-۵- پدیده‌ی تأخیر برشی در اعضای کششی (قسمت هاشور خورده تنش کم‌تری را تجربه می‌کند)

۲-۲- سطح مقطع خالص (A_n) و مؤثر (A_e)

آیین‌نامه‌ها برای در نظر گرفتن اثر پدیده تأخیر برشی در طراحی اعضای کششی، سطح مقطع خالص عضو را با اعمال ضریبی تحت عنوان ضریب بازده سطح یا ضریب سطح مؤثر (U) کاهش می‌دهند. سطح کاهش یافته، سطح مقطع مؤثر نامیده شده و توزیع تنش کششی بر روی آن یکنواخت فرض می‌شود.



شکل ۲-۶- تبدیل مقطع خالص عضو به مقطع مؤثر

بر این اساس، سطح مقطع مؤثر را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$A_e = U \times A_n \qquad (۳-۲)$$

در این رابطه، A_e، سطح مقطع مؤثر؛ A_n، سطح مقطع خالص عضو کششی در ناحیه‌ی اتصال و U، ضریب سطح مؤثر است.

www.shop.civil808.com

۲-۲-۱- تعیین ضریب سطح مؤثر (U)

آیین‌نامه‌ها برای تعیین ضریب U ضوابطی را تعیین کرده‌اند که در ادامه مقادیر آن براساس ویرایش-های مختلف آیین‌نامه‌ها آورده شده است.

۲-۲-۱-۱- روش تنش مجاز

الف- برای نیمرخ‌های I نورد شده و سپری بریده شده از آن‌ها و مقاطع مرکب ساخته شده، در اتصال‌های جوشی، پیچی و یا پرچی، در صورتی که اتصال از طریق بال‌ها برقرار شده و برای نبشی‌ها در صورتی که توسط یک بال متصل شده باشند و حداقل سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد: $U = ۰/۸۵$.

ب- در تمام اعضای پیچی و یا پرچی که فقط دو وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد: $U = ۰/۷۵$.

پ- در اتصالات تسمه و ورق که با جوش‌های طولی در دو لبه موازی (در انتهای قطعه) متصل هستند، طول جوش‌ها نباید از فاصله عمودی بین آن‌ها (پهنای تسمه) کمتر باشد و ضریب U به شرح زیر به دست می‌آید:

- اگر $W < L < ۱/۵W$ آن‌گاه $U = ۰/۷۵$
- اگر $۱/۵W < L < ۲W$ آن‌گاه $U = ۰/۸۷$
- اگر $L > ۲W$ آن‌گاه $U = ۱$

L: طول جوش

W: پهنای ورق (فاصله بین خطوط جوش)

۲-۲-۱-۲- روش حدی و مقاومت مجاز

الف- در صورتی که بار به وسیله پیچ یا جوش مستقیماً به کلیه اجزای مقطع منتقل شود، $U = ۱$ در نظر گرفته می‌شود.

ب- در صورتی که بار تنها به وسیله جوش عرضی و توسط قسمتی از اجزای مقطع (نه تمام آن) منتقل شود، سطح مقطع خالص عضو کششی در ناحیه‌ی اتصال (A_n) برابر سطح مقطع قسمتی از عضو که به صورت مستقیم اتصال یافته و $U = ۱$ در نظر گرفته می‌شود.

پ- در اعضای کششی، به غیر از تسمه‌ها و مقاطع قوطی و لوله‌ای شکل که در آن‌ها بار به وسیله پیچ و یا

www.shop.civil808.com

جوش توسط قسمتی از مقطع (نه تمام آن) منتقل شود، ضریب سطح مؤثر از رابطه‌ی (۲-۴) تعیین می‌شود.

$$U = ۱ - \frac{\overline{x}}{L} \qquad (۴-۲)$$

$\overline{x}$: برون محوری اتصال (فاصله مرکز سطح عضو تا محل اتصال)

L: طول اتصال (برابر فاصله‌ی مرکز تا مرکز اولین و آخرین پیچ در اتصال پیچی و یا طول جوش در اتصال جوشی).

البته در نیمرخ های I شکل نورد شده (اعم از IPE و IPB) و سپری (T) بریده شده از آن‌ها استفاده از مقادیری بزرگ تر از رابطه‌ی (۲-۴) به صورت زیر مجاز می‌باشد:

- در اتصالات جوشی و یا پیچی در صورتی که اتصال از طریق بال‌ها برقرار شده و حداقل ۳ وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد اثر نیرو وجود داشته باشد:

۱- اگر $b_f \geq \frac{۲}{۳} d$:

$U = ۰/۹$

۱- اگر $b_f < \frac{۲}{۳} d$:

$U = ۰/۸۵$

- در اتصالات جوشی و یا پیچی در صورتی که اتصال از طریق جان برقرار شده و حداقل ۴ وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد اثر نیرو وجود داشته باشد:

$U = ۰/۷$

در مقاطع تک نبشی نیز در صورتی که توسط یک بال متصل شده باشند، براساس آیین‌نامه استفاده از مقادیری بزرگ تر از رابطه‌ی (۲-۴) به صورت زیر مجاز می‌باشد:

- در صورت استفاده از حداقل ۴ وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد اثر نیرو:

$U = ۰/۸$

- در صورت استفاده از ۳ وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد اثر نیرو:

$U = ۰/۶$

ت- در اتصالات تسمه و ورق که با جوش‌های طولی در دو لبه موازی (در انتهای قطعه) متصل هستند، طول جوش‌ها نباید از فاصله عمودی بین آن‌ها (پهنای تسمه) کمتر باشد و ضریب U نیز به شرح زیر به دست می‌آید:

۱- اگر $۱/۵W > L \geq W$:

$U = ۰/۷۵$

www.shop.civil808.com

- اگر $۲W > L \geq ۱/۵W$:

$$U = ۰/۸۷$$

- اگر $L \geq ۲W$:

$$U = ۱$$

ث- در مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم محور با لوله، ضریب U به صورت زیر به دست می‌آید. در این حالت طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد.

- اگر $۱/۳D > L \geq D$:

$$U = ۱ - \frac{\bar{x}}{L}$$

$$\bar{x} = \frac{D}{\pi}$$

- اگر $L \geq ۱/۳D$:

$$U = ۱$$

ج- در مقاطع قوطی شکل اگر اتصال تنها توسط یک ورق هم محور با قوطی صورت گیرد، ضریب U به صورت زیر تعیین می‌شود؛ در این حالت طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.

$$U = ۱ - \frac{\bar{x}}{L}$$

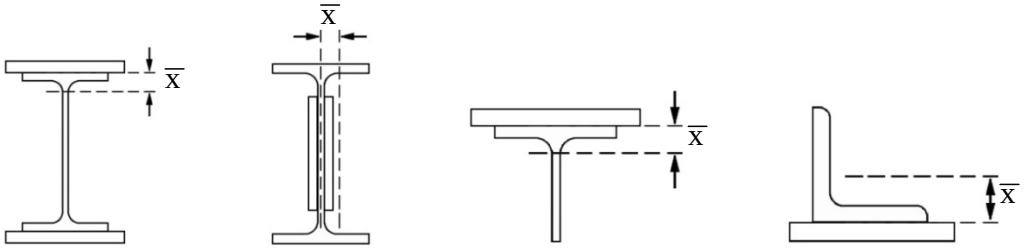
$$\bar{x} = \frac{B^۲ + ۲BH}{۴(B+H)}$$

چ- در مقاطع قوطی شکل اگر اتصال توسط دو ورق و در دو وجه مقطع صورت گیرد، ضریب U به صورت زیر تعیین می‌شود و در این حالت نیز طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.

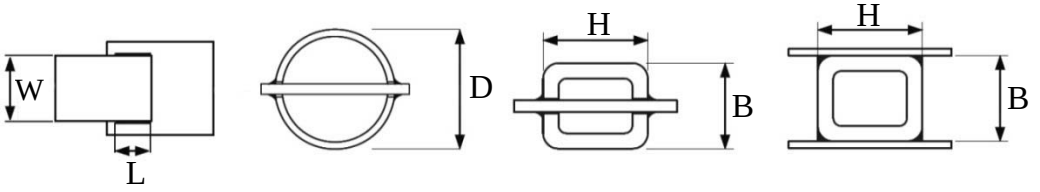
$$U = ۱ - \frac{\bar{x}}{L}$$

$$\bar{x} = \frac{B^۲}{۴(B+H)}$$

www.shop.civil808.com



شکل ۲-۷- موقعیت $\bar{x}$ در تعیین ضریب سطح مؤثر (قسمت پ)

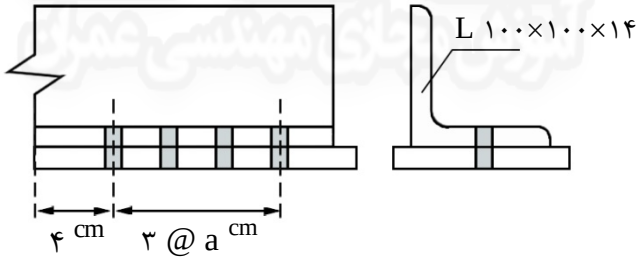


شکل ۲-۸- پارامترهای مؤثر در تعیین ضریب U (قسمت‌های ت، ث، ج و چ)

مثال ۲- ۱- با استفاده از رابطه‌ی (۲-۴) ضریب U را در دو حالت زیر تعیین کنید.

الف- در صورتی که فاصله‌ی بین پیچ‌های اتصال، $a = ۴^{cm}$ باشد.

ب- در صورتی که فاصله‌ی بین پیچ‌های اتصال، $a = ۱۰^{cm}$ باشد.



حل:

$$L۱۰۰\times۱۰۰\times۱۴: \begin{cases} \bar{x} = ۲/۹۸^{cm} \\ \bar{y} = ۲/۹۸^{cm} \end{cases}$$

در صورتی که فاصله‌ی بین پیچ‌های اتصال ۴^{cm} در نظر گرفته شود، داریم:

$$U = ۱ - \frac{\bar{x}}{L} = ۱ - \frac{۲/۹۸}{۳\times۴} = ۰/۷۵۲$$

www.shop.civil808.com

و در صورتی که فاصله‌ی بین پیچ‌های اتصال، ^{cm}۱۰ در نظر گرفته شود خواهیم داشت:

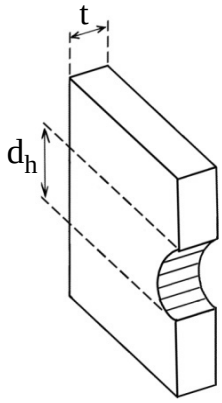
$$U = ۱ - \frac{\bar{x}}{L} = ۱ - \frac{۲/۹۸}{۳ \times ۱۰} = ۰/۹۰۱$$

۲-۲-۲- تعیین سطح مقطع خالص (A_n)

- در شرایطی که در مقطع عضو کاهش سطح نداشته باشیم، سطح مقطع خالص (A_n) برابر سطح مقطع کل (A_g) می‌باشد.

$$A_n = A_g \qquad (۵-۲)$$

- در صورتی که سطح مقطع عضو، کاهش یافته باشد، سطح مقطع خالص به صورت زیر محاسبه می‌گردد:



شکل ۲-۹- سطح مقطع کاهش یافته به وسیله سوراخ

$$d_h = d_b + \text{اثر لقی} + \text{اثر منگنه} \qquad (۶-۲)$$

$$A_n = A_g - \sum d_h t \qquad (۷-۲)$$

در این روابط:

d_h: قطر سوراخ

d_b: قطر اسمی پیچ

لازم به ذکر است که در ورق‌های اتصال کششی، سطح مقطع خالص نباید بیشتر از ۰/۸۵ سطح مقطع کل در نظر گرفته شود:

www.shop.civil808.com

$$A_n \leq ۰/۸۵A_g \qquad (۸-۲)$$

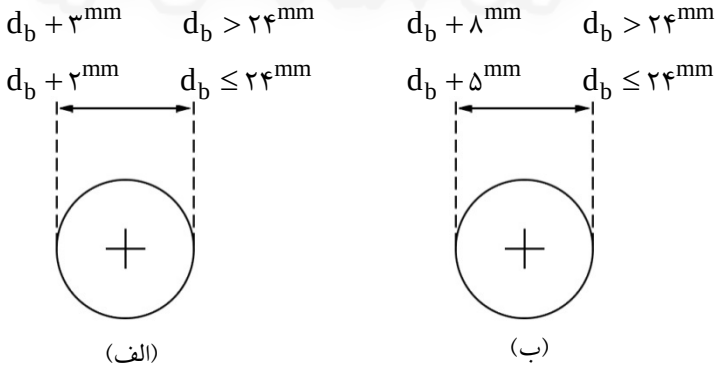
۲-۲-۲-۱- اثر منگنه

در صورتی‌که سوراخ کاری با پرس یا پانچ صورت گیرد، لبه‌های سوراخ ترک‌های مویی خورده و قادر به تحمل تنش نمی‌باشد و لازم است که این قسمت از سطح مقطع خالص عضو کسر شود. توصیه شده است که ۲^{mm} اطراف سوراخ جزو این ناحیه در نظر گرفته شود. در صورتی که سوراخ کاری با مته انجام گیرد، ترک‌های مویی به وجود نخواهند آمد و نیازی به در نظر گرفتن این اثر نیست.

در بعضی مواقع برای ایجاد سوراخ‌های بزرگ و سرعت بخشیدن به عمل سوراخ کاری از سوراخ کاری ترکیبی استفاده می‌شود. به این صورت که با استفاده از منگنه یک سوراخ ایجاد شده و سپس با مته قطر مورد نیاز را ایجاد می‌کنند. در این حالت چون در نهایت اطراف سوراخ با مته ایجاد می‌شود، اثر منگنه لحاظ نمی‌گردد.

۲-۲-۲-۲- اثر لقی

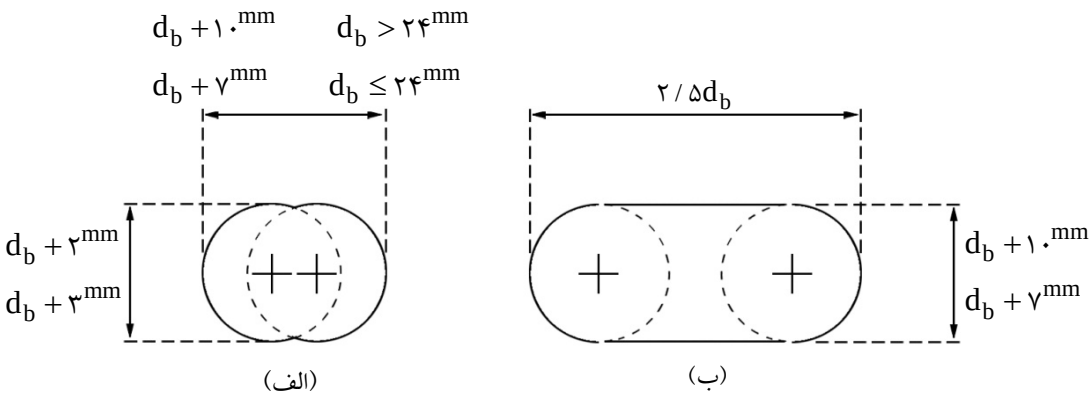
برای اینکه پیچ به راحتی در داخل سوراخ قرار گیرد، سوراخ‌های استاندارد براساس ضوابط آیین‌نامه مقداری بزرگ‌تر از قطر اسمی پیچ ایجاد می‌شوند. سوراخ استاندارد سوراخی است که در آن پارامترهای نشان داده شده در شکل ۲-۱۰ قسمت الف رعایت شده باشد.



شکل ۲-۱۰- الف) سوراخ استاندارد ب) سوراخ بزرگ شده

از انواع دیگر سوراخ‌ها، سوراخ‌های لوبیایی می‌باشند که برای در نظر گرفتن خطاهای اجرایی و کاربردهای خاص در اتصالات، به صورت نشان داده شده در شکل ۲-۱۱، استفاده می‌گردند.

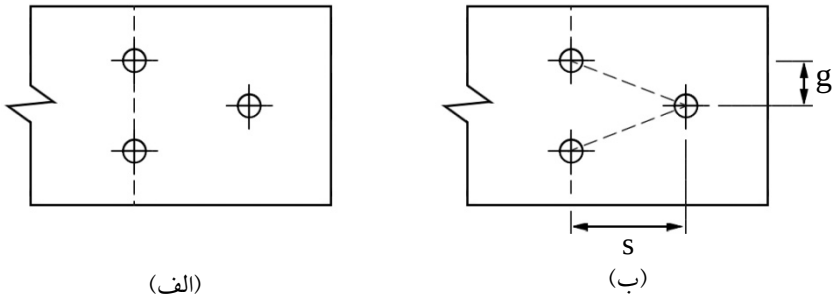
www.shop.civil808.com



شکل ۲-۱۱- الف) سوراخ لوبیایی کوتاه ب) سوراخ لوبیایی بلند

۲-۲-۲-۳- تأثیر آرایش پیچ‌ها در تعیین A_n

در ورق‌ها سطوح گسیختگی وابسته به آرایش پیچ‌ها می‌باشند. همان‌گونه که در شکل ۲-۱۲ ملاحظه می‌گردد، دو سطح گسیختگی محتمل نشان داده شده است که از بین آن‌ها باید بحرانی‌ترین حالت (بیشترین تنش ایجاد شده در مقطع) در نظر گرفته شود. برای بررسی سطح گسیختگی در حالت (ب)، باید شرایط گسیختگی روی سطوح مورب بررسی شود.



شکل ۲-۱۲- سطوح گسیختگی محتمل در دو حالت (الف) و (ب)

بررسی‌ها نشان می‌دهد که طول‌های مورب را با استفاده از عبارت $\frac{s^۲}{۴g}$، می‌توان تبدیل به طول‌های مستقیم و معادل کرد. با توجه به این مطلب می‌توان رابطه‌ی زیر را برای تعیین سطح مقطع خالص نوشت:

$$A_n = A_g + \sum \frac{s^۲}{۴g} t - \sum d_h t \qquad (۹-۲)$$

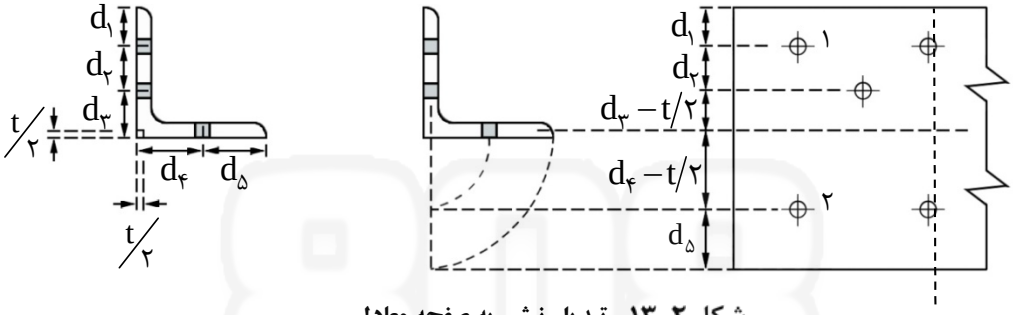
www.shop.civil808.com

در شرایطی که اتصال عضو کششی از طریق بال و جان برقرار شود؛ همانند آن‌چه که در شکل ۲-۱۳ نشان داده شده است، می‌توان بال و جان مقطع را باز کرده و سطوح گسیختگی را بر روی صفحه‌ی حاصل شده بررسی نمود.

به عنوان مثال سطح مقطع خالص در حالت گسیختگی از مسیر ۲-۱ برابر است با:

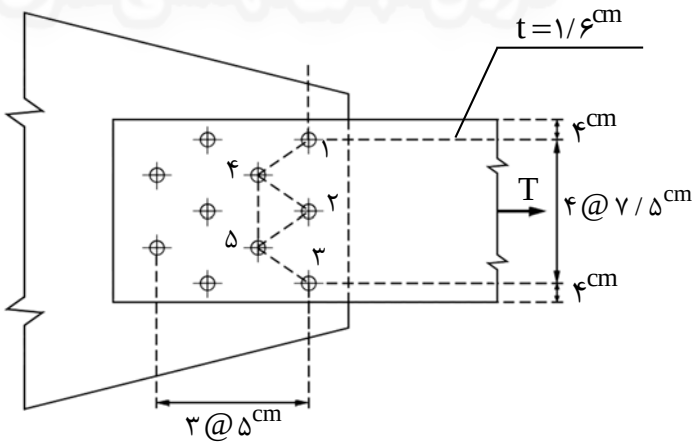
$$A_g = \left(d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 - t\right) \times t$$

$$A_n = A_g - 2 \times \left(d_h \times t\right)$$



شکل ۲-۱۳- تبدیل نبشی به صفحه معادل

مثال ۲- ۲- در ورق کششی زیر سطح گسیختگی بحرانی را تعیین کنید. پیچ‌ها از نوع M۲۰، سوراخ‌ها استاندارد و توسط مته ایجاد شده اند.



حل:

با فرض اینکه نیروی ایجاد شده در همه‌ی پیچ‌ها یکسان باشد، هر پیچ به میزان $T/10$، از نیروی کششی

www.shop.civil808.com

کل را انتقال می‌دهد.

قطر سوراخ‌ها با توجه به اثر لقی برابر خواهد بود با:

$$d_h = ۲ + ۰/۲ = ۲/۲^{cm}$$

بررسی مسیر ۳-۲-۱:

$$A_n = ۱/۶ \times ۳۸ - ۳ \times ۲/۲ \times ۱/۶ = ۵۰/۲۴^{cm^۲}$$

تنش ایجاد شده در این مسیر از مقطع برابر است با:

$$f_t = \frac{T}{A_n}$$

$$\frac{T}{۵۰/۲۴} = ۰/۰۱۹۹T$$

بررسی مسیر ۱-۴-۲-۵-۳:

$$A_n = ۱/۶ \times ۳۸ + ۴\left[\frac{۵^۲}{۴ \times ۷/۵}\right] \times ۱/۶ - ۵ \times ۲/۲ \times ۱/۶ = ۴۸/۵۳^{cm^۲}$$

$$f_t = \frac{T}{۴۸/۵۳} = ۰/۰۲۰۶T$$

بررسی مسیر ۱-۴-۵-۳:

$$A_n = ۱/۶ \times ۳۸ + ۲\left[\frac{۵^۲}{۴ \times ۷/۵}\right] \times ۱/۶ - ۴ \times ۲/۲ \times ۱/۶ = ۴۹/۳۹^{cm^۲}$$

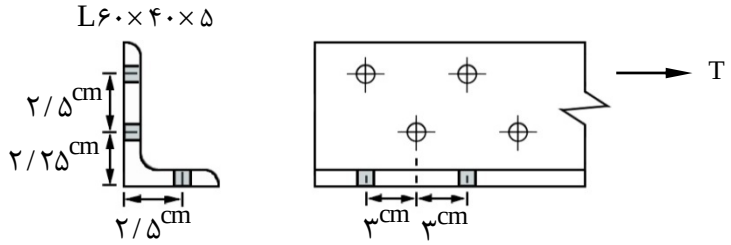
با توجه به این که یک پیچ خارج از سطح گسیختگی فرضی واقع شده است، نیروی مؤثر در مقطع گسیختگی به اندازه $T/۱۰$ کاهش می‌یابد:

$$f_t = \frac{۹T/۱۰}{۴۹/۳۹} = ۰/۰۱۸۲T$$

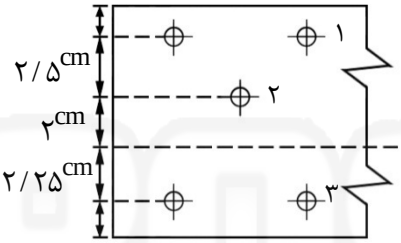
با توجه به تنش‌های به دست آمده، مسیر ۱-۴-۲-۵-۳ بیشترین تنش را دارا بوده و بحرانی ترین حالت می‌باشد.

