فصل ۲

طراحی قطعات کششی

طراحی کاربردی سازه‌های فولادی (جلد یک)- محسن گرامی

در این فصل:

۲-۱	پیشگفتار	۲
۲-۲	مقاومت های مورد نیاز در طراحی قطعات کششی	۲
۲-۳	سطح مقطع خالص (An) بحرانی	۷
۲-۴	سطح مقطع خالص نبشی و ناودانی	۹
۲-۵	سطح مقطع خالص مؤثر (Ae)	۱۱
۲-۶	صلبیت قطعات کششی	۱۷
۲-۷	ضریب اتصال (K)	۱۹
۲-۸	قطعات کششی مرکب	۲۴
۲-۹	طراحی میل‌مهار لاپه در ساختمان‌های صنعتی	۲۹
۲-۱۰	تست‌های فصل دوم	۳۳
۲-۱۱	مسائل فصل دوم	۳۷

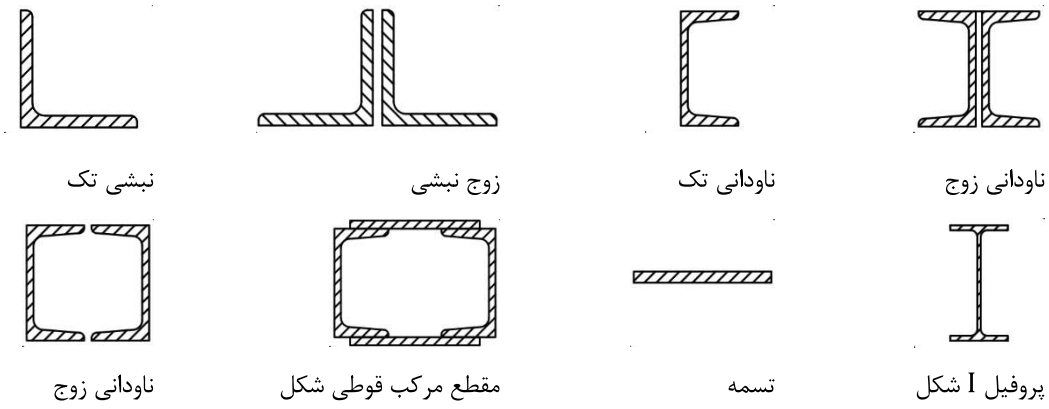
۲-۱ پیشگفتار

اصولاً پر بازده‌ترین راه استفاده از فولاد ساختمانی، استفاده از آن به عنوان اعضای کششی است. یک عضو کششی به عضوی گفته می‌شود که بین دو نقطه از سازه قرار داشته و در حالت انتقال کشش است. البته در مواردی که به علت عوض شدن جهت نیروها، تنش ها نیز تغییر جهت می‌دهند و اعضای کششی تحت فشار قرار می‌گیرند، باید این اعضا را هم برای کشش و هم برای فشار طراحی نمود.

قطعات کششی اگر عضوی از یک پل معلق و یا کابلی، یک خرپا یا یک دکل انتقال نیرو باشند، به‌عنوان عضو اصلی تحمل‌کننده بار و هرگاه به صورت مهاربند یک قاب فلزی ساختمانی عمل کنند، به عنوان عضو فرعی (مهار کننده جانبی) به حساب خواهند آمد.

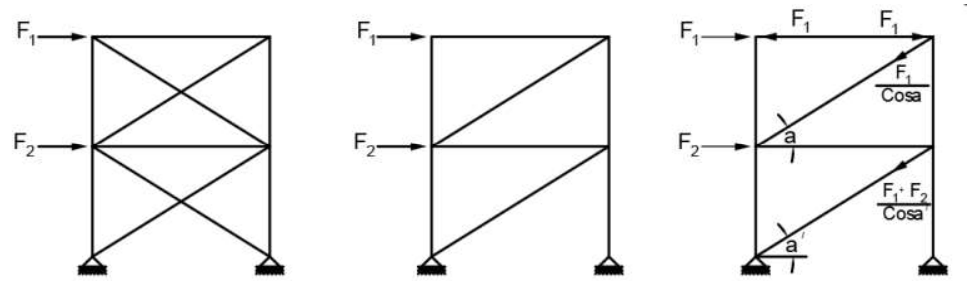
هنگامی که یک عضو کششی با نیروی کم در یک سازه فولادی به کار می‌رود، مقطع آن از میلگرد، تسمه، کابل با سطح مقطع کم، و یا پروفیل‌های نبشی یا ناودانی به صورت زوج یا تک است. برای تحمل نیروهای کششی بزرگ معمولاً از مقاطع مرکب ساخته شده از پروفیل‌های مختلف I شکل، نبشی و ناودانی استفاده می‌شود. اعضای کششی که در پل‌های معلق و کابلی، جرثقیل‌ها و دکل های حفاری استفاده می‌شوند، معمولاً از دسته‌ای از کابل‌های ریز و با مقاومت گسیختگی زیاد تهیه می‌شوند. این اعضاء در هنگام استفاده بایستی کاملاً کشیده شوند تا قادر به تحمل نیرو باشند، در غیر این صورت تحت اثر وزن خود خمیده می‌شوند. در شکل ۲-۱ انواع مقاطع متداول مورد استفاده در اعضای کششی نشان داده‌شده‌است.

برای طراحی اعضای کششی، معمولاً توصیه می‌شود که اتصالات انتهایی این اعضا قوی‌تر از خود عضو طرح شوند. با این تمهید، در صورت اعمال باری بیش از حد مورد نظر بر این قطعه، عضو کششی نه تنها تا حد ارتجاعی، بلکه تا حد گسیختگی مصالح خود دوام می‌آورد. در چنین حالتی این عضو می‌تواند مقدار انرژی بیشتری در واحد وزن مصالح خود نسبت به سایر اعضا جذب نماید. این مسئله به خصوص هنگامی که امکان اعمال بارهای دینامیکی، نظیر زلزله وجود داشته باشد، بسیار حائز اهمیت است.



شکل ۲-۱ انواع مقاطع متداول مورد استفاده دراعضای کششی

برای تحلیل مهاربندی‌های ضربدری دو روش وجود دارد. در روش اول فرض بر این است که عضو فشاری کمانه می‌کند، پس آن را حذف کرده و سازه معین حاصل شده تحلیل می‌شود و طراحی براساس اعضای کششی انجام می‌پذیرد و سپس از همین مقاطع برای عضو فشاری نیز استفاده می‌شود. در واقع عضو طوری طراحی می‌شود که سطح مقطع لازم در کشش فراهم شود. در این روش لاغری عضو، اهمیتی ندارد. در شکل ۲-۲ نتایج تحلیل عضو کششی نشان داده‌شده‌است.

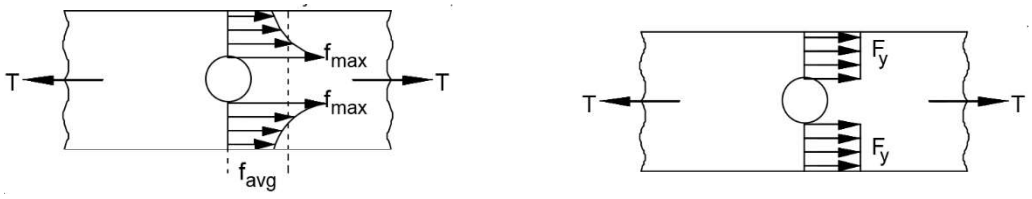


شکل ۲-۲ تحلیل مهاربندهای ضربدری

۲-۲ ظرفیت یا مقاومت موردنیاز در طراحی قطعات کششی

چون در طراحی اعضای کششی تنها معیار مقاومت، به‌عنوان ضابطه اصلی طراحی مطرح است، لذا طراحی اعضای کششی یکی از ساده‌ترین مسائل طراحی در مهندسی سازه است. برای طراحی، ابتدا بایستی نیروی کششی عضو (T) با استفاده از روش‌های تحلیل سازه تعیین شود. در طراحی اعضای کششی باید شکل عضو و اتصالات آن به گونه ای تنظیم شود، تا عضو فقط در کشش کار کند و خمش در آن تولید نشود.

در طراحی اعضای کششی از فرض توزیع یکنواخت تنش در سطح مقطع آنها استفاده می‌شود، لذا مقدار آن به‌راحتی از تقسیم نیرو بر سطح مقطع تعیین می گردد. در اغلب موارد به علت وجود اتصالات، اعضای کششی، دارای سوراخ یا سوراخ‌هایی هستند که در محاسبه تنش تاثیرگذار است. وجود سوراخ در مقطع باعث غیریکنواخت‌شدن توزیع تنش در حالت الاستیک است. اما با افزایش نیروی کششی و رسیدن تنش‌ها به حد پلاستیک، توزیع تنش یکنواخت شده و به مقدار f_y می‌رسد. در شکل ۲-۲ توزیع تنش در اطراف یک سوراخ در حالت الاستیک و پلاستیک نشان داده‌شده‌است.



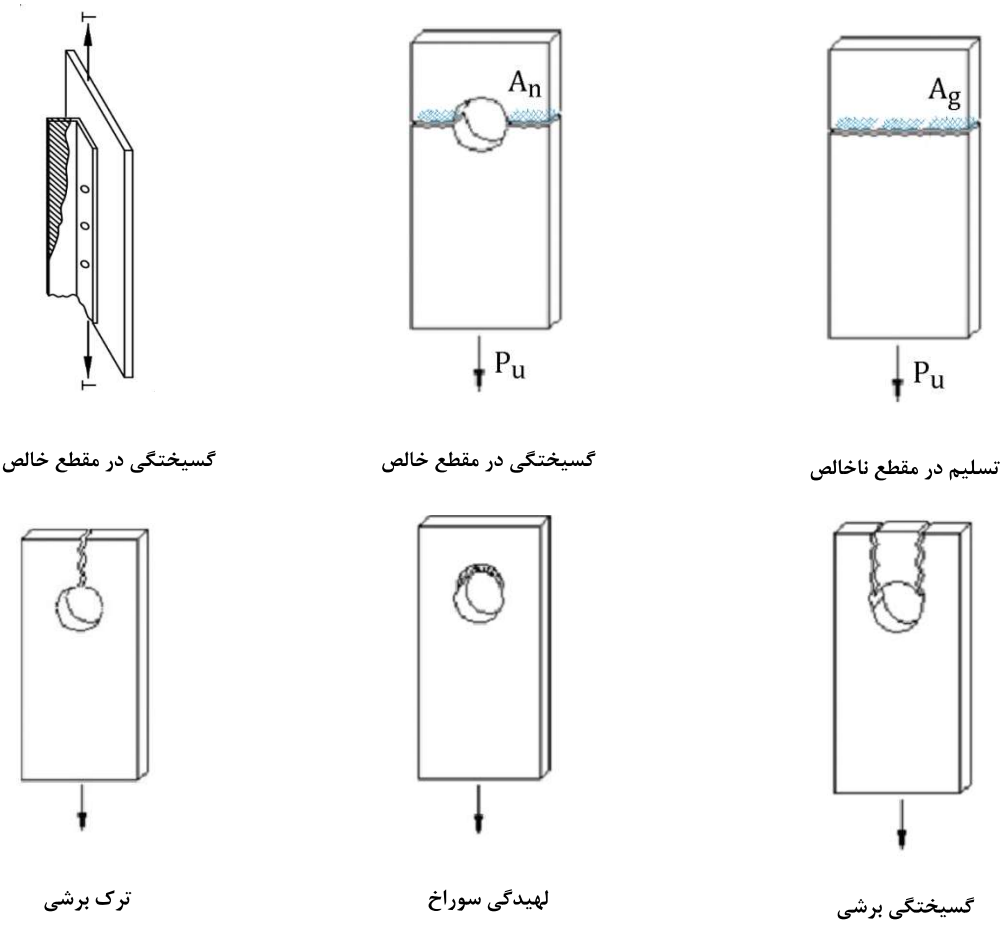
الف- حالت الاستیک **ب- حالت پلاستیک کامل**

شکل ۲-۳ توزیع تنش در اطراف سوراخ یک عضو کششی در حالت‌های الاستیک و پلاستیک

باتوجه‌به مطالب فوق، آیین‌نامه‌های طراحی معمولاً توزیع تنش یکنواخت در اطراف سوراخ را پذیرفته و تنش نهایی را از تقسیم نیرو بر سطح مقطع خالص به دست می‌آورند. نکته قابل‌توجه این که فرض توزیع تنش یکنواخت در حالت حدی در اطراف سوراخ تنها در مورد مصالح شکل‌پذیر، نرم و تحت تاثیر بارهای استاتیکی صادق می‌باشد. در صورتیکه مصالح ترد و شکننده باشند، تمرکز تنش در اطراف سوراخ، خرابی را تسریع کرده و خرابی به صورت ترک پیش‌رونده از محل تمرکز تنش شروع شده و نهایتاً عضو قبل از رسیدن به حد تنش نهایی گسیخته می‌شود.