مثال ۲- ۳- مطلوبست تعیین سطح مقطع خالص بحرانی در صورتی که از پیچ‌هایی به قطر ۱۰^{mm} استفاده شود. سوراخ‌ها استاندارد و توسط دستگاه پانچ ایجاد شده اند.

www.shop.civil808.com



حل:



$$L۶۰\times۴۰\times۵ : A_g = ۴/۷۹^{cm^۲}$$

قطر سوراخ‌ها با توجه به اثرات لقی و منگنه برابر خواهد بود با:

$$d_h = ۱۰+۲+۲ = ۱۴^{mm}$$

بررسی مسیر ۳-۱:

$$A_n = ۴/۷۹ - ۲\times۱/۴\times۰/۵ = ۳/۳۹^{cm^۲}$$

بررسی مسیر ۳-۲-۱:

$$A_n = ۴/۷۹ + \left[\frac{۳^۲}{۴\times۲/۵} + \frac{۳^۲}{۴\times(۲+۲/۲۵)}\right]\times۰/۵ - ۳\times۱/۴\times۰/۵ = ۳/۴۰$$

سطح مقطع خالص، کمترین دو مقدار $۳/۳۹^{cm^۲}$ و $۳/۴^{cm^۲}$ است و بنابراین خواهیم داشت:

$$A_n = Min\{۳/۳۹\ ,\ ۳/۴\} = ۳/۳۹^{cm^۲}$$

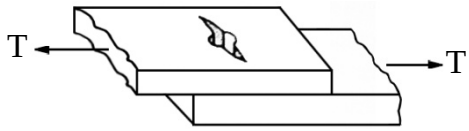
www.shop.civil808.com

۲-۳- مکانیزم‌های خرابی عضو کششی و ورق اتصال

یک عضو کششی ممکن است در شرایط مختلفی قابلیت باربری خود را از دست بدهد که برخی از آن‌ها عبارتند از:

۲-۳-۱- تسلیم و گسیختگی عضو کششی و ورق اتصال

در صورتی که تنش اعمالی به سطح مقطع کل عضو از حد تسلیم فولاد فراتر رود، اصطلاحاً در مقطع عضو تسلیم رخ می‌دهد و در صورتی که تنش در سطح مقطع مؤثر عضو از حد گسیختگی فولاد بیشتر باشد، خرابی عضو بر اثر گسیختگی خواهد بود. برای تعیین ظرفیت مقطع در هریک از این حالت‌ها روابطی توسط آیین‌نامه‌ها ارائه شده است که مبنای طراحی اعضای کششی هستند. این ضوابط براساس روش‌های تنش مجاز، حدی و مقاومت مجاز در ادامه بیان می‌شوند.



شکل ۲-۱۴- گسیختگی ورق در ناحیه اتصال

۲-۳-۱-۱- روش تنش مجاز

ضابطه‌ی کلی طراحی در روش تنش مجاز به صورت زیر است:

$$F_s \le F_{all} \qquad (۱۰-۲)$$

در این رابطه، F_s تنش کششی ناشی از تحلیل مقطع تحت بارهای سرویس و F_{all} تنش مجاز کششی مقطع است.

الف- معیار تسلیم:

در این حالت با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۱/۶۷ خواهیم داشت:

$$F_{all} = \frac{F_y}{F.S} = \frac{F_y}{۱/۶۷} = ۰/۶F_y$$

$$F_s \le F_{all}$$

$$\frac{T_s}{A_g} \le ۰/۶F_y$$

www.shop.civil808.com

$$T_s \le ۰/۶F_yA_g \qquad (۱۱-۲)$$

ب- معیار گسیختگی:

در این حالت با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۲ داریم:

$$F_{all} = \frac{F_u}{F.S} = \frac{F_u}{۲} = ۰/۵F_u$$

$$F_s \le F_{all}$$

$$\frac{T_s}{A_e} \le ۰/۵F_u$$

$$T_s \le ۰/۵F_uA_e \qquad (۱۲-۲)$$

T_s: نیروهای ناشی از تحلیل مقطع (نیروی موجود) تحت بارهای سرویس (بارهای بدون ضریب)

۲-۳-۱-۲- روش حدی و مقاومت مجاز

ضابطه‌ی کلی طراحی در این روش‌ها به صورت زیر است:

$$T_u \le \phi_t P_n \ (LRFD) \qquad (۱۳-۲)$$

$$T_s \le \frac{P_n}{\Omega_t} \ (ASD) \qquad (۱۴-۲)$$

الف- معیار تسلیم:

$$P_n = F_yA_g \qquad (۱۵-۲)$$

$$\phi_t = ۰/۹ \ (LRFD), \quad \Omega_t = ۱/۶۷ \ (ASD)$$

ب- معیار گسیختگی:

$$P_n = F_uA_e \qquad (۱۶-۲)$$

$$\phi_t = ۰/۷۵ \ (LRFD), \quad \Omega_t = ۲ \ (ASD)$$

T_s: نیرو های ناشی از تحلیل مقطع تحت بارهای سرویس (بارهای بدون ضریب)

www.shop.civil808.com

T_u: نیرو های ناشی از تحلیل مقطع تحت بارهای نهایی (بارهای با ضریب)

F_y: تنش تسلیم فولاد

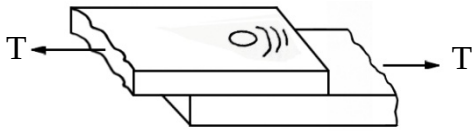
P_n: نیروی مقاوم اسمی مقطع

A_g: سطح مقطع کل

A_e: سطح مقطع مؤثر

۲-۳-۲- لهیدگی ورق

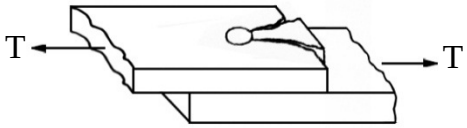
یکی از مکانیزمهایی که ممکن است منجر به خرابی اتصال شود، لهیدگی ورق اتصال است. در این شرایط به دلیل تماس وسیله اتصال با ورق و منتقل کردن تنش، سطح ورق و یا وسیله اتصال دچار لهیدگی می‌شود. معمولاً به دلیل بالا بودن مقاومت لهیدگی پیچ، ورق زودتر دچار لهیدگی شده و این خرابی در پیچ ایجاد نمی‌شود. مکانیزم مذکور به صورت کامل در فصل هشتم بررسی خواهد شد.



شکل ۲-۱۵- لهیدگی در ورق

۲-۳-۳- گسیختگی برشی ورق

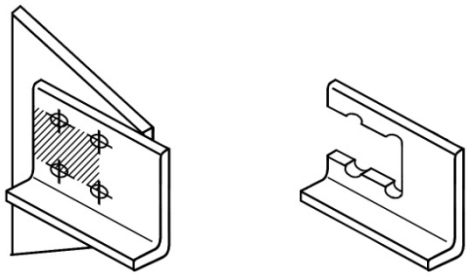
گسیختگی برشی نیز یکی دیگر از مکانیزم‌های خرابی عضو و ورق اتصال می‌باشد که در فصل هشتم بررسی خواهد شد.



شکل ۲-۱۶- گسیختگی برشی در ورق

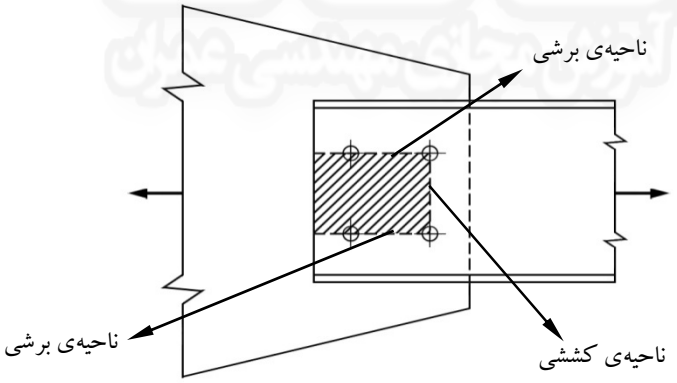
www.shop.civil808.com

۲-۳-۴- گسیختگی قالبی



شکل ۲-۱۷- گسیختگی قالبی

امکان وقوع این نوع خرابی، در اتصال انتهای تیرها که قسمتی از بال فوقانی تیر زبانه شده است، در اتصالات اعضای کششی و یا در ورق‌های اتصال انتهایی خرپاها و مهاربندها وجود دارد. در این مکانیزم، ترکیبی از گسیختگی‌های برشی و کششی در صفحات اتصال موجب قلوه کن شدن قسمتی از اتصال و در پی آن جدایی عضو از اتصال می‌شود. عضو جدا شده از اتصال، دیگر توانایی باربری نداشته و ممکن است با تحمیل نیروهایی به سایر اعضا، موجب خرابی آن‌ها شود. این نکته نشان دهنده‌ی اهمیت زیاد کنترل گسیختگی قالبی در اتصال است.