۲-۲-۱ انواع مکانیزم خرابی کششی

شکل زیر، وضعیت‌های خرابی عضو را تحت نیروی کششی نشان می‌دهد. تسلیم عضو، در مقطع سراسری (مقطع ناخالص) نیازمند کنترل است. گسیختگی در کمترین سطح مقطع عضو رخ می‌دهد که معمولاً مقاطع دارای سوراخ هستند. در ناحیه انتقال نیرو به دلیل تغییر توزیع تنش، گسیختگی با مقطع خالص موثر عضو کنترل می‌شود.



شکل ۲-۴ وضعیت‌های خرابی عضو کششی

۲-۲-۲ روش سوراخ‌کاری

از روش‌های تعبیه سوراخ در قطعات می‌توان به سه روش سوراخ‌کاری با دریل (مته‌کاری)، سوراخ‌کاری با پانچ (منگنه) و سوراخ‌کاری (تراشکاری) با برقو اشاره کرد. در روش سوراخ‌کاری با پانچ یا منگنه که روش متداول (استاندارد) سوراخ‌کاری است، به دلیل فشار زیادی که میله مرکزی به صفحه وارد می‌کند مقداری از مساحت اطراف سوراخ لهیده می‌شود. به همین دلیل قطر محاسباتی سوراخ را ۲ میلی‌متر بزرگتر از قطر واقعی در نظر می‌گیرند. در روش مته‌کاری، سوراخ‌هایی با قطر مورد نظر را با استفاده از مته ایجاد می‌کنند که می‌تواند از روش‌های دیگر گرانتر باشد و در مواردی که ضخامت صفحه زیاد باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش قطر محاسباتی همان قطر واقعی سوراخ است.

در روش استفاده از برقو، ابتدا پانچ سوراخ با قطر ۳ الی ۵ میلی‌متر کمتر از قطر محاسباتی انجام می‌شود و سپس با ابزاری به نام برقو براده‌برداری (تراشکاری) می‌کنند تا قطر سوراخ به قطر محاسباتی برسد. این روش گرانتر از روش قبل است، ولی با چنین روشی، هم باد بودن سوراخ‌های اتصال به نحو مناسبی تأمین می‌گردد. سوراخ‌کاری با این روش در قطعات ساختمانی معمول نمی‌باشد. در این روش نیز قطر محاسباتی با قطر واقعی سوراخ برابر است.

توجه: در حل مسائل اگر نوع سوراخ زنی مشخص نشده باشد، منظور روش استاندارد است.

جزئیات بیشتر در مورد روش‌های سوراخ‌کاری، در فصل دهم جلد دوم این کتاب (بند ۱۰-۵-۶) ارائه شده‌است.

۲-۲-۳ قطر پیچ (d_b)، قطر واقعی سوراخ (d_h) و قطر محاسباتی سوراخ $(\mathbf{D})$

در نقشه‌های اجرایی مقادیر قطر پیچ و یا قطر واقعی سوراخ درج می‌شوند ولی در محاسبات، همواره قطر محاسباتی سوراخ مدنظر قرار می‌گیرد. به منظور سهولت نصب و با توجه به خطاهای اجرایی در ساخت و نصب اسکلت، لازم است قطر سوراخ کمی بزرگتر از قطر پیچ باشد. این اختلاف برای سوراخ استاندارد به قطر پیچ بستگی دارد و مطابق رابطه ۲-۱ مقدار آن ۲ یا ۳ میلی‌متر است.

همچنین چنانچه ذکر گردید، در صورت استفاده از روش پانچ برای سوراخ‌کاری، قطر محاسباتی سوراخ به اندازه ۲ میلی‌متر از قطر واقعی آن بیشتر خواهد بود. خلاصه این ضوابط در رابطه ۲-۱ مشاهده می‌شود. برای اطلاع از جزئیات بیشتر از ضوابط آیین‌نامه،

$$d_h = d_b + \begin{cases} 2\ mm\ ;\ d_b \le 22\ mm \\ 3\ mm\ ;\ d_b \ge 24\ mm \end{cases} \quad (\textit{سوراخ استاندارد})$$

$$D = d_h + \begin{cases} 2\ mm & \textit{پانچ} \\ 0\ mm & \textit{دریل و برقو} \end{cases} \qquad ۲\text{-}۱$$

$$d_b < d_h \le D$$

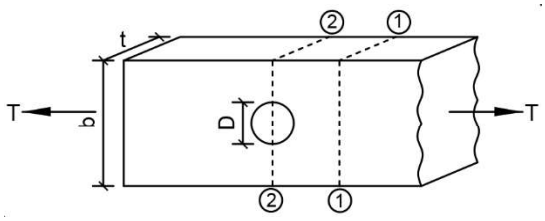
d_b	قطر اسمی پیچ
d_h	قطر واقعی سوراخ
D	قطر محاسباتی سوراخ

توجه: قطر پیچ (d_b) با عبارت Mxx نیز نمایش داده می‌شود که در آن xx نشانگر قطر به میلی‌متر است. به عنوان مثال، پیچ M20 به معنای پیچ با قطر ۲۰ میلی‌متر می‌باشد.

۲-۲-۴ سطح مقطع ناخالص (A_g)، سطح مقطع خالص (A_n) و سطح مقطع خالص موثر (A_e)

هنگامی که یک عضو کششی توسط پیچ یا پرچ به اعضای دیگر متصل می‌شود، سطح مقطع کل آن به‌اندازه سطح تصویر سوراخ کاسته می‌شود. این سطح مقطع کاسته‌شده در محل سوراخ، سطح مقطع خالص (A_n) نامیده می‌شود. سطح مقطع کل نیز سطح مقطع ناخالص (A_g) نامیده می‌شود که در شکل ۲-۵ نشان داده‌شده‌است.

در این شکل، $A_g = A_{1-1} = bt$ و $A_n = A_{2-2} = A_g - nDt$ بوده و D قطر سوراخ است. توجه شود که از میان مقادیر مختلف سطح مقطع خالص (A_n) در مسیرهای مختلف، آن مسیری بحرانی‌تر است که دارای سطح مقطع خالص (A_n) کمتری باشد.



شکل ۲-۵ سطح مقطع ناخالص (A_g) وسطح مقطع خالص (A_n)

چنانچه بررسی گسیختگی کششی در محل اتصال موردنظر باشد، سطح مقطع خالص مؤثر (A_e) عضو کششی به صورت درصدی از سطح مقطع خالص در نظر گرفته می‌شود. خلاصه ضوابط فوق در رابطه ۲-۲ ارائه شده‌است..

$$A_g = b.t$$

$$A_n = A_g - n.D.t + \Sigma\left(\frac{s^2}{4g}\right)t$$

$$A_e = \begin{cases} UA_n & \text{اتصالات پیچی} \\ UA_g & \text{اتصالات جوشی} \\ A_n \le 0.85A_g & \text{وصله های پیچی اعضای کششی} \end{cases} \qquad ۲\text{-}۲$$

A_g سطح مقطع ناخالص عضو کششی

A_n سطح مقطع خالص عضو کششی در محل سوراخ

A_e سطح مقطع خالص موثر عضو کششی در محل اتصال

U ضریب تأخیر برش، که در بخش (۲-۶) به طورکامل تشریح می‌شود. در هر حال لازم نیست این ضریب در مقاطع باز (مقاطع I، L، U وT) از نسبت سطح مقطع قسمت‌های اتصال یافته به سطح مقطع کل کمتر در نظر گرفته شود.

۲-۲-۵ طراحی اعضای کششی

برای طراحی اعضای کششی در سطح مقطع موردنظر، همواره باید مقاومت مورد نیاز کوچک‌تر یا مساوی مقاومت کششی طراحی باشد که در رابطه ۲-۳ نشان داده‌شده‌است. این رابطه برای طراحی اعضای کششی بجز در محل سوراخ مفاصل معتبر بوده و برای طراحی محل سوراخ مفاصل به بخش (۲-۱۱) مراجعه شود.

$$P_u \le \phi_t P_n = min\begin{cases} 0.9f_yA_g & \textit{کنترل تسلیم} \\ 0.75f_uA_n & \textit{کنترل گسیختگی} \\ 0.75f_uA_e & \textit{کنترل گسیختگی مقطع خالص} \end{cases} \qquad ۳\text{-}۲$$

P_u نیروی کششی موجود در مقطع مورد نظر تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری

$\phi_t P_n$ نیروی مقاومت کششی طراحی

ϕ_t ضریب کاهش مقاومت که برابر ۰,۹ در تسلیم و ۰,۷۵ در گسیختگی است.

A_g سطح مقطع کل عضو تحت کشش بدون در نظر گرفتن سوراخ (سطح مقطع ناخالص)

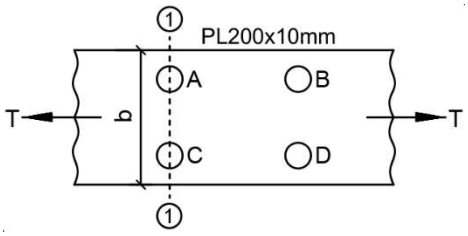
A_n مقطع خالص عضو در اعضاء کششی سوراخ‌دار

A_e سطح مقطع خالص مؤثر عضو کششی

طبق این رابطه، مقاومت کششی طراحی $(\phi_t P_n)$ برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده بر اساس حالت‌های حدی تسلیم کششی در مقطع کلی $P_n = f_y A_g$ ، گسیختگی کششی در مقطع خالص عضو $P_n = f_u A_n$ و گسیختگی کششی در مقطع خالص موثر $P_n = f_u A_e$ می‌باشد.

مثال ۱-۲

سطح مقطع خالص عضو کششی شکل زیر را تعیین کنید. مقطع ورق به عرض ۲۰ سانتی‌متر و ضخامت ۱ سانتی‌متر است و دارای سوراخ‌هایی برای عبور پیچ M16 است.



شکل ۲-۶ عضو کششی سوراخ دار

حل:

$d_b = 16mm \leq 22mm \rightarrow d_h = d_b + 2mm = 18mm$

از آنجا که به روش سوراخ‌کاری اشاره نشده، استفاده از پانچ به صورت پیش‌فرض انتخاب می‌شود.

$D = d_h + 2mm = 20mm = 2cm$

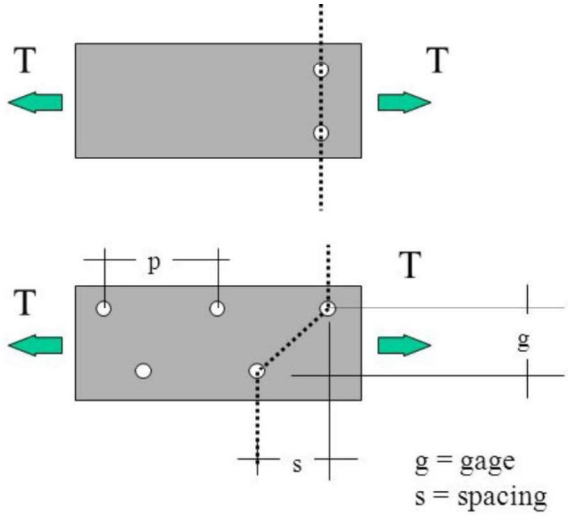
$A_g = 20cm \times 1cm = 20cm^2$

$A_n = A_g - nDt = 20cm^2 - 2 * 2cm * 1cm = 16cm^2$

با توجه به مقدار سطح مقطع خالص، وجود سوراخ‌ها ظرفیت سطح مقطع را به $\frac{16cm^2}{20cm^2} = 80\%$ سطح سوراخ‌نشده رسانده و آن را به میزان $1 - \frac{16cm^2}{20cm^2} = 20\%$ کاهش داده است.

۲-۳ سطح مقطع خالص (A_n) بحرانی

در آن دسته از اعضای کششی که پیچ‌های اتصال بایستی در دو ردیف یا بیشتر قرار گیرند، معمولاً سعی می‌شود که سوراخ‌ها به صورت یک در میان و زیگزاگ آرایش داده‌شود تا کاهش سطح مقطع حداقل شود. در شکل زیر یک عضو کششی که سوراخ قطری (زیگزاگ) در آن تعبیه شده، نشان داده‌شده‌است. چنانچه فاصله افقی بین سوراخ‌ها خیلی زیاد نباشد، ممکن است گسیختگی در مسیر مایل صورت گیرد.



شکل ۲-۷ عضوکششی با سوراخ‌های زیگزاگ

مقطع خالص بحرانی، مقطعی است که سوراخ‌های مسیر زنجیره (قطری یا زیگزاگ) مربوط به آن، کمترین مقاومت کششی اسمی را به دست دهد بنابراین مسیری که کمترین مساحت را داشته باشد.

ازآنجاکه در مسیرهای مایل، تنش‌ها ترکیبی از کشش مستقیم و برش هستند، بنابراین بایستی اثرات مورب بودن خطوط شکست در روابط، مدنظر قرارگیرد. بر طبق روابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، چنانچه فاصله بین سوراخ‌ها در امتداد نیرو (S) و فاصله سوراخ‌ها در جهت عمود بر امتداد نیرو (g) باشد، می‌توان برای محاسبه سطح مقطع خالص در هر مقطع بحرانی به تعداد قطر سوراخ‌ها از عرض مقطع کسر و برای هر مسیر مورب، یک مرتبه جمله $\left(\frac{S^2}{4g}t\right)$ را به آن اضافه نمود. در نتیجه با افزایش فاصله افقی سوراخ‌ها، سطح مقطع خالص افزایش یافته و احتمال بحرانی شدن مسیر مایل کمتر می‌شود. رابطه (۲-۸) برای سوراخ‌هایی که به صورت زیگزاگ تعبیه شده‌اند، توصیه می‌شود:

$$A_n = A_g - nDt + \sum \frac{S^2}{4g}t \qquad \text{۴-۲}$$

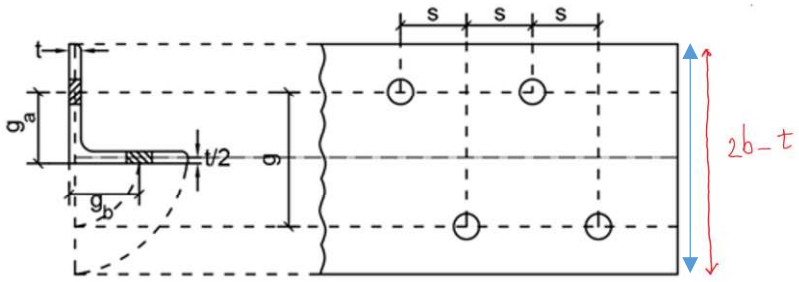
n تعداد سوراخ‌ها در مسیر مورد بررسی

در به‌کاربردن رابطه فوق، لازم است به نکات زیر توجه شود:

- در دو مسیر مشابه آنکه S کوچک‌تر و g بزرگتری دارد می‌تواند بحرانی‌تر شود.
- در مسیر افقی (موازی نیرو) عملاً فاصله S وجود دارد ولی g=0 است که $\frac{S^2}{4g}$ معادل بی نهایت می‌شود، بنابراین مسیر افقی هیچگاه نمی‌تواند بحرانی باشد.
- در حالتی که عضو با جوش متصل شده باشد (بدون استفاده از پیچ) $A_n = A_g$ می‌باشد.
- مسیر مورد بررسی از بالای مقطع گسترده معادل شروع شده و به پایین ختم می‌شود.

۲-۴ سطح مقطع خالص نبشی و ناودانی

معمولاً سوراخ‌های پیچ یا پرچ روی دو ساق نبشی یا ناودانی به صورت قطری برای اتصال مناسب تعبیه می‌شود. برای محاسبه فاصله قائم بین سوراخ‌ها (g) در رابطه $\frac{S^2}{4g}$ می‌بایست مانند شکل زیر، نبشی یا ناودانی را در محل تقاطع دو بال نسبت به میان تار ضخامت گسترش داده تا به صورت مربع مستطیل درآید و سپس فاصله g از روی شکل باز شده اندازه‌گیری شود.

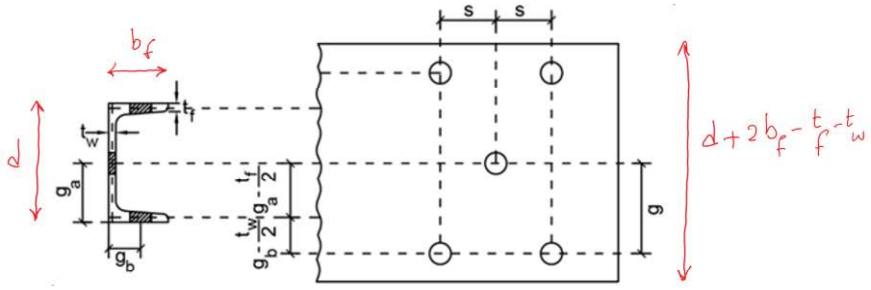


شکل ۲-۸ مقطع گسترده معادل نبشی

بنابراین فاصله قائم بین سوراخ‌ها در نبشی طبق رابطه زیر برابر است با:

$$g = g_a - \frac{t}{2} + g_b - \frac{t}{2} = g_a + g_b - t \qquad ۵-۲$$

مقطع باز شده ناودانی در شکل زیر نشان داده‌شده‌است.



شکل ۲-۹ مقطع گسترده معادل ناودانی

بنابراین فاصله قائم بین سوراخ‌ها در ناودانی طبق رابطه زیر برابر است با:

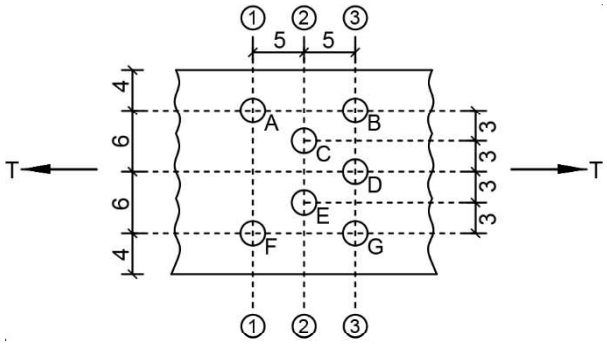
$$g = g_a + g_b - \frac{t_w}{2} - \frac{t_f}{2} \qquad ۶-۲$$

شایان‌ذکر است که در محاسبات مسیرهای مایل ناودانی گسترش‌یافته، چنانچه مسیر مذکور از دو ناحیه با ضخامت‌های مختلف عبور نمود، ضخامت کمتر در رابطه $\frac{S^2}{4g}t$ قرار می‌گیرد.

نکته: جهت محاسبه مقادیر s و g لازم است امتداد نیرو مدنظر قرار گیرد به نحوی که s در امتداد موازی راستای نیرو و g در امتداد عمود بر راستای نیرو باشد. این موضوع حتی برای یک اتصال که در دو راستای بارگذاری بررسی می‌شود صادق است.

مثال ۲-۲

سطح مقطع خالص بحرانی ورق شکل زیر را تعیین کنید. ورق دارای عرض 20cm و ضخامت 1.2cm است و سوراخ‌هایی در آن برای عبور پیچ‌های M18 تعبیه شده‌است.



شکل ۲-۱۰ عضو کششی با سوراخ‌های قطری (ابعاد بر حسب سانتی‌متر)

حل

مسیر شکست 3BDG3

$$A_n^{3BDG3} = [20 - 3(1.8 + 0.2 + 0.2)] * 1.2 = 16.08\ cm^2$$

مسیر شکست 1AF1

$$A_n^{1AF1} = [20 - 2(1.8 + 0.2 + 0.2)] * 1.2 = 18.72\ cm^2$$

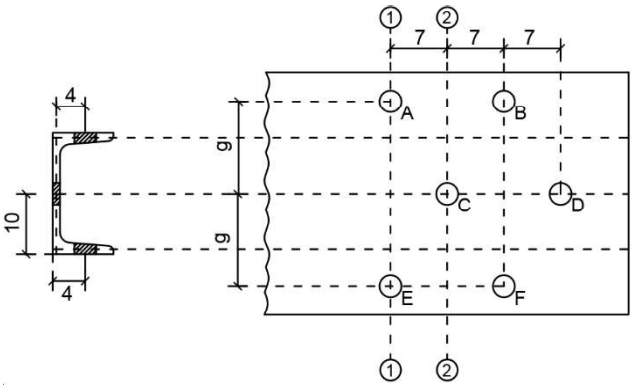
مسیر شکست 1ACEF1

$$A_n^{1ACEF1} = \left[20 - 4(1.8 + 0.2 + 0.2) + 2 * \frac{5^2}{4*3}\right] * 1.2 = 18.44\ cm^2$$

و به همین ترتیب، سایر مسیرهای ممکن نیز بررسی می‌شوند.

مثال ۲-۳

مساحت خالص UNP20 شکل زیر را که در آن سوراخ‌هایی به قطر 25mm با برقو تعبیه شده‌است، تعیین کنید.



شکل ۲-۱۱ مقطع گسترده شده ناودانی

حل:

مشخصات هندسی UNP20 از جدول اشتال به شرح زیر است:

$UNP20: b_f = 7.5cm, d = 20cm,\ t_f = 1.15cm, t_w = 0.85cm, \mathrm{A} = 32.2cm^2$

$\mathrm{A_g} = 32.2cm^2$

برای محاسبه مساحت خالص ناودانی، در محل تقاطع دو بال و در امتداد میان تار آن گسترش داده می‌شود:

$$g = 4 + 10 - \frac{1.15}{2} - \frac{0.85}{2} = 13\ cm$$

مسیر شکست 1AE1

$$A_n^{1\mathrm{AE1}} = A_g - nDt = 32.2 - 2 * 2.5 * 1.15 = 26.45\ cm^2$$

مسیر شکست 1ACE1

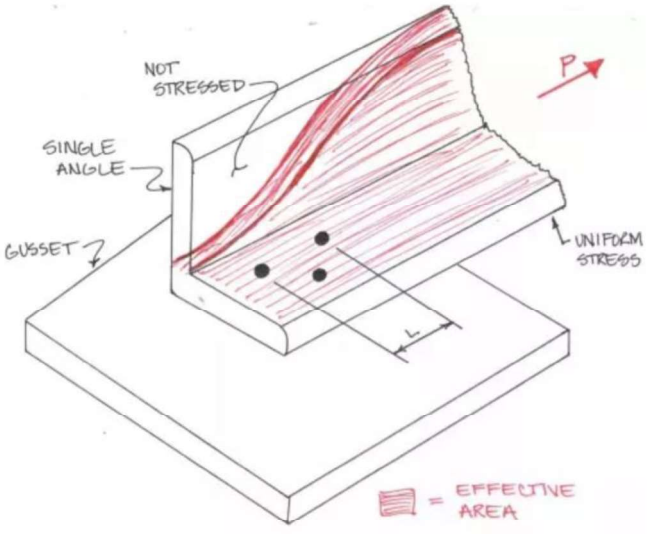
$$A_n^{1\mathrm{ACE1}} = A_g - nDt + \sum \frac{S^2}{4g} t = 32.2 - (2 * 2.5 * 1.15 + 1 * 2.5 * 0.85) + 2 * \frac{7^2}{4*13} * 0.85 =$$

$25.92\ cm^2$

بنابراین مسیر 1ACE1 حداقل و کنترل کننده می‌باشد.

۲-۵ سطح مقطع خالص مؤثر (A_e)

نبشی نشان‌داده‌شده در شکل ۲-۱۲ توسط سه پیچ به ورق زیرین متصل شده‌است. در این حالت، توزیع تنش در نبشی یکنواخت نمی‌باشد و در منطقه هاشور خورده، مقدار آن کمتر است .