شکل ۲-۱۸- سطح مقطع برشی و کششی در گسیختگی قالبی

ضوابط آیین‌نامه‌ای برای تعیین مقاومت مقطع در برابر گسیختگی قالبی در ادامه آورده شده است.

www.shop.civil808.com

۲-۳-۴-۱- روش تنش مجاز

نیروی کششی مجاز در گسیختگی قالبی برابر است با:

$$R_{all} = F_v A_{nv} + F_t A_{nt} \qquad (۲-۱۷)$$

$$F_v = ۰/۳F_u \qquad (۲-۱۸)$$

$$F_t = ۰/۵F_u \qquad (۲-۱۹)$$

در این روابط:

F_v: تنش برشی مجاز

A_{nv}: سطح مقطع خالص تحت برش

F_t: تنش کششی مجاز

A_{nt}: سطح مقطع خالص تحت کشش

F_u: تنش نهایی قطعه متصل شونده

۲-۳-۴-۲- روش حدی و مقاومت مجاز

در این حالت، مقاومت طراحی (ϕR_n) و یا مقاومت مجاز (R_n / Ω) در برابر گسیختگی قالبی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$R_n = \text{Min}\left\{۰/۶F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \;,\; ۰/۶F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt}\right\} \qquad (۲-۲۰)$$

$$\phi = ۰/۷۵ \text{ (LRFD)}, \quad \Omega = ۲ \text{ (ASD)}$$

در واقع این روش، گسیختگی قالبی را در دو حالت بررسی می‌نماید:

الف- در صورتی که $۰/۶F_u A_{nv} < ۰/۶F_y A_{gv}$ باشد، شکست برشی به همراه شکست کششی در مقطع رخ خواهد داد:

$$R_n = ۰/۶F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \qquad (۲-۲۱)$$

ب- در صورتی که $۰/۶F_u A_{nv} > ۰/۶F_y A_{gv}$ باشد، تسلیم برشی به همراه شکست کششی در مقطع رخ خواهد داد:

www.shop.civil808.com

$$R_n = ۰/۶F_yA_{gv} + U_{bs}F_uA_{nt} \qquad (۲۲-۲)$$

در این روابط:

A_{gv}: سطح مقطع کلی تحت برش

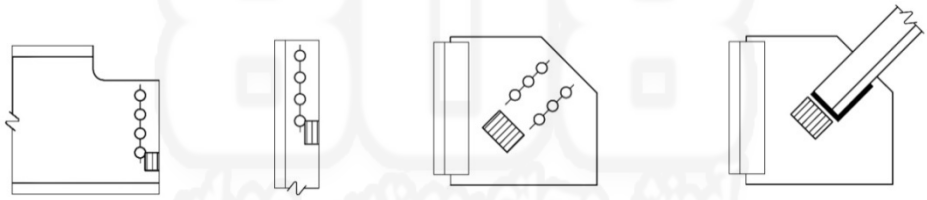
A_{nv}: سطح مقطع خالص تحت برش

A_{nt}: سطح مقطع خالص تحت کشش

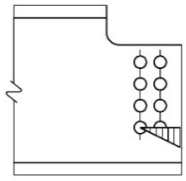
F_u: تنش نهایی قطعه متصل شونده

F_y: تنش حد تسلیم قطعه متصل شونده

U_{bs}: ضریب توزیع تنش که در شرایط توزیع یکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن برابر ۱ و برای توزیع غیر یکنواخت برابر ۰/۵در نظر گرفته می‌شود. نمونه‌هایی از حالات مختلف توزیع تنش در شکل‌های ۲-۱۹و ۲-۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۹- حالت هایی که در آن‌ها $U_{bs}=۱$ در نظر گرفته می‌شود



شکل ۲-۲۰- حالتی که در آن $U_{bs}=۰/۵$ در نظر گرفته می‌شود

۲-۴- کنترل لاغری در عضوهای کششی

آیین‌نامه‌ها برای کنترل و محدود کردن انعطاف پذیری و خیز اعضا تحت اثر وزن خود، لاغری آن‌ها را به مقدار بدست آمده از رابطه (۲-۲۳) محدود می کنند:

www.shop.civil808.com

$$\frac{L}{r_{min}} \leq ۳۰۰ \qquad (۲۳-۲)$$

در میل مهارهای کششی در صورتی که میلگرد دارای پیش تنیدگی اولیه به مقدار کافی باشد رعایت محدودیت لاغری لازم نیست ولی در غیر این صورت باید رابطه (۲-۲۴) را کنترل نمود:

$$\frac{L}{D} \leq ۳۰۰ \qquad (۲۴-۲)$$

که در این دو رابطه:

L: طول

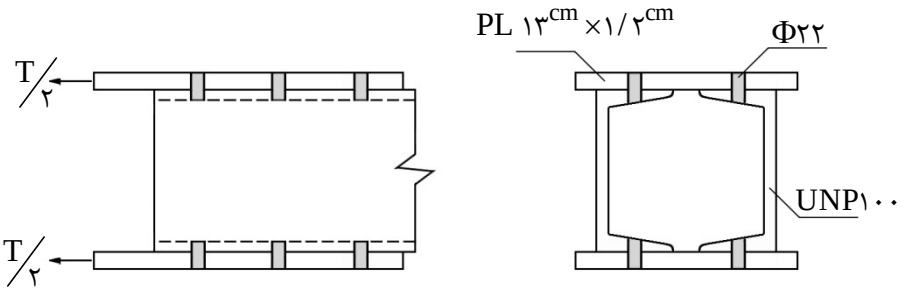
r: شعاع ژیراسیون

D: قطر

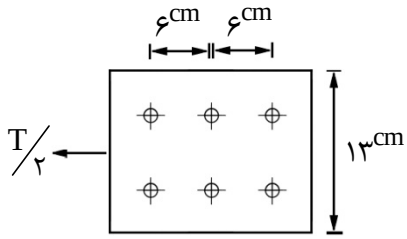
مثال ۲- ۴- مقطع نشان داده شده در شکل را در نظر بگیرید، حداکثر نیرویی که مجموعه قادر به تحمل آن می‌باشد را با فرض جوابگو بودن گسیختگی قالبی تعیین نمایید. قطر پیچ‌ها ۲۲^{mm}، سوراخ‌ها استاندارد و با استفاده از پانچ ایجاد شده اند و فولاد مصرفی از نوع ST۳۷ می‌باشد. مسأله را با روش‌های زیر حل کنید:

الف- روش تنش مجاز

ب- روش حدی و روش مقاومت مجاز در صورتی که ۸۰٪ بار، زنده و ۲۰٪ آن، مرده باشد.



www.shop.civil808.com



حل:

الف- روش تنش مجاز

۱- تعیین ظرفیت کششی هر یک از ورق ها

بررسی معیار تسلیم:

$$T_{s1} \le ۰/۶F_yA_g$$

$$A_g = ۱۳\times ۱/۲ = ۱۵/۶^{cm^۲}$$

$$\frac{T_{s1}}{۲} \le ۰/۶\times ۲۴۰۰\times ۱۵/۶$$

و بنابراین:

$$T_{s1} \le ۴۴/۹۳^{ton}$$

بررسی معیار گسیختگی:

$$T_{s1} \le ۰/۵F_uA_e$$

قطر سوراخ‌ها:

$$d_h = ۲/۲ + ۰/۲ + ۰/۲ = ۲/۶^{cm}$$

$$A_e = UA_n$$

نیروی کششی، توسط تمام سطح ورق انتقال می‌یابد. بنابراین:

$$U = ۱$$

$$A_n = ۱۵/۶ - ۲\times ۲/۶\times ۱/۲ = ۹/۳۶^{cm^۲}$$

$$A_n \le ۰/۸۵\times A_g \quad OK$$

$$A_e = UA_n = ۱\times ۹/۳۶ = ۹/۳۶^{cm^۲}$$

$$\frac{T_{s1}}{۲} \le ۰/۵\times ۳۷۰۰\times ۹/۳۶$$

$$T_{s1} \le ۳۴/۶۳^{ton}$$

www.shop.civil808.com

بنابراین بیشترین نیرویی که ورق های کششی قادر به تحمل آن هستند، برابر خواهد بود با:

$$T_{s1} = Min\{۴۴/۹۳, ۳۴/۶۳\} = ۳۴/۶۳^{ton}$$

۲- تعیین ظرفیت کششی هر کدام از ناودانی‌ها

بررسی معیار تسلیم:

$$T_{s2} \le ۰/۶F_yA_g$$

$$A_g = ۱۳/۵^{cm^2}$$

$$\frac{T_{s2}}{۲} \le ۰/۶\times۲۴۰۰\times۱۳/۵$$

$$T_{s2} \le ۳۸/۸۸^{ton}$$

بررسی معیار گسیختگی:

$$T_{s2} \le ۰/۵F_uA_e$$

$$A_e = UA_n$$

در راستای نیرو، حداقل سه وسیله اتصال وجود دارد. بنابراین از ضوابط ارائه شده در قسمت تنش مجاز ویرایش سوم مبحث دهم، ضریب سطح موثر برابر ۰/۸۵ خوانده می‌شود.

$$U = ۰/۸۵$$

$$A_n = ۱۳/۵ - ۲\times۲/۶\times۰/۸۵ = ۹/۰۸^{cm^2}$$

$$A_e = ۰/۸۵\times۹/۰۸ = ۷/۷۲^{cm^2}$$

$$\frac{T_{s2}}{۲} \le ۰/۵\times۳۷۰۰\times۷/۷۲$$

$$T_{s2} \le ۲۸/۵۶^{ton}$$

بنابراین بیشترین نیرویی که ناودانی های مقطع قادر به تحمل آن هستند، برابر خواهد بود با:

$$T_{s2} = \min\{۳۳/۸۸, ۲۸/۵۶\} = ۲۸/۵۶^{ton}$$

با بروز خرابی در هر یک از اجزای مقطع، کل عضو کششی به خرابی می‌رسد. بنابراین بیشترین نیرویی که مجموعه قادر به تحمل آن است، کمترین مقدار از بین T_{s1} و T_{s2} خواهد بود.

$$T_s = \min\{T_{s1}, T_{s2}\} = ۲۸/۵۶^{ton}$$

ب- روش حدی و مقاومت مجاز

۱- تعیین ظرفیت کششی هر یک از ورق ها

بررسی معیار تسلیم:

www.shop.civil808.com

$$P_n = F_y A_g = ۲۴۰۰ \times ۱۵/۶۵ = ۳۷/۴۴^{ton}$$

روش مقاومت مجاز	روش حدی
$\Omega_t = ۱/۶۷$ $\frac{P_n}{\Omega_t} = \frac{۳۷/۴۴}{۱/۶۷} = ۲۲/۴۲^{ton}$ $\frac{T_s}{۲} \le \frac{P_n}{\Omega_t}$ $T_s \le ۴۴/۸۴^{ton}$	$\phi_t = ۰/۹$ $\phi_t P_n = ۰/۹ \times ۳۷/۴۴ = ۳۳/۷۰^{ton}$ $\frac{T_u}{۲} \le \phi P_n$ $T_u \le ۶۷/۴۰^{ton}$

بررسی معیار گسیختگی:

$$P_n = F_u A_e$$
$$A_e = U A_n$$
$$A_n = ۱۵/۶ - ۲ \times ۲/۶ \times ۱/۲ = ۹/۳۶^{cm^۲}$$

نیروی کششی، توسط تمام سطح ورق انتقال می‌یابد. بنابراین:

$$U = ۱$$
$$A_e = ۱ \times ۹/۳۶ = ۹/۳۶^{cm^۲}$$
$$P_n = ۳۷۰۰ \times ۹/۳۶ = ۳۴/۶۳^{ton}$$

روش مقاومت مجاز	روش حدی
$\Omega_t = ۲$ $\frac{P_n}{\Omega_t} = \frac{۳۴/۶۳}{۲} = ۱۷/۳۲^{ton}$ $\frac{T_s}{۲} \le \frac{P_n}{\Omega_t}$ $T_s \le ۳۴/۶۴^{ton}$	$\phi_t = ۰/۷۵$ $\phi_t P_n = ۰/۷۵ \times ۳۴/۶۳ = ۲۵/۹۷^{ton}$ $\frac{T_u}{۲} \le \phi_t P_n$ $T_u \le ۵۱/۹۴^{ton}$