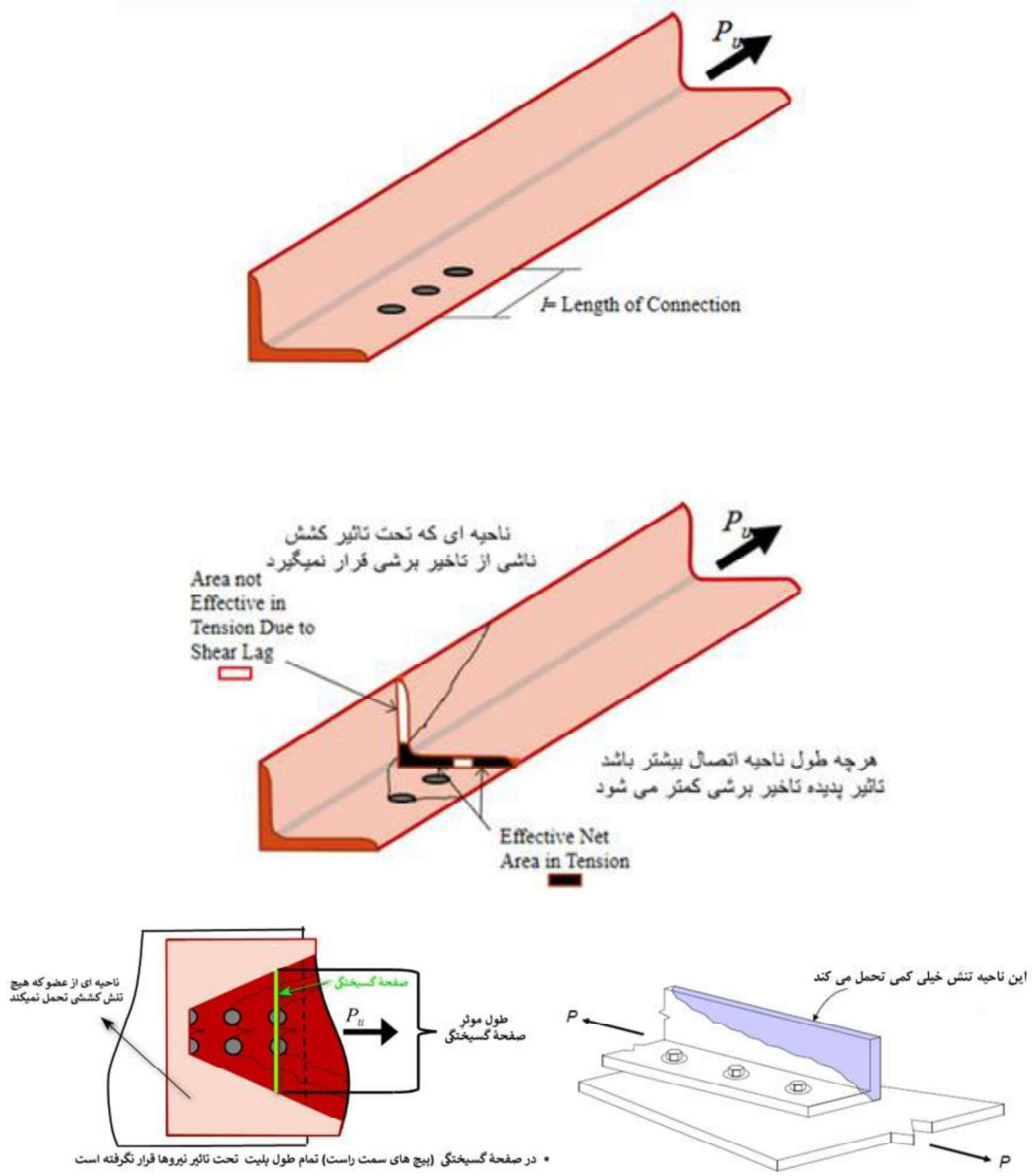
شکل ۲-۱۲ اتصال نبشی و ورق توسط یک بال نبشی

همچنین با عبور از وسایل اتصال نیروی کششی در مقطع عضو تغییر کرده و هر وسیله اتصال، قسمتی از نیرو را جذب می‌کند. مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران با استفاده از ضریب سطح مؤثر $(U \leq 1)$ این توزیع غیریکنواخت تنش در مقاطع مختلف را مطابق رابطه زیر منظور می‌نماید.

$$A_e = \begin{cases} UA_n & \text{اتصالات پیچی} \\ UA_g & \text{اتصالات جوشی} \\ A_n \leq 0.85A_g & \text{وصله های پیچی اعضای کششی} \end{cases}$$

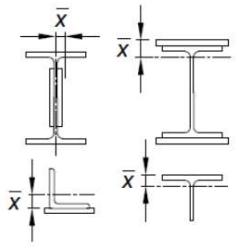
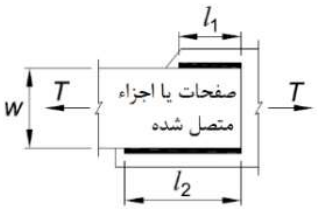
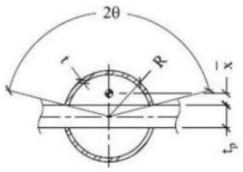
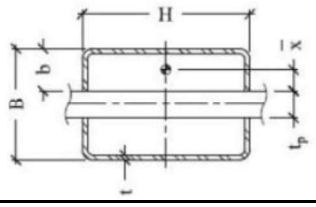
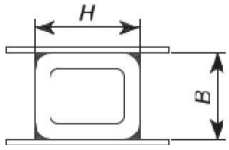
ϕ	ضریب کاهش مقاومت	A_n	سطح مقطع خالص برابر $A_n = A_g - nDt + \Sigma\left(\frac{s^2}{4g}\right)t$
n	تعداد پیچ‌ها در مسیر برش اتصال	A_g	سطح مقطع کل (ناخالص)
D	قطر محاسباتی سوراخ	t	ضخامت ورق
A_e	سطح مقطع خالص موثر		

ضریب سطح مؤثر مستقیماً روی سطح مقطع خالص تأثیر می‌گذارد و باعث کاهش آن می‌شود. ضریب مذکور بستگی به تعداد و وضعیت قرارگرفتن پیچ‌ها و همچنین نوع اتصال دارد که در جدول ۲-۱ برای حالات مختلف بر اساس ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران ارائه شده‌است.



شکل ۲-۱۳ پدیده تاخیر در برش (ضریب طول موثر)

جدول ۲-۱ تعیین ضریب سطح مؤثر U و سطح مقطع مؤثر A_e

حالت	شرح	ضریب تاخیر برش، U	مثال
۱	کلیه اعضای کششی که در آنها بار به‌وسیله پیچ، یا جوش مستقیماً به کلیه اجزای مقطع منتقل گردد (به‌غیراز حالت‌های ۴، ۵ و ۶)	$U = 1$	
۲	کلیه اعضای کششی (به‌غیراز تسمه‌ها و مقاطع قوطی و لوله ای) که در آنها بار به وسیله پیچ یا جوش طولی و یا ترکیبی از جوش طولی و عرضی توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد. برای مقاطع I شکل نوردشده و سپری T بریده‌شده از آنها و نیز نیمرخ‌های I شکل بال‌پهن، استفاده از مقادیر حالت ۷ این جدول نیز مجاز است. همچنین برای نبشی‌ها استفاده از حالت ۸ این جدول نیز مجاز است.	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$	
۳	کلیه اعضای کششی که در آنها بار فقط به‌وسیله جوش عرضی و توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	$U = 1$ A_n : سطح مقطع قسمت‌های اتصال یافته	
۴	ورق‌ها (تسمه‌های کششی)، نبشی‌ها، ناودانی‌ها و مقاطع I شکل با قطعات متصل‌شونده که در آنها نیروی کششی فقط از طریق جوش‌های طولی در دو لبهٔ موازی (در انتهای قطعه) منتقل می‌شود.	[2] و [1] $U = \frac{3l^2}{(3l^2 + w^2)}(1 - \frac{\bar{x}}{l})$	
۵	در مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم محور، که در آن طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد.	$U = (1 + \left(\frac{\bar{x}}{l}\right)^{3.2})^{-10}$ $\bar{x} = \frac{R.\sin\theta}{\theta} - \frac{1}{2}t_p$	
۶-۱	در مقاطع قوطی شکل، چنانچه اتصال تنها به کمک یک ورق هم محور صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = b - \frac{2b^2 + tH - 2t^2}{2H + 4b - 4t}$	
۶-۲	در مقاطع قوطی شکل، چنانچه اتصال به کمک دو ورق اتصال و در دو وجه صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.	$l \geq H$ $U = (\frac{3l^2}{3l^2 + H^2})(1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4\,(B + H)}$	

۱-۷	در نیمرخ‌های I نورد شده و سپری T بریده‌شده از آنها و همچنین نیمرخ‌های دیگری نظیر بال پهن، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد. در اتصالات پیچی درصورتی‌که اتصال از طریق بال‌ها برقرار شده و حداقل سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو موجود باشد.	$U = 0.9 \quad (b_f \geq \frac{2}{3}d)$ $U = 0.85 \quad (b_f < \frac{2}{3}d)$	توضیح: ماکزیمم مقدار این بند و مقدار حاصل از بند ۲ جدول، ملاک محاسبه خواهد بود.
۲-۷	در نیمرخ‌های I نورد شده و سپری T بریده شده از آنها و همچنین نیمرخ‌های دیگری نظیر بال پهن، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد. در اتصال پیچی درصورتی‌که اتصال از طریق جان برقرار شده حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$U = 0.7$	توضیح: ماکزیمم مقدار این بند و مقدار حاصل از بند ۲ جدول، ملاک محاسبه خواهد بود.
۱-۸	در نیمرخ‌های نبشی تک و دوبل درصورتی‌که توسط یک بال متصل شده باشند، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد. چنانچه حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$U = 0.8$	توضیح: ماکزیمم مقدار این بند و مقدار حاصل از بند ۲ جدول، ملاک محاسبه خواهد بود.
۲-۸	در نیمرخ‌های نبشی تک و دوبل درصورتی‌که توسط یک بال متصل شده باشند، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد. چنانچه دو یا سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$U = 0.6$	توضیح: ماکزیمم مقدار این بند و مقدار حاصل از بند ۲ جدول، ملاک محاسبه خواهد بود.

در استفاده از جدول فوق، لازم است دقت شود:

l طول اتصال مساوی فاصلهٔ اولین و آخرین پیچ در اتصال پیچی و طول جوش در اتصال جوشی.

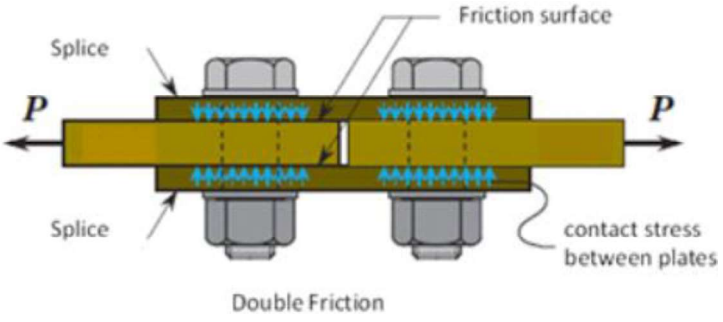
[۱] $\bar{x}$ خروج از مرکزیت اتصال است یعنی فاصله عمودی مرکز اتصال تا مرکز هندسی بخشی از عضو که نیروی آن توسط این اتصال منتقل می‌گردد. این فاصله برای نبشی‌ها از بر مقطع در محل اتصال تا موقعیت تار خنثی مقطع می‌باشد.

[۲] $l = \frac{l_1+l_2}{2}$ که در آن، l_1 و l_2 نباید از ۴برابر بعد جوش کمتر باشد.

همچنین منظور از وسیله اتصال، پیچ یا پرچ اتصال می‌باشد.

منظور از ردیف، تعدادی وسیله اتصال است که بر روی یک خط فرضی قرار داشته و در امتداد نیرو می‌باشند.