ظرفیت کششی ورق‌ها برابر است با مینیمم ظرفیت‌های به دست آمده در حالت تسلیم و گسیختگی:

www.shop.civil808.com

روش مقاومت مجاز	روش حدی
$T_s \le ۳۴/۶۴^{ton}$	$T_u \le ۵۱/۹۴^{ton}$

۲- تعیین ظرفیت کششی هر کدام از ناودانی‌ها

بررسی معیار تسلیم:

$$P_n = F_y A_g = ۲۴۰۰ \times ۱۳/۵ = ۳۲/۴۰^{ton}$$

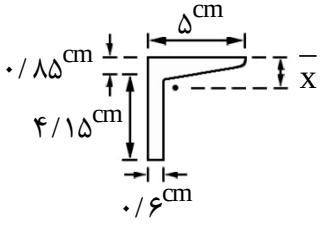
روش مقاومت مجاز	روش حدی
$\Omega_t = ۱/۶۷$ $\frac{P_n}{\Omega_t} = \frac{۳۲/۴۰}{۱/۶۷} = ۱۹/۴^{ton}$ $\frac{T_s}{۲} \le \frac{P_n}{\Omega_t}$ $T_s \le ۳۸/۸۰^{ton}$	$\phi_t = ۰/۹$ $\phi_t P_n = ۰/۹ \times ۳۲/۴۰ = ۲۹/۱۶^{ton}$ $\frac{T_u}{۲} \le \phi_t P_n$ $T_u \le ۵۸/۳۲^{ton}$

گسیختگی: $P_n = F_u A_e$

$$A_e = U A_n$$

$$A_n = ۱۳/۵ - ۲ \times ۲/۶ \times ۰/۸۵ = ۹/۰۸^{cm^۲}$$

$$U = ۱ - \frac{\bar{x}}{L}$$



$$\bar{x} = \frac{۰/۸۵ \times ۵ \times \frac{۱}{۲} \times ۰/۸۵ + ۴/۱۵ \times ۰/۶ \times (\frac{۱}{۲} \times ۴/۱۵ + ۰/۸۵)}{۵ \times ۰/۸۵ + ۴/۱۵ \times ۰/۶} = ۱/۳۵$$

$$U = ۱ - \frac{۱/۳۵}{۲ \times ۶} = ۰/۸۹$$

$$A_e = ۰/۸۹ \times ۹/۰۸ = ۸/۰۸^{cm^۲}$$

www.shop.civil808.com

$P_n = ۳۷۰۰ \times ۸/۰۸ = ۲۹/۹۰^{ton}$

روش حدی	روش مقاومت مجاز
$\phi_t = ۰/۷۵$ $\phi_t P_n = ۰/۷۵ \times ۲۹/۹۰ = ۲۲/۴۳^{ton}$ $\frac{T_u}{۲} \le \phi_t P_n$ $T_u \le ۴۴/۸۶^{ton}$	$\Omega_t = ۲$ $\frac{P_n}{\Omega_t} = \frac{۲۹/۹۰}{۲} = ۱۴/۹۵^{ton}$ $\frac{T_s}{۲} \le \frac{P_n}{\Omega_t}$ $T_s \le ۲۹/۹۰^{ton}$

ظرفیت کششی ناودانی‌ها برابر است با مینیمم ظرفیت‌های به دست آمده در حالت تسلیم و گسیختگی:

روش حدی	روش مقاومت مجاز
$T_u \le ۴۴/۸۶^{ton}$	$T_s \le ۲۹/۹۰^{ton}$

ظرفیت کششی کل مقطع برابر است با مینیمم ظرفیت کششی ورق‌ها و ناودانی‌ها:

روش حدی	روش مقاومت مجاز
$T_u \le ۴۴/۸۶^{ton}$	$T_s \le ۲۹/۹۰^{ton}$

در حالت حدی (LRFD) در صورتی که ترکیب بار را $۱/۲D + ۱/۶L$ در نظر بگیریم و ٪۸۰ بار، زنده و ٪۲۰ آن، مرده باشد، مجموع بار مرده و زنده‌ی بدون ضریبی که مقطع می‌تواند تحمل کند برابر است با:

$T_u = ۱/۲D + ۱/۶L$

$T_u = ۱/۲(۰/۲T_s) + ۱/۶(۰/۸T_s) = ۱/۵۲T_s$

$۱/۵۲T_s \le ۴۴/۸۶$

$T_s \le ۲۹/۵۱^{ton}$

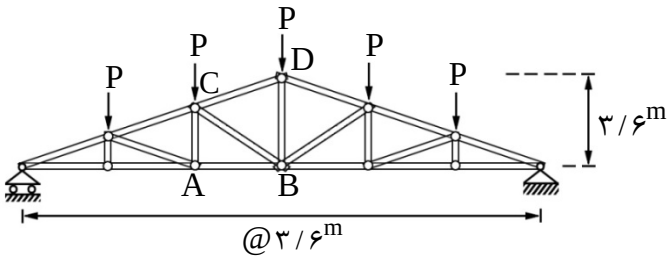
مثال ۲- ۵- در خرپای نشان داده شده، عضو AB را از جفت نبشی طرح کنید. در محل اتصال صفحه‌ای به ضخامت ۱۰^{mm} در بین نبشی‌ها قرار دارد و ۴ پیچ متوالی به قطر ۲۵^{mm} و فواصل ۶۰^{mm} برای اتصال آن مورد استفاده قرار گرفته است. سوراخ‌ها استاندارد بوده و با پانچ اجرا می‌گردند. فولاد مصرفی از نوع ST۳۷ در نظر گرفته شود. مسأله را با دو روش زیر حل کنید.

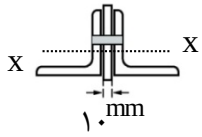
www.shop.civil808.com

الف- روش تنش مجاز

ب- روش حدی

$$P:\begin{cases} D = ۳^{ton} \\ L = ۷^{ton} \end{cases}$$



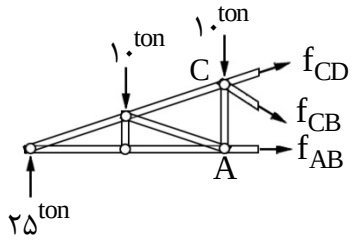


حل:

قطر سوراخ‌ها برابر است با:

$$d_h = ۲/۵ + ۰/۳ + ۰/۲ = ۳^{cm}$$

الف- روش تنش مجاز



$$P_s = D + L = ۷ + ۳ = ۱۰^{ton}$$

$$\sum M_{@C} = ۰ \Rightarrow ۱۰ \times ۳/۶ + f_{AB} \times ۲/۴ - ۲۵ \times ۷/۲ = ۰$$

$$f_{AB} = T_s = ۶۰^{ton} \text{ (کششی)}$$

با نوشتن ضابطه‌ی کلی طراحی عضو کششی بر اساس معیار تسلیم، حداقل سطح مقطع لازم برای جلوگیری از تسلیم کششی برابر خواهد بود با:

www.shop.civil808.com

$$T_s \le ۰/۶ \times ۲۴۰۰ \times A_g$$

$$A_g \ge \frac{۶۰ \times ۱۰^{۳}}{۰/۶ \times ۲۴۰۰}$$

$$A_g \ge ۴۱/۶۷ cm^{۲}$$

این مقدار، سطح کل مقطع کششی (مقطع جفت نبشی) است. با تقسیم آن بر ۲ سطح مقطع لازم هر کدام از نبشی‌ها به دست می‌آید.

$$A_{۱g} = \frac{۴۱/۶۷}{۲} = ۲۰/۸۴ cm^{۲}$$

$$Try: ۲L ۱۰۰ \times ۱۰۰ \times ۱۲$$

$$A_{۱g} = ۲۲/۷۰ cm^{۲}, \quad I_{۱x} = ۲۰۷ cm^{۴}$$

$$A_g = ۲۲/۷ \times ۲ = ۴۵/۴۰ cm^{۲}$$

اندیس ۱ در عبارت بالا به مفهوم مقطع تک نبشی می‌باشد.

بررسی معیار گسیختگی:

$$T_s \le ۰/۵ F_u A_e$$

در راستای نیرو حداقل ۳ وسیله اتصال وجود دارد. بنابراین:

$$U = ۰/۸۵$$

$$A_n = ۴۵/۴۰ - ۲ \times ۳ \times ۱/۲ = ۳۸/۲۰ cm^{۲}$$

$$A_e = UA_n = ۰/۸۵ \times ۳۸/۲۰ = ۳۲/۴۷ cm^{۲}$$

$$T_s \le ۰/۵ \times ۳۷۰۰ \times ۳/۴۷$$

$$۶۰ \le ۶۰/۰۷ \quad OK$$

بررسی لاغری عضو:

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$$

محور ضعیف جفت نبشی های بال مساوی، محور x می‌باشد. بنابراین داریم:

$$I_{min} = ۲ \times ۲۰۷ = ۴۱۴ cm^{۴}$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{۴۱۴}{۴۵/۴}} = ۳/۰۲$$

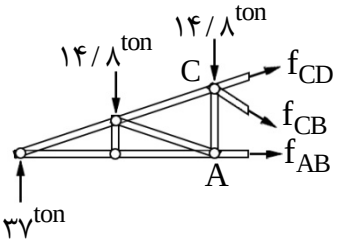
$$\frac{L}{r_{min}} = \frac{۳۶۰}{۳/۰۲} = ۱۱۹/۲۱ < ۳۰۰ \quad OK$$

www.shop.civil808.com

Use: ۲L۱۰۰×۱۰۰×۱۲

ب- روش حدی

$$P_u = ۱/۲D + ۱/۶L = ۱/۲ \times ۳ + ۱/۶ \times ۷ = ۱۴/۸۰^{ton}$$



$$\sum M_{@C} = ۰ \Rightarrow ۱۴/۸۰ \times ۳/۶ + f_{AB} \times ۲/۴ - ۳۷ \times ۷/۲ = ۰$$

$$f_{AB} = T_u = ۸۸/۸۰^{ton} \quad (\text{کششی})$$

مشابه قسمت الف، با نوشتن ضابطه‌ی کلی طراحی عضو کششی بر اساس معیار تسلیم، حداقل سطح مقطع لازم برای جلوگیری از تسلیم کششی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_n = F_y A_g$$

$$T_u \le \phi_t P_n, \quad \phi_t = ۰/۹$$

$$۸۸/۸ \times ۱۰^{۳} \le ۰/۹ \times ۲۴۰۰ \times A_g$$

$$A_g \ge ۴۱/۱۱^{cm^۲}$$

با تقسیم مقدار به دست آمده بر ۲ سطح مقطع لازم هر کدام از نبشی‌ها برابر خواهد بود با:

$$A_{۱g} = \frac{۴۱/۱۱}{۲} = ۲۰/۵۵^{cm^۲}$$

Try: ۲L۱۰۰×۱۰۰×۱۲

$$A_{۱g} = ۲۲/۷^{cm^۲}, \quad I_{۱x} = ۲۰۷^{cm^۴}$$

$$A_g = ۲۲/۷ \times ۲ = ۴۵/۴^{cm^۲}$$

بررسی معیار گسیختگی:

$$P_n = F_u A_e$$

$$U = ۱ - \frac{\bar{x}}{L} = ۱ - \frac{۲/۹}{۳ \times ۶} = ۰/۸۴$$

$$A_n = ۴۵/۴ - ۲ \times ۳ \times ۱/۲ = ۳۸/۲^{cm^۲}$$

www.shop.civil808.com

$$A_e = UA_n = ۰/۸۴ \times ۳۸/۲ = ۳۲/۰۹^{cm^۲}$$

$$T_u \le \phi_t P_n, \quad \phi_t = ۰/۷۵$$

$$\phi_t P_n = ۰/۷۵ \times ۳۷۰۰ \times ۳۲/۰۹ = ۸۹/۰۵^{ton}$$

$$۸۸/۸ \le ۸۹/۰۵ \qquad OK$$

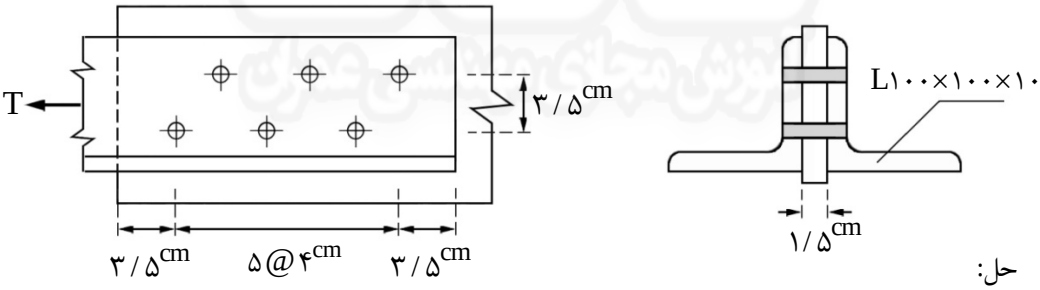
دقت شود که مقدار و محدودیت‌های لاغری عضو، بستگی به روش طراحی آن ندارد. بنابراین از کنترل مجدد آن پرهیز می‌شود.