نمونه‌ای از یک عضو کششی دوتکه همراه با دو ورق وصله[1] پیچی در بالا و پایین، در شکل زیر مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۱۴ عضو کششی دو تکه همراه با ورق وصله پیچی عضو کششی

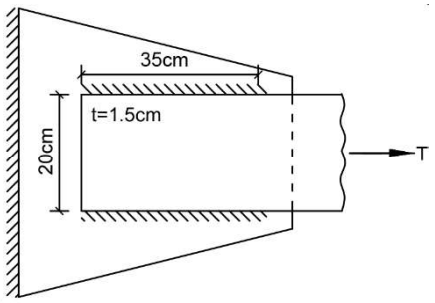
[1] splice

مثال ۴-۲

ظرفیت کششی اتصال را در دو حالت زیر بدست آورید ($f_y = 2.4\ \frac{ton}{cm^2}, f_u = 3.7\ \frac{ton}{cm^2}$).

الف) جوش در دو خط افقی مطابق شکل اجرا شده باشد.

ب) جوش به‌صورت دور تا دور انجام شود.



شکل ۲-۱۵ اتصال جوشی دو ورق به یکدیگر

حل الف: جوش در دو خط افقی

گام ۱- ظرفیت کششی اتصال بر اساس معیار تسلیم:

$$A_g = 20 * 1.5 = 30\ cm^2$$

$$T_u \le 0.9 f_y A_g = 0.9 * 2.4 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} * 30\text{cm}^2 = 64.8\ ton$$

گام ۲- ظرفیت کششی اتصال بر اساس معیار گسیختگی:

تعیین ضریب سطح مؤثر (U) باتوجه‌به بند ۴ جدول ۲-۱

$$U = \frac{3l^2}{(3l^2 + w^2)}\left(1 - \frac{\bar{x}}{L}\right)$$

$$l = \frac{l_1 + l_2}{2} = \frac{35+35}{2} = 35\ cm$$

$$U = \frac{3 \times 35^2}{(3 \times 35^2 + 20^2)}\left(1 - \frac{0}{35}\right) = 0.90$$

محاسبه سطح مقطع خالص موثر (A_e)

$$A_e = 0.9 A_g = 0.9 * 30 = 27.0\ cm^2$$

ظرفیت کششی اتصال بر اساس معیار گسیختگی

$$T_u \le 0.75 f_u A_e = 0.75 * 3.7\ \frac{ton}{cm^2} * 27.0\ cm^2 = 74.925\ ton$$

گام ۳- نتیجه: ظرفیت کششی اتصال

ظرفیت نهایی اتصال حداقل دو حالت بالا خواهد بود.

$$T_u \le \min\left(0.9 f_y A_g, 0.75 f_u A_e\right) = \min(64.8, 74.925) = 64.8 ton$$

معیار تسلیم حاکم است.

حل ب: جوش به‌صورت دور تا دور

تعیین ضریب سطح مؤثر (U) باتوجه‌به بند ۱ جدول ۲-۱

$$U = 1$$

بدین ترتیب ظرفیت کششی عضو بر اساس معیار گسیختگی افزایش می‌یابد ولی در این مسئله به دلیل حاکم شدن معیار تسلیم، ظرفیت نهایی تغییر نمی‌کند.

۲-۶ صلبیت قطعات کششی (λ)

هرچند در طراحی اعضای کششی پدیده ناپایداری دخالت ندارد، ولی به علت سبک‌بودن مقاطع اعضای کششی، ممکن است تغییر شکل در آنها زیاد شده و حساسیت آنها در مقابل نیروهایی که با زمان تغییر می‌کنند، افزایش یابد. به منظور جلوگیری از خیز این اعضا تحت اثر وزن، عدم نوسان در مقابل نیروهای جانبی و داشتن سختی مناسب، آیین‌نامه‌ها صلبیت این اعضا را براساس روابط زیر محدود می‌کنند. مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، حداکثر نسبت طول آزاد قطعه به شعاع ژیراسیون حداقل مقطع را برای قطعات اصلی و فرعی به ۳۰۰ محدود می‌کند. قطعات اصلی همواره تحت تنش هستند و خرابی آنها موجب خرابی سازه می‌شود، ولی قطعات فرعی همیشه تحت اثر نیرو قرار ندارند. برای قلاب‌ها و میله مهارهای کششی که دارای پیش‌تنیدگی اولیه به مقدار کافی باشند، به‌طوری‌که پس از ایجاد کشش اولیه عضو به حالت مستقیم درآید، رعایت محدودیت صلبیت ضروری نیست.

$$\lambda_{max} = \frac{L}{r_{min}} \leq 300 \qquad \text{۷-۲}$$

L طول عضو

r_{min} شعاع ژیراسیون حداقل مقطع عضو

مثال ۵-۲

مطلوب است حداکثر طول مجاز قطعه کششی با مقطع دو نبشی 2L8 چسبیده به هم.

حل:

مشخصات فنی L8 از جدول اشتال به شرح زیر می‌باشد:

$$L8: A = 12.3cm^2, r_x = r_y = 2.43cm, r_\eta = 1.55cm, r_\xi = 3.06cm, I_x = I_y = 72.2cm^4$$

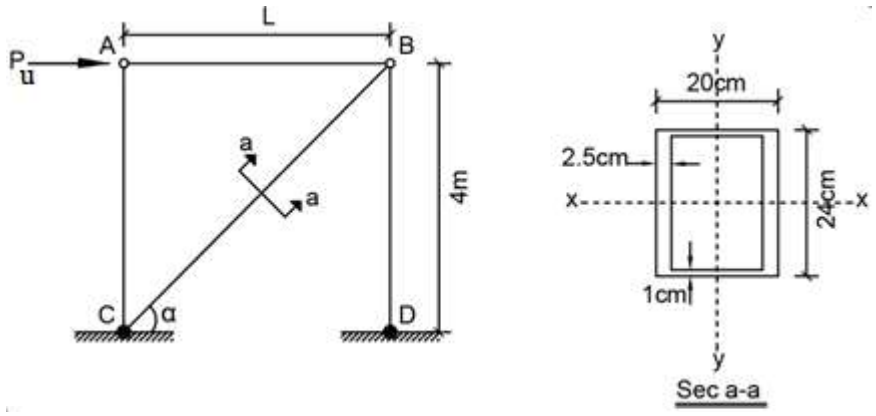
با کنترل صلبیت مقطع نبشی، طول مجاز بدست می‌آید:

$$r_{min} = r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{2I_{x0}}{2A_0}} = r_{x0} = 2.43\ cm$$

$$\lambda = \frac{L}{r_{min}} = \frac{L}{2.43} \leq 300 \rightarrow L \leq 300 * 2.43 = 729\ cm$$

مثال ۶-۲

حداکثر نیروی P_u و حداکثر طول L که می‌توان بر سازه مهاربندی زیر اعمال نمود، چقدر است؟



شکل ۲-۱۶ سازه یک طبقه تحت اثر نیروی جانبی P_u

حل:

گام ۱- تحلیل نیروها

$$node\ A \rightarrow F_{AB} = -P_u$$

$$node\ B \rightarrow F_{BC}\cos\alpha + F_{AB} = 0 \Rightarrow F_{CB} = \frac{P_u}{\cos\alpha}$$

$$A_g = 20 \times 24 - 15 \times 22 = 150cm^2$$

گام ۲- کنترل تسلیم

با محاسبه تنش موجود کششی و مقایسه آن با تنش مجاز کششی، رابطه بین نیروی P_u و $\cos\alpha$ بدست می‌آید:

$$F_{CB} \leq 0.9 f_y A_g$$

$$\frac{P_u}{\cos\alpha} \leq 0.9 \times 2.4 \times 150 \Rightarrow P_u \leq 324.0 \times \cos\alpha \Rightarrow P_u \leq 324.0\cos\alpha\ (ton)$$

حداکثر مقدار P_u زمانی حاصل می‌گردد که $\cos\alpha$ حداکثر شود و لذا بایستی α حداقل گردد. محاسبه شعاع ژیراسیون قبلا در مثال های فصل یک انجام شده‌است.

$$I_x = \frac{20\times24^3}{12} - \frac{15\times22^3}{12} = 9730cm^4 \rightarrow r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{9730}{150}} = 8.05cm$$

$$I_y = \frac{24\times20^3}{12} - \frac{22\times15^3}{12} = 9812.5cm^4 > I_x \rightarrow r_{min} = r_x$$

$$\lambda = \frac{L_{BC}}{r_{min}} \leq 300 \Rightarrow L_{BC} \leq 300 \times 8.05 = 2415cm$$

$$L = L_{AB} = \sqrt{2415^2 - 400^2} = 2381cm$$

$$\alpha_{min} = tan^{-1}\left(\frac{400}{2381}\right) = 9.53°$$

$$P_u \leq 324.0 \times cos\,9.53° \rightarrow P_u \leq 319.53ton$$

۲-۷ ضریب اتصال (K)

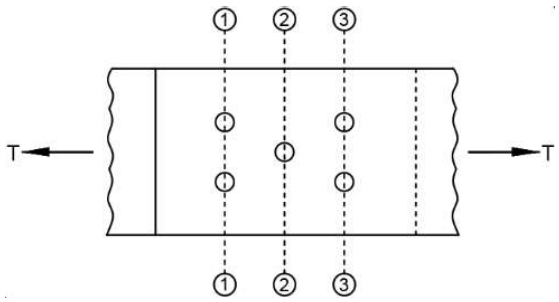
در قطعات کششی هرگاه صحبت از سوراخ در قطعه شود، معمولاً هدف سوراخی است که جهت پیچ یا پرچ تعبیه شده‌است که این گونه کاربری از پیچ یا پرچ در محل اتصال قطعه کششی انجام می‌گیرد. در طرح اتصالات پیچی یا پرچی قطعات کششی معمولاً فرض می‌شود که سهم باربری از پیچ‌ها در محل اتصال یکسان است. البته به شرطی که خروج از محوری در محل اتصال وجود نداشته باشد. چنین فرضی زمانی صحیح است که ورق‌های تحت نیروی کشش، هیچ کرنشی را تحمل نکنند، ولی اگر کرنش ورق‌های کششی همانگونه که در عمل واقعیت دارد در سهم باربری پیچ‌ها دخالت کند، فرض مذکور دیگر صحیح نخواهد بود.

مثال ۲-۷

باتوجه‌به اتصال نشان داده شده در شکل زیر:

الف) سهم هر پیچ را در انتقال نیروی T تعیین نمایید.

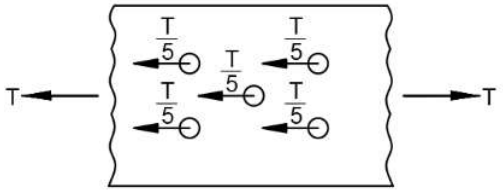
ب) نیروی کششی موجود در مقاطع 1-1 و 2-2 و 3-3 را مشخص نمایید.



شکل شمای اتصال

حل الف) سهم هر پیچ در انتقال نیروی T

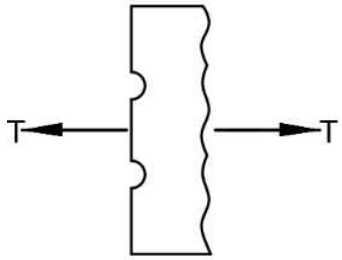
باتوجه‌به شکل زیر هر پیچ $\frac{1}{5}$ نیروی وارده بر قطعه را تحمل می‌کند.



شکل مشارکت پیچ‌ها در انتقال نیروی کششی و نقش ضریب اتصال

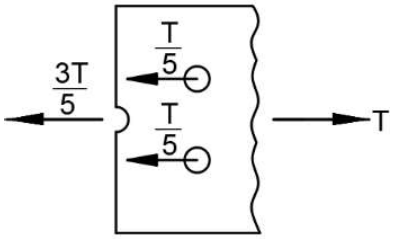
حل ب) نیروی کششی موجود در مقاطع 1-1 و 2-2 و 3-3

با توجه به شکل زیر، نیروی کششی مقطع 3-3 برابر نیروی T می‌باشد.



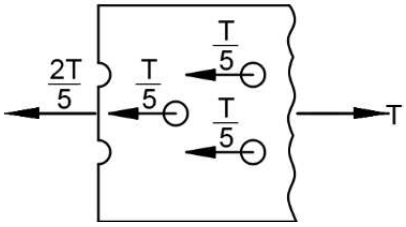
شکل مقطع 3-3

با توجه به شکل زیر، نیروی کششی مقطع 2-2 برابر نیروی $\frac{3}{5}T$ می‌باشد.