Use: ۲L۱۰۰×۱۰۰×۱۲

مثال ۲- ۶- جفت نبشی نشان داده شده در شکل را در نظر بگیرید. در صورتی که قطر پیچ‌ها، ۱۸^{mm} و سوراخکاری با پانچ انجام شده باشد، کفایت عضو کششی را با استفاده از روش تنش مجاز، حدی و مقاومت مجاز، در دو حالت زیر بررسی نمایید. نیروی کششی اعمال شده به مجموع دو نبشی ۵۰^{ton} و شامل ۸۰٪ بار زنده و ۲۰٪ بار مرده، فولاد مصرفی از ST۳۷ و طول عضو ۶^{m} فرض شود.

۱- در صورتی که لقمه‌ها به فاصله‌ی ۶۰^{cm} از یکدیگر اجرا شوند.

۲- در صورتی که لقمه‌ها اجرا نشوند.



حل:

مشخصات نبشی ۱۰۰:

$$A_{۱g} = ۱۹/۲^{cm^۲} \qquad \bar{x} = ۲/۸۲^{cm} \qquad I_{۱x} = ۱۷۷^{cm^۴}$$

$$r_{۱x} = ۳/۰۴^{cm} \qquad r_{\xi} = ۳/۸۲^{cm} \qquad r_{\eta} = ۱/۹۵^{cm}$$

η و ξ محورهای اصلی تک نبشی هستند.

سهم هر یک از نبشی ها از نیروی کششی ۵۰^{ton} برابر است با:

$$T_s = \frac{۱}{۲} \times ۵۰ = ۲۵^{ton}$$

www.shop.civil808.com

الف- روش تنش مجاز

بررسی معیار تسلیم:

$$T_s \le ۰/۶F_yA_g$$

$$T_s \le ۰/۶\times ۲۴۰۰\times ۱۹/۲$$

$$۲۵ \le ۲۷/۶۵^{ton} \quad OK$$

بررسی معیار گسیختگی:

$$T_s \le ۰/۵F_uA_e$$

قطر سوراخ:

$$d_h = ۱/۸ + ۰/۲ + ۰/۲ = ۲/۲^{cm}$$

در راستای نیرو، حداقل سه وسیله اتصال وجود دارد. بنابراین:

$$U = ۰/۸۵$$

$$A_n = ۱۹/۲ - ۲\times ۲/۲\times ۱ + \frac{۴^۲}{۴\times ۳/۵} = ۱۵/۹۴^{cm^۲}$$

$$A_e = UA_n$$

$$A_e = ۰/۸۵\times ۱۵/۹۴ = ۱۳/۵۵^{cm^۲}$$

$$T_s \le ۰/۵\times ۳۷۰۰\times ۱۳/۵۵$$

$$۲۵ \le ۲۵/۰۷^{ton} \quad OK$$

بررسی گسیختگی قالبی:

$$T_s \le R_{all}$$

همانگونه که در شکل مثال مشاهده می‌شود، ضخامت ورق اتصال، $۱/۵^{cm}$ و ضخامت نبشی‌ها، ۱^{cm} می‌باشد. گسیختگی قالبی در ورقی که ضخامت آن کمتر است رخ خواهد داد. بنابراین در این قسمت، ضخامت ۱^{cm} معیار محاسبات قرار می‌گیرد.

سطح مقطع خالص تحت برش:

$$A_{nv} = \left[\left(۴\times ۴ + ۳/۵\right) + \left(۵\times ۴ + ۳/۵\right) - ۵\times ۲/۲\right]\times ۱ = ۳۲^{cm^۲}$$

سطح مقطع خالص تحت کشش:

$$A_{nt} = \left[۳/۵ - ۲/۲ + \frac{۴^۲}{۴\times ۳/۵}\right]\times ۱ = ۲/۴۴^{cm^۲}$$

www.shop.civil808.com

بنابراین تنش مجاز کششی در گسیختگی قالبی برابر خواهد بود با:

$$R_{all} = F_v A_{nv} + F_t A_{nt} = ۰/۳F_u A_{nv} + ۰/۵F_u A_{nt}$$

$$R_{all} = ۰/۳ \times ۳۷۰۰ \times ۳۲ \times ۱۰^{-۳} + ۰/۵ \times ۳۷۰۰ \times ۲/۴۴ \times ۱۰^{-۳} = ۴۰/۰۳^{ton}$$

$$۲۵ \le ۴۰/۰۳^{ton} \quad OK$$

بررسی لاغری عضو:

۱- در صورتی که لقمه‌ها به فاصله‌ی ۶۰^{cm} از یکدیگر اجرا شوند:

در این حالت، لاغری را یک بار در کل عضو کششی به عنوان مجموعه‌ای واحد (به صورت مقطع جفت نبشی) و بار دیگر در فواصل آزاد بین لقمه‌ها و در مقطع تک کنترل می‌شوند.

۱-۱- بررسی لاغری در مقطع جفت نبشی:

ممان اینرسی حداقل در عضو، حول محور x رخ می‌دهد. بنابراین داریم:

$$I_x = ۲I_{۱x}$$

$$A = ۲A_۱$$

$$r_{min} = r_x = \sqrt{\frac{۲I_{۱x}}{۲A_{۱x}}} = \sqrt{\frac{I_{۱x}}{A_{۱x}}} = r_{۱x} = ۳/۰۴^{cm}$$

$$L = ۶۰۰^{cm}$$

$$\frac{L}{r_{min}} = \frac{۶۰۰}{۳/۰۴} = ۱۹۷/۳۷$$

$$۱۹۷/۳۷ < ۳۰۰ \quad OK$$

۱-۲- بررسی لاغری در مقطع تک نبشی:

در این حالت شعاع ژیراسیون هر یک از نبشی ها حول محور اصلی آن در نظر گرفته می‌شود و داریم:

$$r_{min} = Min\{r_\eta, r_\xi\} = ۱/۹۵^{cm}$$

$$L = ۶۰^{cm}$$

$$\frac{L}{r_{min}} = \frac{۶۰}{۱/۹۵} = ۳۰/۷۷$$

$$۳۰/۷۷ < ۳۰۰ \quad OK$$

۲- در صورتی که لقمه‌ها اجرا نشوند:

$$r_{min} = Min\{r_\eta, r_\xi\} = ۱/۹۵^{cm}$$

$$L = ۶۰۰^{cm}$$

www.shop.civil808.com

$$\frac{L}{r_{min}}=\frac{۶۰۰}{۱/۹۵}=۳۰۷/۷$$

$$۳۰۷/۷<۳۰۰ \quad NG$$

ب-روش حدی و تنش مجاز

$$T_s=۲۵^{ton}$$

$$T_u=۱/۲D+۱/۶L$$

$$T_u=۱/۲\times۰/۲T_s+۱/۶\times۰/۸T_s=۱/۵۲T_s$$

$$T_u=۱/۵۲\times۲۵=۳۸^{ton}$$

بررسی معیار تسلیم:

$$P_n=F_yA_g=۲۴۰۰\times۱۹/۲=۴۶/۰۸^{ton}$$

روش حدی	روش مقاومت مجاز
$\phi_t=۰/۹$ $\phi_tP_n=۰/۹\times۴۶/۰۸=۴۱/۴۷^{ton}$ $T_u\le\phi_tP_n$ $۳۸\le۴۱/۴۷^{ton}$ OK	$\Omega_t=۱/۶۷$ $\frac{P_n}{\Omega_t}=\frac{۴۶/۰۸}{۱/۶۷}=۲۷/۵۹^{ton}$ $T_s\le\frac{P_n}{\Omega_t}$ $۲۵\le۲۷/۵۹^{ton}$ OK

بررسی معیار گسیختگی:

$$P_n=F_uA_e$$

$$A_n=۱۵/۹۴^{cm^۲}$$

$$\bar{x}=۲/۸۲^{cm}$$

$$L=۴\times۴=۱۶^{cm}$$

$$U=۱-\frac{\bar{x}}{L}=۱-\frac{۲/۸۲}{۱۶}=۰/۸۲$$

$$A_e=UA_n$$

$$A_e=۰/۸۲\times۱۵/۹۴=۱۳/۰۷^{cm^۲}$$

$$P_n=۳۷۰۰\times۱۳/۰۷=۴۸/۳۶^{ton}$$

www.shop.civil808.com

روش مقاومت مجاز	روش حدی
$\Omega_t = ۲$ $\frac{P_n}{\Omega_t} = \frac{۴۸/۳۶}{۲} = ۲۴/۱۸^{ton}$ $T_s \le \frac{P_n}{\Omega_t}$ $۲۵ \not\le ۲۴/۱۸^{ton}$ NG	$\phi_t = ۰/۷۵$ $\phi_t P_n = ۰/۷۵ \times ۴۸/۳۶ = ۳۶/۲۷^{ton}$ $T_u \le \phi_t P_n$ $۳۸ \not\le ۳۶/۲۷^{ton}$ NG

مشاهده می‌شود که مقطع عضو، در بررسی با هر دو روش حدی و مقاومت مجاز در برابر معیار گسیختگی کفایت ندارد. بنابراین دیگر نیازی به بررسی گسیختگی قالبی نیست. ولی برای حفظ جنبه‌ی آموزشی مثال، در این دو روش نیز گسیختگی قالبی بررسی می‌شود.

بررسی گسیختگی قالبی:

$$R_n = Min\left\{۰/۶F_uA_{nv} + U_{bs}F_uA_{nt} \ , \ ۰/۶F_yA_{gv} + U_{bs}F_uA_{nt}\right\}$$

$$A_{nv} = ۳۲^{cm^۲}$$

$$A_{nt} = ۲/۴۴^{cm^۲}$$

$$A_{gv} = A_{nv} + ۶d_ht = ۳۲ + ۶ \times ۲/۲ \times ۱ = ۴۵/۲^{cm^۲}$$

مقایسه‌ی $۰/۶F_uA_{nv}$ و $۰/۶F_yA_{gv}$:

$$۰/۶F_uA_{nv} = ۰/۶ \times ۳۷۰۰ \times ۳۲ = ۷۱/۰۴^{ton}$$

$$۰/۶F_yA_{gv} = ۰/۶ \times ۲۴۰۰ \times ۴۵/۲ = ۶۵/۰۹^{ton}$$

مشاهده می‌شود که در این مقطع، مقدار به دست آمده از رابطه‌ی $۰/۶F_yA_{gv}$ کمتر از $۰/۶F_uA_{nv}$ می‌باشد. بنابراین پیش از آن که مقطع برشی گسیخته شود، دچار تسلیم برشی خواهد شد.