شکل مقطع 2-2

با توجه به شکل زیر، نیروی کششی مقطع 1-1 برابر نیروی $\frac{2}{5}T$ می‌باشد.



شکل مقطع 1-1

چنانچه در مثال فوق مشاهده شد در حالتی که مقطعی از اتصال تحت اثر کل نیرو نباشد، جهت بررسی سطح مقطع خالص، بایستی نیروی T در ضریبی کاهنده برابر $\frac{\text{تعداد پیچ روی خط برش و قبل آن}}{\text{تعداد کل پیچ}}$ ضرب نمود و یا به صورت معکوس، سطح مقطع خالص (A_n) را در ضریبی افزایشی ضرب کرده و اثر مشارکت را لحاظ نمود. از این به بعد ضریب K به عنوان ضریب اتصال مطابق زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$K = \frac{\text{تعداد کل پیچ}}{\text{تعداد پیچ روی خط برش و قبل آن}} = \frac{\text{تعداد کل پیچ}}{\text{تعداد کل پیچ − تعداد رد شده}} \geq 1 \qquad ۸\text{-}۲$$

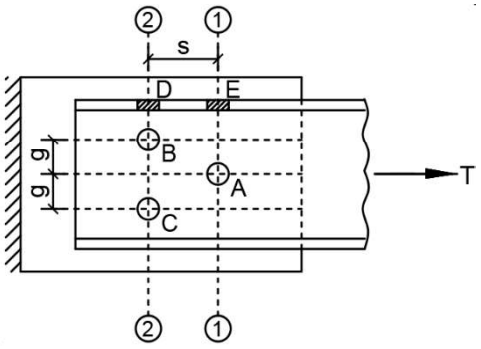
$$\frac{1}{K}P_u \leq 0.75 f_u A_e \rightarrow P_u \leq 0.75 f_u A_e \times K \qquad ۹\text{-}۲$$

توجه: تعبیه سوراخ در قطعات کششی، به مقاصد مختلفی انجام می‌گیرد. چنانچه سوراخ در قطعه کششی برای عبور پیچ باشد (در محل اتصال) در این حالت اثر ضریب اتصال برای مسیرهای مختلف، به شرح همین قسمت اعمال می‌گردد. چنانچه این سوراخ به‌منظور دیگری (غیر از اتصال) ایجاد شده باشد (سوراخ تزئینی) در این صورت اثر ضریب اتصال برای مسیرهای مختلف منظور نمی‌گردد.

درهرحال وجود سوراخ در یک مسیر، باعث کاهش سطح مقطع مورد بررسی خواهد گردید. چه این سوراخ برای اتصال باشد و چه سوراخ تزئینی باشد.

مثال ۸ـ۲

سطح مقطع خالص شکل زیر را در سه مسیر $1A1$، $2BC2$ و $2DBAC2$ با احتساب اثر سوراخ‌های تزئینی و ضریب اتصال هر مسیر، محاسبه نمایید.



شکل ۲-۱۷ سوراخ‌های اتصال (A,B,C) و سوراخ‌های تزئینی (D,E)

حل:

با توجه به شکل می‌توان دریافت که سوراخ‌های D و E تزئینی می‌باشند.

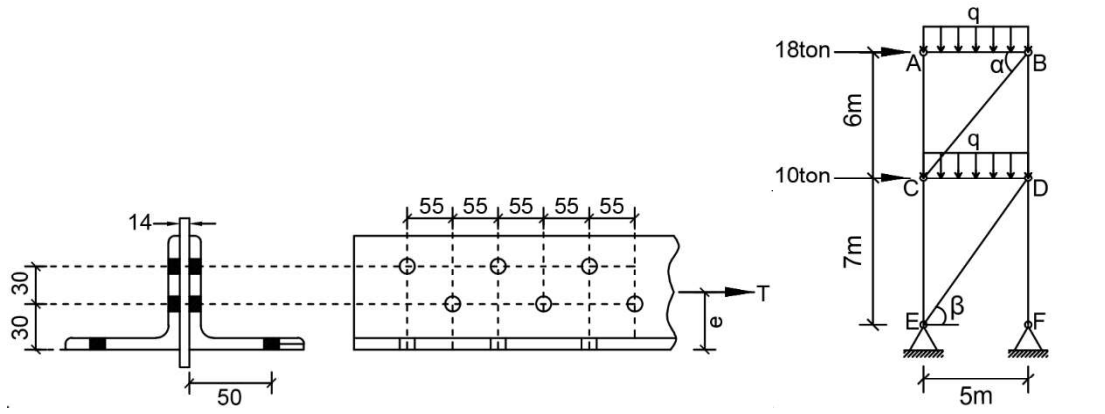
$$A_n^{1A1} = (A_g - 2Dt) \times (K = 1.0)$$

$$A_n^{2BC2} = (A_g - 3Dt) \times (K = \frac{3}{2})$$

$$A_n^{2DBAC2} = (A_g - 4Dt + 2\frac{S^2}{4g}t) \times (K = 1.0)$$

مثال ۹ـ۲

مهاربند یک ساختمان فولادی تحت اثر بار ثقلی و نیروی جانبی ضریبدار مطابق شکل ۲-۱۸ مورد نظر است. برای اتصال اعضای مهاربندی به صفحه اتصال از پیچ‌های M22 استفاده شده‌است. مطلوبست طرح عضو مهاربندی BC از دوبل نبشی (به صورت T شکل) و کنترل صلبیت آن.



الف- قاب مهاربندی شده ب- مقطع مهاربند **BC** (ابعاد بر حسب میلی‌متر)

شکل ۲-۱۸ مهاربند و مقطع مورد نظر

حل:

توجه: L طول اتصال است که برای اتصالات پیچی برابر با بیشترین فاصله پیچ ها (فاصله اولین پیچ تا آخرین پیچ در راستای اعمال نیرو) **در هر ردیف پیچ** می‌باشد. در این مثال: $L = 4 \times 5.5cm = 22cm$

گام ۱- تحلیل نیروها

بر اساس تحلیل، نیروی مهاربند BC تعیین و سپس سطح مقطع مورد نیاز محاسبه می گردد:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{6}{5}\right) = 50.2^\circ$$

$$F_{BC}\cos\alpha = 18 \Rightarrow F_{BC} = \frac{18}{\cos 50.2^\circ} = 28.12ton$$

گام ۲- کنترل تسلیم

$$A_g = 2A_i$$

که A_i مساحت هر یک از نبشی‌ها است.

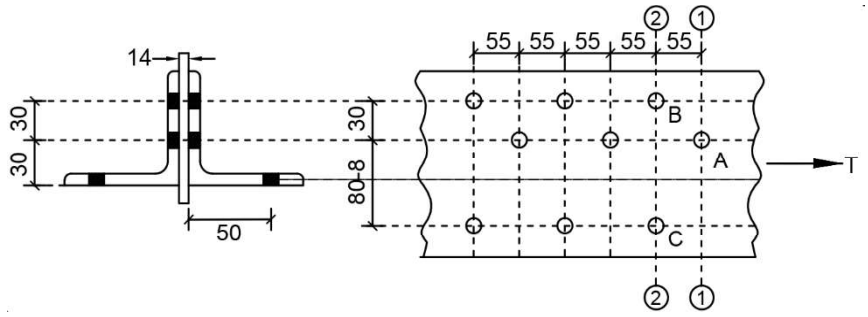
$$F_{BC} \le 0.9 f_y A_g \rightarrow 28.12ton \le 0.9 * 2.4 * 2A_i \rightarrow A_i \ge 6.51cm^2$$

گام ۳- حدس اولیه مقطع

با توجه به مساحت ناخالص مورد نیاز بدست آمده نبشی شماره ۶ پاسخگوی نیاز تسلیم مقطع می‌باشد. در صورت ادامه حل مثال با نبشی شماره ۶ در مرحله کنترل گسیختگی، نبشی ۶ پاسخگو نخواهد بود (حل این مورد واگذار می‌شود). لذا در ادامه حل این مثال نبشی شماره ۸ کنترل می‌شود.

$$L8: A = A_i = 12.3cm^2, r_x = r_y = 2.43cm, I_x = I_y = 72.2cm^4, e = 2.26$$

گام ٤- تعیین مسیر بحرانی شکست



شکل ۲-۱۹ نبشی گسترده شده (ابعاد بر حسب میلی‌متر)

مسیر شکست $1A1$:

$$K^{1A1} = 1.0$$

$$A_n^{1A1} = 2[A_i - Dt] = 2[12.3 - (2.2 + 0.4) \times 0.8] = 20.44cm^2$$

مسیر شکست $2BA1$:

$$K^{2BA1} = 1.0$$

$$A_n^{2BA1} = 2\left[A_i - 2Dt + \frac{S^2}{4g}t\right] = 2\left[12.3 - 2 \times 2.6 \times 0.8 + \frac{5.5^2}{4\times3} \times 0.8\right] = 20.32cm^2$$

مسیر شکست $2BC2$:

$$K^{2BC2} = \frac{6}{5}$$

$$A_n^{2BC2} = 2\left[(A_i - 2Dt) \times \frac{6}{5}\right] = 2\left[(12.3 - 2 \times 2.6 \times 0.8) \times \frac{6}{5}\right] = 19.54cm^2$$

مسیر شکست $2BAC2$:

$$K^{2BAC2} = 1.0$$

$$g = 5 + 3 - t = 8 - 0.8 = 7.2cm$$

$$A_n^{2BAC2} = 2\left[A_i - 3Dt + \sum\frac{S^2}{4g}t\right] = 2\left[12.3 - 3 \times 2.6 \times 0.8 + \left(\frac{5.5^2}{4\times3} \times 0.8\right) + \left(\frac{5.5^2}{4\times7.2} \times 0.8\right)\right] =$$

$$17.82cm^2$$

از آنجایی که تماس دو نبشی از یک بال می‌باشد، باید طبق جدول ۲-۱ از رابطه $U = 1 - \frac{\bar{x}}{\bar{L}}$ برای محاسبه A_e استفاده شود. $\bar{x}$ خروج از مرکزیت اتصال می‌باشد که این فاصله برای نبشی ها از بر مقطع در محل اتصال تا موقعیت تار خنثی مقطع می‌باشد.

$$\bar{x} = 2.26cm\ ;\ \bar{L} = 5.5 \times 4 = 22cm$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{\bar{L}} = 1 - \frac{2.26}{22} = 0.897$$

$$A_n^{(\min)} = A_n^{2BAC2} = 17.82cm^2 \rightarrow A_e = UA_n = 0.897 \times 17.82 = 15.99cm^2$$

مقطع $2BAC2$ کنترل کننده است.

گام ٥- کنترل گسیختگی نبشی

$$F_{BC} \leq 0.75f_uA_e \Rightarrow 28.12ton \leq 0.75 \times 3.7 \times 15.99 = 44.37ton\ O.K.$$

گام ٦- کنترل صلبیت

$$r_{min} = r_x \; ; \; L = \sqrt{500^2 + 600^2} = 781cm$$

$$\lambda = \frac{L}{r_{min}} \leq 300 \rightarrow \frac{781}{2.43} = 321.4 \nleq 300 \; NOT \; O.K.$$

با توجه با اینکه صلبیت نبشی $L8$ جوابگو نیست از $L10$ استفاده می‌شود:

$$L10: A = 19.2cm^2, r_x = r_y = 3.04cm, I_x = I_y = 177cm^4, e = 2.82$$

$$\lambda = \frac{L}{r_{min}} \leq 300 \rightarrow \frac{781}{3.04} = 256.9 \leq 300 \; O.K.$$

گام ۷- نتیجه

نبشی $L10$ مناسب است.

توجه: در صورت انجام حدس اولیه مقطع در گام ۳ با توجه به دو معیار کنترل تسلیم و کنترل صلبیت، می‌توان از ابتدا نبشی شماره ۱۰ را انتخاب نمود.