توزیع تنش کششی در انتهای عضو، یکنواخت می‌باشد. بنابراین مقدار ضریب U_{bs} برابر ۱ فرض می‌شود.

$$U_{bs} = ۱$$

$$R_n = ۰/۶F_yA_{gv} + U_{bs}F_uA_{nt}$$

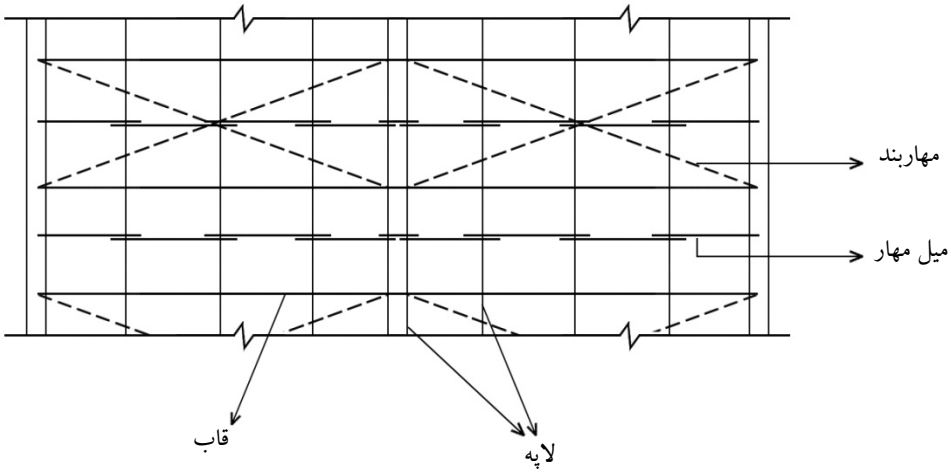
$$R_n = ۶۵/۰۹ + ۱ \times ۳۷۰۰ \times ۲/۴۴ \times ۱۰^{-۳} = ۷۴/۱۲^{ton}$$

www.shop.civil808.com

روش مقاومت مجاز	روش حدی
$\Omega = ۲$ $\frac{R_n}{\Omega} = \frac{۷۴/۱۲}{۲} = ۳۷/۰۶^{ton}$ $T_s \le \frac{R_n}{\Omega}$ $۲۵ \le ۳۷/۰۶^{ton}$ OK	$\phi = ۰/۷۵$ $\phi R_n = ۰/۷۵ \times ۷۴/۱۲ = ۵۵/۵۹^{ton}$ $T_u \le \phi R_n$ $۳۸ \le ۵۵/۵۹^{ton}$ OK

۲-۵- میلگردهای کششی

میلگردهای دنده شده از جمله اعضای کششی در سازه‌های فولادی می‌باشند که از متداول‌ترین نوع آن‌ها می‌توان به میل مهارها و مهاربندها اشاره نمود.



شکل ۲-۲۱- نمایش میل مهارها و مهاربندها در پلان سقف شیبدار

دلایل زیر را می‌توان برای استفاده از میل‌مهارها در سازه‌های فولادی نام برد:

- به دلیل ضعف لاپه‌ها در خمش جانبی، وجود میل مهارها باعث افزایش مقاومت جانبی در لاپه‌ها می‌گردد (در رابطه با لاپه‌ها در فصل طراحی اعضای خمشی بیش‌تر صحبت خواهد شد).
- میل مهارها به عنوان تکیه‌گاه‌های لاپه‌ها استفاده می‌گردند.
- میل مهار ها باعث یکپارچگی بیشتر سقف می‌گردند.

در سقف‌های با شیب بیش از ۱۴° باید از میل مهار استفاده شود و توصیه می‌شود که:

www.shop.civil808.com

- در صورتی که فاصله‌ی بین دو قاب بیش از ۶^{m} باشد، حداقل در $\frac{۱}{۳}$ فاصله بین آن‌ها از میل مهار استفاده شود.

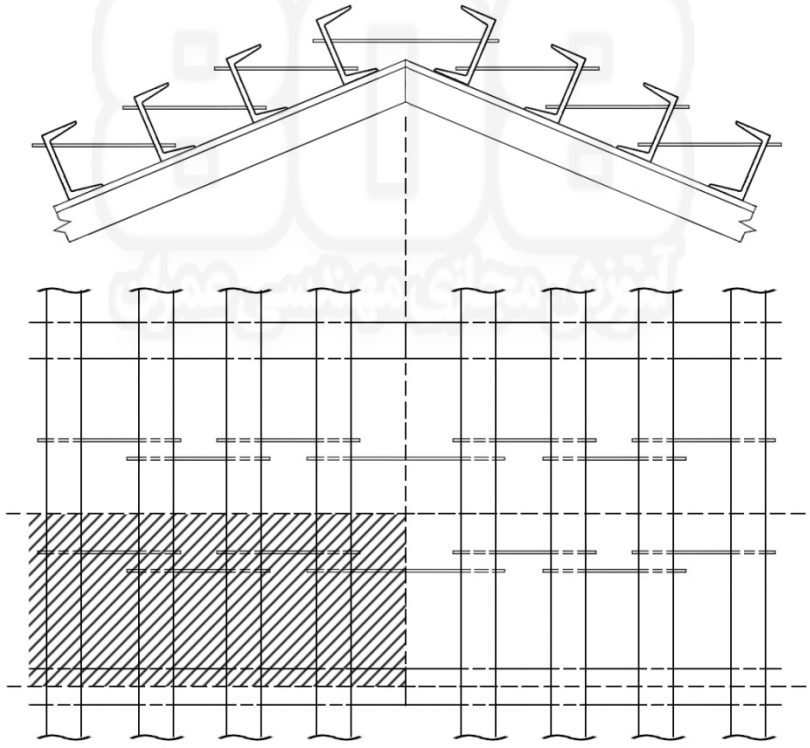
- اگر فاصله بین قاب ها کمتر از ۶^{m} باشد، حداقل در $\frac{۱}{۲}$ دهانه میل مهار تعبیه شود.

- در صورتی که بار اعمالی سنگین باشد محدودیت ۶^{m} به ۴^{m} کاهش می‌یابد.

۲-۵-۱- تحلیل کشش در میل مهارها

تحلیل کشش در میل مهارها را می‌توان به دو روش انجام داد:

الف- در روش اول، سطح بارگیر میلگردها در هر محور ملاک تحلیل قرار می‌گیرد و به دلیل این که کشش ماکزیمم در میلگردهای بالایی اتفاق می‌افتد، طول سطح بارگیر، طول کل سطح شیب دار و عرض آن برابر پهنای مؤثر پوشش میلگرد می‌باشد.



شکل ۲-۲۲- سطح بارگیر میل مهارها

ب- در روش دوم، میلگردها را به عنوان تکیه‌گاه‌های تیر لاپه در نظر گرفته و با تحلیل تیر نشان داده شده در شکل ۲-۳۲، واکنش‌های تکیه‌گاهی را به دست می‌آوریم.

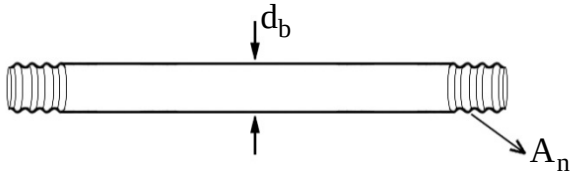
www.shop.civil808.com

شکل ۲-۲۳- الف) لاپه و میل مهارهای متصل به آن ب) مدل کردن میل مهارها به عنوان تکیه گاه

۲-۵-۲- انواع میلگردهای کششی

به دلیل رزوه کردن میلگردها، سطح مقطع آن‌ها در محل رزوه کاهش پیدا می‌کند که برای جبران آن می‌توان در قسمت رزوه شده قطر میلگرد مصرفی را افزایش داد. بر این اساس دو نوع میلگرد متداول عبارتند از:

- در صورتی که قطر میلگرد در طول آن ثابت بماند:



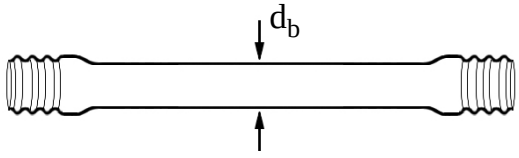
شکل ۲-۲۴- میلگرد رزوه شده

$$A_n = \frac{\pi}{۴}\left(d_b - \frac{۰/۹۴۷۳}{\frac{n}{۲/۵}}\right)^{۲} \qquad (۲۵-۲)$$

A_n: سطح کاهش یافته در اثر رزوه

n: تعداد رزوه در هر $۲/۵^{cm}$

- در صورتی که قطر میلگرد در ناحیه‌ی رزوه افزایش یابد:



شکل ۲-۲۵- افزایش سطح مقطع میلگرد در ناحیه رزوه شده

طراحی میلگردهای کششی همانند سایر اعضای کششی می‌باشد با این تفاوت که کاهش سطح مقطع

www.shop.civil808.com

آن‌ها به دلیل رزوه می‌باشد. برای در نظر گرفتن کاهش سطح در روابط طراحی اعضای کششی می‌توان از رابطه‌ی (۲-۲۵) استفاده کرد ولی آیین‌نامه‌ها این اثر را با کاهش تنش گسیختگی فولاد و استفاده از سطح مقطع اسمی میلگرد در نظر می‌گیرند. لازم به ذکر است که در طراحی میلگردهای کششی، به دلیل آن که اتصال به صورت کامل و با استفاده از مهره انجام می‌شود، نیازی به در نظر گرفتن ضریب سطح موثر نمی‌باشد. روابط طراحی میلگردهای کششی براساس ضوابط آیین‌نامه‌ای در ادامه آمده است:

۲-۵-۲-۱- روش تنش مجاز

$$T_s \le ۰/۳۳F_uA_b \qquad (۲۶-۲)$$

A_b: سطح مقطع اسمی‌میلگرد (بدون رزوه)

۲-۵-۲-۲- روش حدی و مقاومت مجاز

$$T_u \le \phi_t P_n \quad (LRFD) \qquad (۲۷-۲)$$

$$T_s \le \frac{P_n}{\Omega_t} \quad (ASD) \qquad (۲۸-۲)$$

$$P_n = ۰/۷۵F_uA_b \qquad (۲۹-۲)$$

$$\phi_t = ۰/۹ \ (LRFD), \quad \Omega_t = ۱/۶۷ \ (ASD)$$

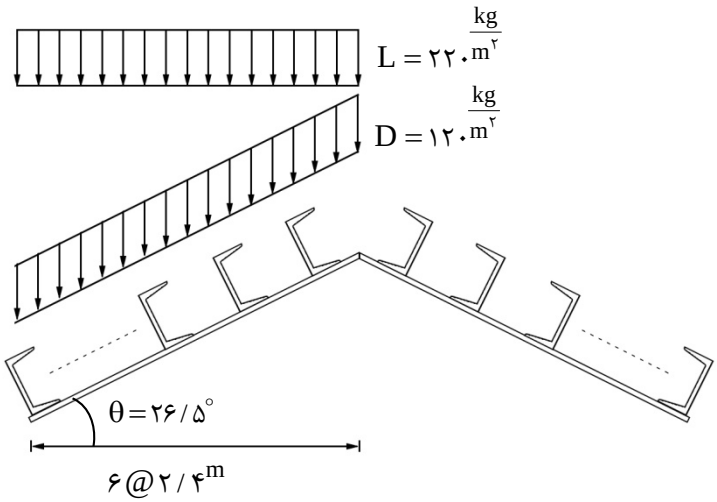
مثال ۲- ۷- با توجه به شکل زیر مطلوبست طرح میلگردهای کششی در صورتی که فاصله‌ی خرپاها از هم $۸/۵^m$ و میله‌های کششی در $\frac{۱}{۲}$ فاصله‌ی بین خرپاها تعبیه گردند. فولاد مصرفی از نوع ST۳۷ می‌باشد.