۲-۸ قطعات کششی مرکب

هر گاه در تهیه یک قطعه کششی از چند نیم‌رخ (به علت بزرگی نیروی کششی) استفاده شود، یعنی قطعه‌ای به صورت مرکب ایجاد شود، لازم است فاصله مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصله آزاد بین نوارهای جوش منقطع در امتداد طولی عضو، در یک مقطع مرکب تحت کشش که از ورق‌های متصل به یک نیم‌رخ فولادی یا به یک ورق دیگر تشکیل شده‌است ، نباید از ۲۴ برابر ضخامت نازکترین ورق و یا از ۳۰ سانتی‌متر بیشتر باشد. چنانچه این اتصال در معرض زنگ زدگی و یا خوردگی (حاصل از عوامل جوی) قرار گیرد، این مقدار به ۱۴ برابر ضخامت نازکترین ورق و ۱۸ سانتی‌متر محدود می‌شود. به عبارت دیگر:

$$3d_b \leq S \leq \begin{cases} min(24t_p, 30cm) & \text{خوردگی کم} \\ min(14t_p, 20cm) & \text{خوردگی شدید} \end{cases} \qquad ۱۰-۲$$

محدوده مجاز فاصله سوراخ‌ها از لبه ورق در امتداد نیرو (L_e) برای سوراخ استاندارد، با فرض لبه نورد شده و یا برشکاری لبه ورق با شعله و یا ارّه، بر حسب شرایط جوی مطابق روابط زیر تعیین می‌شود[۲].

$$1.75d_b \leq L_e \leq \begin{cases} min(12t_p, 15cm) & \text{خوردگی کم} \\ min(8t_p, 12.5cm) & \text{خوردگی شدید} \end{cases} \qquad ۱۱-۲$$

در اعضای کششی که از دو یا تعداد بیشتری نیم‌رخ در تماس با یکدیگر تشکیل می‌شوند، فاصله مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصله آزاد بین نوارهای جوش منقطع از ۶۰ سانتی‌متر بیشتر نشود. در هر صورت، فاصله مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصله آزاد بین

[۲] برای اطلاع از ضوابط مربوط به لبه بریده شده ورق با گیوتین و فواصل سوراخهای بزرگ شده و لوبیایی به مبحث دهم بند ۱۰-۲-۹-۳-۲ مراجعه شود.

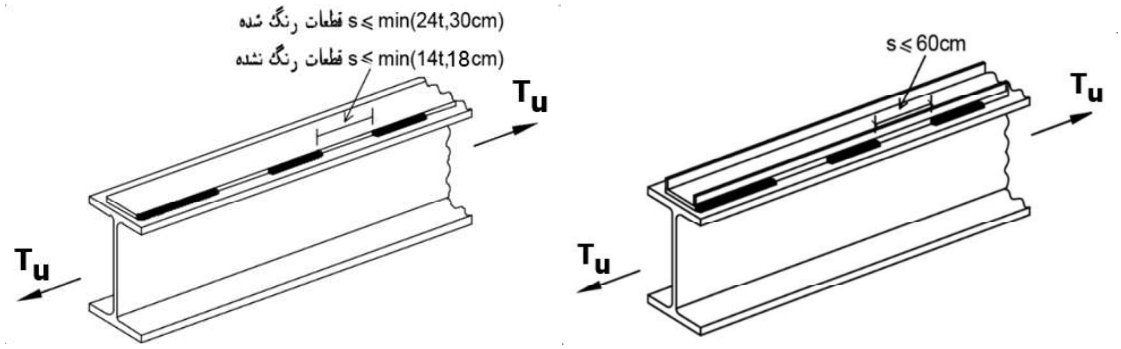
نوارهای جوش منقطع باید طوری اختیار شود که مطابق رابطه زیر، صلبیت هر یک از اجزای تشکیل دهنده عضو (λ_i) در فاصله آزاد از ۳۰۰ بیشتر نشود. در شکل ۲-۲۰ ضوابط مربوط به قطعات کششی مرکب ارائه شده‌است.

$$\lambda_i = \frac{s}{r_i} \leq 300 \qquad ۱۲\text{-}۲$$

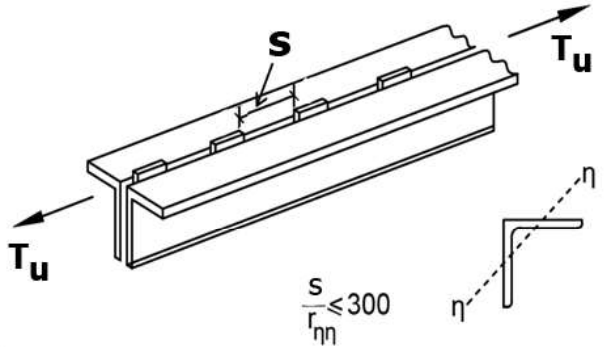
λ_i صلبیت مقطع تک

s فاصله آزاد لقمه ها از یکدیگر

r_i شعاع ژیراسیون حداقل برای مقطع تک



الف) عضو کششی متشکل از نیم‌رخ و ورق ب) عضو کششی با دو نیم‌رخ یا بیشتر



ج) عضو کششی مرکب با اتصال لقمه (filler plate)

شکل ۲-۲۰ ضوابط قطعات کششی مرکب

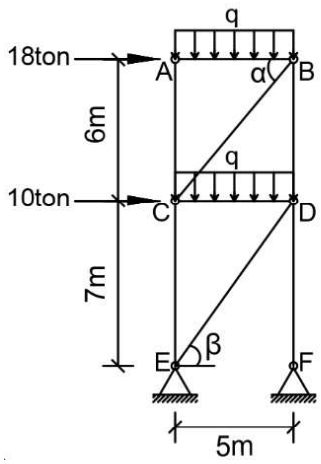
مثال ۲-۱۰ (تکرار)

چنانچه مقطع عضو کششی قاب شکل زیر از دوبل نبشی 2L8 (به صورت شکل T) مد نظر طراحی باشد و طول عضو 7m در نظر گرفته شود، مطلوبست:

الف) تعیین تعداد لقمه اتصال لازم در طول عضو.

ب) تعیین فاصله آزاد جوش منقطع، با فرض رنگ‌آمیزی قطعه.

پ) تعیین فاصله آزاد جوش منقطع، با فرض عدم رنگ‌آمیزی قطعه.



شکل ۲-۲۱ قاب و مهاربند مورد نظر مثال

حل الف: مقطع دوبل با لقمه

مشخصات فنی $L8$ از جدول اشتال به شرح زیر می‌باشد:

$$L8: A = 12.3cm^2, r_x = r_y = 2.43cm, r_\eta = 1.55cm, r_\xi = 3.06cm, I_x = I_y = 72.2cm^4$$

گام ۱- کنترل صلبیت مقطع تک

$$r_i = r_\eta = 1.55cm$$

$$\lambda_i = \frac{s}{r_i} \leq 300 \Rightarrow s \leq 300 \times 1.55 = 465cm$$

بنابراین یک لقمه در وسط طول قطعه قرار داده می‌شود. توجه شود که عضو مهاربند در دو انتها، از طریق صفحه اتصال به سازه متصل است و عملکرد صفحات اتصال، مشابه عملکرد لقمه میان مهاربند می‌باشد.

حل ب: مقطع دوبل چسبیده بدون رنگ‌آمیزی

گام ۲- کنترل صلبیت مقطع تک

مشابه گام قبل، محدودیت صلبیت ۳۰۰ در فاصله آزاد کنترل می‌گردد.

$$r_i = r_\eta = 1.55cm \rightarrow \lambda_i = \frac{s}{r_i} \leq 300 \Rightarrow s \leq 300 \times 1.55 = 465cm$$

گام ۳- کنترل ضابطه خوردگی

$$s \leq \min(18cm, 14 * 0.8\text{cm}, 465cm) = 11.2\text{cm}$$

فاصله میان جوشهای منقطع به ۱۰ سانتی‌متر محدود می‌گردد.

حل پ: مقطع دوبل چسبیده با رنگ‌آمیزی

گام ٤- کنترل صلبیت مقطع تک

مشابه گام قبل، محدودیت صلبیت ۳۰۰ در فاصله آزاد کنترل می‌گردد.

$$r_i = r_\eta = 1.55cm \rightarrow \lambda_i = \frac{s}{r_i} \leq 300 \Rightarrow s \leq 300 \times 1.55 = 465cm$$

گام ۵- کنترل ضابطه خوردگی

$$s \leq \min(30cm, 24 * 0.8\text{cm}, 465cm) = 19.2\text{cm}$$

فاصله میان جوشهای منقطع به ۱۵ سانتی‌متر محدود می‌گردد.

در اعضای کششی مرکب، بکار بردن ورق های پوششی مشبک در وجوه باز نیم‌رخ مرکب مجاز است. ضخامت ورق‌های پوششی مشبک نباید کمتر از $\frac{1}{50}$ فاصله بین خطوط جوش با قیدهایی باشد که آنها را به اجزای عضو متصل می کند. فاصله مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصله آزاد بین نوارهای جوش منقطع در امتداد طولی ورق مشبک نباید از ۱۵۰ میلی‌متر تجاوز کند.

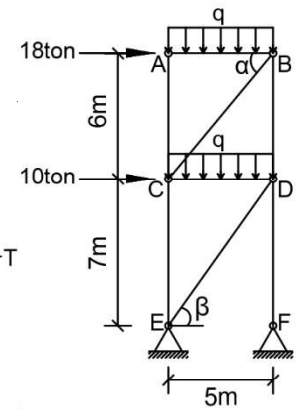
در اعضای کششی مرکب، به کار بردن بستهای موازی در وجوه باز نیم‌رخ مرکب مجاز است. پهنای بستهای موازی در امتداد طولی عضو بایستی حداقل به اندازه $\frac{2}{3}$ فاصله بین خطوط جوش یا قیدهایی باشد که آنها را به اجزای عضو متصل می‌کند. ضخامت بستهای موازی نباید کمتر از $\frac{1}{50}$ فاصله مذکور باشد.

مثال ۱۱-۲ (تکرار)

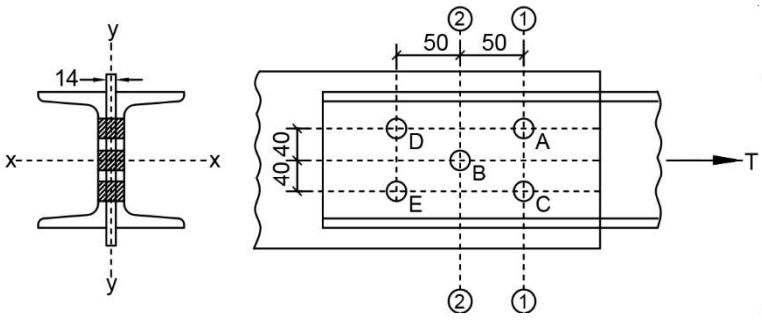
مهاربندی با مقطع دوبل ناودانی و دارای سه پیچ اتصال $M22$ مطابق شکل زیر مد نظر می‌باشد. بارهای نشان داده شده به صورت ضریبدار هستند. مطلوبست:

الف) طرح عضو مهار بندی DE از دوبل ناودانی.

ب) کنترل صلبیت و تعیین تعداد لقمه لازم در صورت نیاز.