مسأله را با روش‌های زیر حل کنید:

الف- تنش مجاز

ب- حدی

www.shop.civil808.com



حل:

الف- روش تنش مجاز

الف-۱- روش سطح بارگیر:

تبدیل بار مرده از سطح مایل به سطح افق:

$$D = \frac{۱۲۰}{\cos ۲۶/۵^\circ} = ۱۳۴/۰۹ \frac{kg}{m^۲}$$

$$W_s = D + L = ۱۳۴/۰۹ + ۲۲۰ = ۳۵۴/۰۹ \frac{kg}{m^۲}$$

در هر ردیف، میلگردهای بالایی بار میلگردهای پایین تر از خود را نیز تحمل می‌کنند پس میلگردی که بالاتر از همه قرار می‌گیرد بیشترین نیرو را تحمل خواهد نمود و طراحی براساس آن صورت می‌گیرد. از طرفی مؤلفه‌ی نیرو در راستای عمود بر لاپه‌ها توسط خرپا و فقط مؤلفه موازی با سطح مایل توسط میل مهارها تحمل می‌شود با این توضیحات داریم:

عرض سطح بارگیر:

$$a = \frac{۸/۵}{۲} = ۴/۲۵ m$$

طول سطح بارگیر:

$$b = ۶ \times ۲/۴ = ۱۴/۴ m$$

و نیروی موجود در بالاترین میل مهار:

$$T_s = ۳۵۴/۰۹ \times ۴/۲۵ \times ۱۴/۴ \times \sin ۲۶/۵^\circ = ۹/۶۷ ton$$

www.shop.civil808.com

بنابراین با نوشتن ضابطه‌ی طراحی خواهیم داشت:

$$T_s \le ۰/۳۳ \times F_u A_b$$

$$۹/۶۷ \times ۱۰^{۳} \le ۰/۳۳ \times ۳۷۰۰ \times (\frac{\pi}{۴} d_b^{۲})$$

$$d_b \ge ۳/۱۸^{cm}$$

$$Use: \quad \Phi ۳۲$$

الف-۲- روش واکنش تکیه‌گاهی:

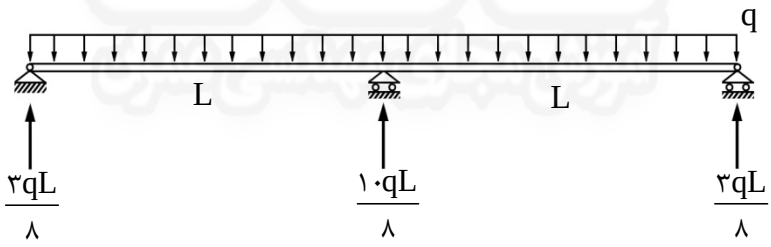
تبدیل بار مرده از سطح مایل به سطح افق:

$$D = \frac{۱۲۰}{\cos ۲۶/۵^{\circ}} = ۱۳۴/۰۹ \frac{kg}{m^{۲}}$$

$$W_s = D + L = ۱۳۴/۰۹ + ۲۲۰ = ۳۵۴/۰۹ \frac{kg}{m^{۲}}$$

با تبدیل بار به صورت یک بار خطی، بر روی هر لاپه و سپس تصویر کردن آن در راستای سطح مایل داریم:

$$q_s = ۳۵۴/۰۹ \times ۱۴/۴ \times \sin ۲۶/۵ = ۲۲۷۵/۱۲ \frac{kg}{m}$$



بنابراین واکنش تکیه‌گاه وسط برابر خواهد بود با:

$$T_{۱s} = \frac{۱۰qL}{۸} = \frac{۱۰ \times ۲۲۷۵/۱۲ \times ۴/۲۵}{۸} = ۱۲/۰۹^{ton}$$

ضابطه‌ی طراحی:

$$T_s \le ۰/۳۳ \times F_u A_b$$

$$۱۲/۰۹ \times ۱۰^{۳} \le ۰/۳۳ \times ۳۷۰۰ \times (\frac{\pi}{۴} d_b^{۲})$$

www.shop.civil808.com

$d_b \geq ۳/۵۳^{cm}$

Use: $\Phi ۳۶$

ب- روش حدی

ب-۱- روش سطح بارگیر:

تبدیل بار مرده از سطح مایل به سطح افق:

$$D = \frac{۱۲۰}{\cos ۲۶/۵^\circ} = ۱۳۴/۰۹ \frac{kg}{m^۲}$$

$$W_u = ۱/۲D + ۱/۶L = ۱/۲ \times ۱۳۴/۰۹ + ۱/۶ \times ۲۲۰ = ۵۱۲/۹۱ \frac{kg}{m^۲}$$

$$T_u = ۵۱۲/۹۱ \times ۴/۲۵ \times ۱۴/۴ \times \sin ۲۶/۵ = ۱۴۰۰۶/۱۹^{kg}$$

ضابطه‌ی طراحی:

$$T_u \leq \phi_t P_n, \quad \phi_t = ۰/۷۵$$

$$P_n = ۰/۷۵ F_u A_b$$

بنابراین:

$$۱۴۰۰۶/۱۹ \leq ۰/۷۵ \times ۳۷۰۰ \times (\frac{\pi}{۴} d_b^۲)$$

$d_b \geq ۲/۵۴^{cm}$

Use: $\Phi ۲۶$

ب-۲- روش واکنش تکیه‌گاهی:

تبدیل بار مرده از سطح مایل به سطح افق:

$$D = \frac{۱۲۰}{\cos ۲۶/۵^\circ} = ۱۳۴/۰۹ \frac{kg}{m^۲}$$

$$W_u = ۱/۲D + ۱/۶L = ۱/۲ \times ۱۳۴/۰۹ + ۱/۶ \times ۲۲۰ = ۵۱۲/۹۱ \frac{kg}{m^۲}$$

$$q_u = ۵۱۲/۹۱ \times ۱۴/۴ \times \sin ۲۶/۵ = ۳۲۹۵/۵۷ \frac{kg}{m}$$

ضابطه‌ی طراحی:

$$T_u \leq \phi_t P_n, \quad \phi_t = ۰/۷۵$$

$$P_n = ۰/۷۵ F_u A_b$$

www.shop.civil808.com

بنابراین:

$$۱۷۵۰۷/۶۶ \le ۰/۷۵ \times ۳۷۰۰ \times (\frac{\pi}{۴} d_b^۲)$$

$$d_b \ge ۲/۸۳^{cm}$$

Use: $\Phi ۳۰$

www.shop.civil808.com

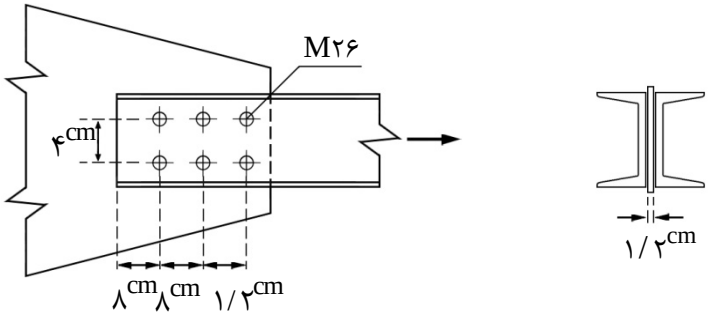
۲-۶- تمرین‌های فصل دوم

تمرین های زیر را به هر سه روش تنش مجاز، مقاومت مجاز و حدی حل کنید. فولاد مصرفی از نوع ST۳۷، و سوراخ‌ها به صورت استاندارد در نظر گرفته شوند.

تمرین ۲-۱- با استفاده از روش تنش مجاز، مقاومت مجاز و حدی جفت ناودانی زیر را تحت اثر کشش ناشی از بار زنده‌ی ۴۰^{ton} و بار مرده‌ی ۱۰^{ton} طراحی نمایید. طول عضو برابر $۴/۵^{m}$ می‌باشد و از ۶ پیچ A۳۲۵ به قطر ۲۶^{mm} برای اتصال عضوها به ورق لچکی به ضخامت ۱۲^{mm} استفاده شده است.

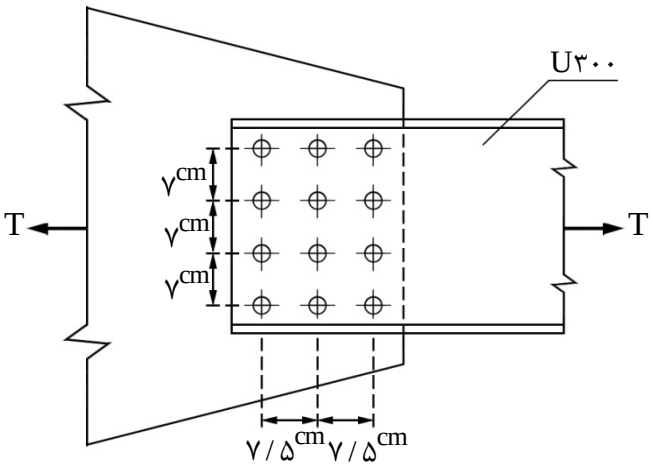
$$F_y = ۲۴۰۰ \frac{kg}{cm^۲}$$

$$F_u = ۳۷۰۰ \frac{kg}{cm^۲}$$

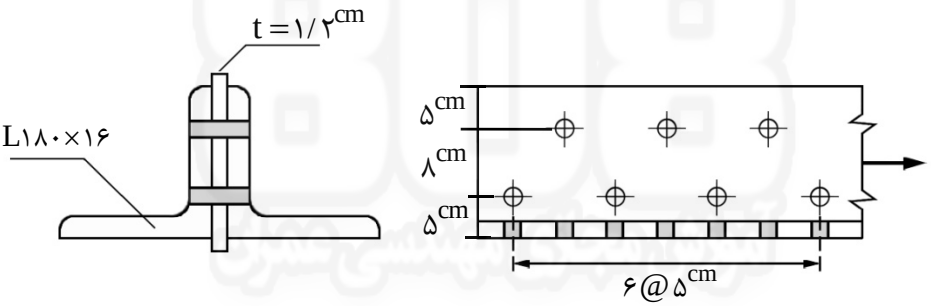


عضو کششی نشان داده شده در شکل ناودانی ۳۰۰ می‌باشد در صورتی که ۲۰٪ بار، مرده و ۸۰٪ زنده باشد و قطر پیچ‌ها ۲۰^{mm} باشد ظرفیت کششی عضو را تعیین کنید.

www.shop.civil808.com



تمرین ۲-۲- حداکثر باری که جفت نبشی ۱۸۰×۱۶ می‌تواند تحمل کند را تعیین کنید. ۱۵٪ بار، مرده و ۸۰٪ آن، زنده و قطر سوراخ‌ها ۲۴^{mm} می‌باشد.



تمرین ۲-۳- حداکثر طول مجاز را برای اعضای کششی زیر تعیین کنید.

الف- U۱۲۰

ب- L۱۰۰×۱۰۰×۱۰

پ- ۲L۶۰×۶۰×۵ به صورت پشت به پشت

www.shop.civil808.com