الف- قاب و مهاربند مورد نظر مثال



ب- مقطع عضو ED و نحوه اتصال آن (ابعاد بر حسب میلی‌متر)

شکل ۲-۲۲ قاب و مقطع مهاربند مورد نظر

حل الف)

گام ۱- تحلیل نیروها

بر اساس تحلیل، نیروی مهاربند ED تعیین و سپس سطح مقطع مورد نیاز محاسبه می گردد:

$$\beta = tan^{-1}\left(\frac{7}{5}\right) = 54.46^\circ$$

$$F_{ED}cos\,\beta = 28 \Rightarrow F_{ED} = \frac{28}{cos\,54.46^\circ} = 48.17ton$$

$$P_u = F_{ED} = 48.17ton$$

$$P_u \le 0.9 f_y A_g \Rightarrow 48.17ton \le 0.9 * 2.16 * A_g \rightarrow A_g \ge 22.30cm^2$$

گام ۲- حدس مقطع اولیه

با توجه به مساحت بدست آمده ناودانی $UNP10$ انتخاب می‌شود که کنترلهای بعدی آن جواب نمی‌دهد لذا ناودانی $UNP14$ برای کنترل مسیرهای مایل مورد بررسی قرار می‌گیرد که مشخصات فنی آن از جدول اشتال به شرح زیر است:

$$UNP14: A = 20.4cm^2, t_w = 0.7cm, r_x = 5.45cm., r_y = 1.75cm, e = 1.75cm$$

گام ۳- تعیین مسیر بحرانی شکست

مسیر شکست $1AC1$:

$$A_n^{1AC1} = 2[A_i - 2Dt] = 2[20.4 - 2 \times (2.2 + 0.2 + 0.2) \times 0.7] = 33.52cm^2$$

مسیر شکست $1ABC1$:

$$A_n^{1ABC1} = 2\left[A_i - 3Dt + 2\frac{S^2}{4g}t\right] = 2\left[20.4 - 3 \times 2.6 \times 0.7 + 2\left(\frac{5^2}{4\times4} \times 0.7\right)\right] = 34.26cm^2$$

از آنجایی که تماس دو ناودانی از یک بال می‌باشد، باید طبق جدول ۲-۱ از رابطه $U = 1 - \frac{\bar{x}}{\bar{L}}$ برای محاسبه A_e استفاده شود. $\bar{x}$ خروج از مرکزیت اتصال می‌باشد که این فاصله برای ناودانی ها از بر مقطع در محل اتصال تا موقعیت تار خنثی مقطع می‌باشد. L طول اتصال می‌باشد که برای اتصالات پیچی برابر با بیشترین فاصله پیچ ها در یک ردیف می‌باشد.

$$\bar{x} = 1.75cm\ ;\ \bar{L} = 5.0 \times 2 = 10cm$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{\bar{L}} = 1 - \frac{1.75}{10} = 0.825$$

$$A_{n,min} = A_n^{1AC1} = 33.52cm^2 \rightarrow A_e = UA_n = 0.825 \times 33.52 = 27.65cm^2$$

گام ٤- کنترل گسیختگی ناودانی

$$F_{ED} \le 0.75 f_u A_e$$

$$F_{ED} = 48.17ton \le 0.75 \times 3.7 \times 27.65 = 76.74ton\ \text{O. K.}$$

حل ب)

گام ۵- کنترل صلبیت مقطع

$$L = \sqrt{700^2 + 500^2} = 860cm$$
$$\lambda = \frac{L}{r_{min}} \leq 300 \rightarrow r_{min} \geq \frac{860}{300} = 2.87cm$$

شعاع ژیراسیون در مثال قبل محاسبه شده‌است.

$$r_x = r_{x_0} = 5.45cm$$
$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2I_{y0}}{2A_0} + \frac{2A_0(e+0.7)^2}{2A_0}} = \sqrt{{r_{y_0}}^2 + (e+0.7)^2} = \sqrt{1.75^2 + (1.75+0.7)^2} = 3.01cm$$

یادآوری می‌شود که رابطهٔ محاسبه مستقیم r_y در مثالهای فصل قبل نیز استفاده شده‌است.

$$r_{min} = r_y = 3.01cm > 2.87cm$$

گام ۶- حداکثر فواصل لقمه

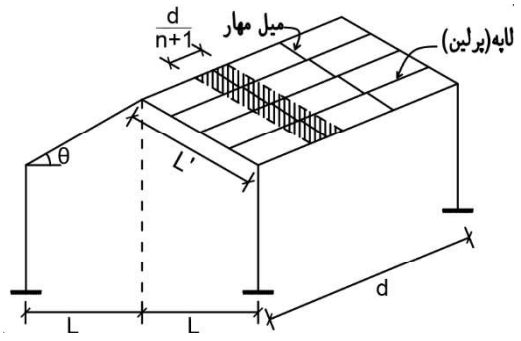
$$r_i = r_{y0} = 1.75cm$$
$$\lambda_i = \frac{s}{r_i} \leq 300 \rightarrow s \leq 300 \times 1.75 = 525cm$$

بنابراین یک لقمه در وسط طول مهاربند قرار داده می‌شود.

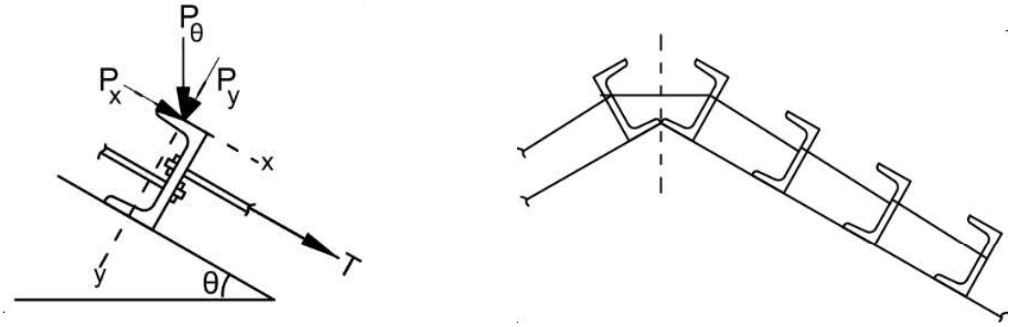
توجه: فاصله بین نبشی‌ها بدون وجود ورق در محاسبه مشخصات مقطع مانند r و I وارد می‌شود و سطح ورق بین، منظور نمی‌شود. زیرا این ورق در تمام طول مهاربند قرار ندارد.

۲-۹ طراحی میل‌مهار لاپه در ساختمان‌های صنعتی (مطالعه آزاد)

یکی از متداول‌ترین و ساده‌ترین قطعات کششی، میلگردهای فولادی است، از آنجا که این چنین قطعاتی بارهای محوری اندکی را تحمل می‌کنند لذا سطح مقطع قابل ملاحظه‌ای برای آنها محاسبه نمی‌گردد. یکی از موارد استفاده میلگردها، در مهاربندی لاپه‌های ساختمانهای صنعتی است که دو وظیفه مهم را به عهده دارند. اولا نیروی رانش موازی سطح شیب دار سقف (مؤلفه P_x) را تحمل کرده، ثانیاً به عنوان تکیه گاه جانبی برای لاپه‌ها، تنش ناشی از خمش حول محور ضعیف لاپه‌ها را کاهش می‌دهند. در شکل ۲-۲۱ چگونگی قرارگیری میل مهار در سقفهای سبک در سازه‌های صنعتی و نیروهای وارد بر آن، نشان داده‌شده‌است.



الف- موقعیت میل مهار در سقف های سبک سازه های صنعتی



ب- نمایش میل مهار و لاپه **ج- نیروهای وارد بر لاپه و میل مهار**

شکل ۲-۲۳ میل‌مهار لاپه در سقف ساختمان‌های صنعتی

همان طور که در شکل ۲-۲۱ مشاهده می‌شود، نیروی P_x، باعث ایجاد خمش حول محور ضعیف ناودانی می‌شود که لاپه در مقابل آن مقاومت چندانی ندارد (خمش حول محور ضعیف) و میل مهار این نیرو را تحمل می‌کند. نیروی P_y نیز موجب خمش حول محور قوی لاپه می گردد که توسط خود لاپه تحمل می‌شود (خمش حول محور قوی).

بارهای وارده براین سقفها، وزن پوشش و بار برف است . شدت بار برف وارده برروی سطح افقی، توسط آیین نامه های بارگذاری (متناسب با محل و منطقه) داده می‌شود. به طور مثال مبحث ششم مقررات ملی، شدت بار برف در سطح افقی را در شهرهای مختلف ارائه می‌نماید. بدیهی است نیروی حاصل از برف (در یک سطح مایل) از حاصل ضرب شدت بار برف در تصویر افقی (آن سطح مایل) حاصل می گردد. یعنی:

نیروی بار برف = شدت بار برف ×تصویر افقی سطح **۱۳-۲**

شدت بار مرده، حاصل از پوشش سقف برروی سطح واقعی (متناسب با مصالح مصرفی در پوشش) قابل محاسبه می‌باشد. بدیهی است نیروی حاصل از بار مرده (در یک سطح مایل) از حاصل ضرب شدت بار مرده در سطح مایل مذکور، حاصل می گردد. یعنی

نیروی بار مرده = شدت بار مرده ×سطح مورد نظر **۱۴-۲**

لازم به ذکر است بین سطح مایل و سطح تصویر افقی، رابطه مثلثاتی زیر وجود دارد:

$$\text{تصویر سطح افقی} = \text{تصویر سطح مایل} \times \cos\theta \qquad \textbf{۱۵-۲}$$

بنابراین برای تعیین برآیند بار وارده، ابتدا حاصل ضرب شدت بار برف در تصویر افقی سطح (به عنوان بار برف) محاسبه می گردد. سپس حاصل ضرب شدت بار مرده در سطح مایل مورد نظر (به عنوان بار مرده) محاسبه می گردد. دو بار محاسبه شده، در انتها با یکدیگر جمع می شوند.

در روابط زیر برآیند بار مرده و بار برف بیان گردیده است.

$$P_1 = q_1\left(L'\frac{d}{n+1}\right) \qquad ۱۶\text{-}۲$$

$$P_2 = q_2\left(L\frac{d}{n+1}\right) \qquad ۱۷\text{-}۲$$

$$P = P_1 + P_2 \qquad ۱۸\text{-}۲$$

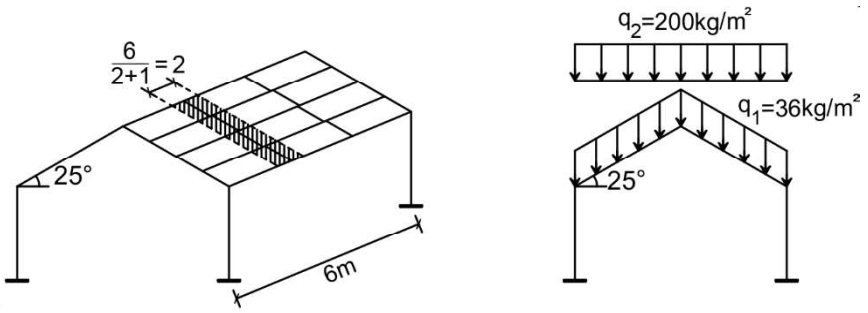
q_1	شدت بار مرده حاصل از پوشش سقف (مؤثر در سطح مایل)		
q_2	شدت بار برف (مؤثر در تصویر افقی سطح)		
P_1	برایند بار مرده حاصل از پوشش سقف	P_2	برایند بار برف
P	جمع بار حاصل از بار مرده و بار برف	n	تعداد ردیف میل‌مهار در فاصله دو قاب
d	فواصل خرپاهای اصلی	$2L$	دهانه پوشش
$\frac{d}{n+1}$	عرض بارگیر هر میلگرد	θ	زاویه شیب سقف

با داشتن نیروی P، نیروی وارد بر میل مهار طبق رابطه $T_u = P_x = P\sin\theta$ تعیین می‌شود. با داشتن نیرو و مقاومت طراحی کششی، می‌توان مساحت میلگرد و قطر آن را مطابق $T_u \le \phi(0.75f_u)A \Rightarrow A \ge \frac{T_u}{\phi(0.75f_u)}$ یافت که در آن $\phi = 0.75$ است. به جهت مسائل اجرایی و امکان رزوه در میل‌مهار، حداقل قطر میل‌مهار لاپه $\phi 10$ انتخاب می‌شود.

توجه شود که نیروی محاسبه شده در فوق، مربوط به بالاترین ردیف میل مهار سقف می‌باشد، چنانچه نیروی میل مهارهای پایین‌تر مورد نظر باشد، باید از سطح بارگیر مربوط به خود استفاده نمود.

مثال ۲-۱۲

محاسبه میل‌مهار لاپه ساختمان صنعتی مورد نظر است به طوری که دهانه لاپه‌ها ۶ متر است و میل‌مهارها در نقاط $\frac{1}{3}$ دهانه واقع شده‌اند. طول یک سمت شیب دار سقف $7.5m$ و زاویه شیب سقف 25° و بار برف $200\frac{kg}{m^2}$ مؤثر در سطح افقی و وزن پوشش سقف و لاپه مجموعاً $36\frac{kg}{m^2}$ مؤثر در سطح مایل در نظر گرفته شده‌است.



شکل ۲-۲۴ سقف یک ساختمان صنعتی و بارهای وارده بر آن

حل:

ابتدا بار مرده، مؤثر در سطح مایل محاسبه می گردد:

$$q_1 = 36\frac{kg}{m^2} = 0.036\frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$P_1 = q_1\left(L'\frac{d}{n+1}\right) = 0.036 \times (7.5 \times 2) = 0.54ton$$

سپس بار برف، مؤثر در سطح افقی محاسبه می گردد:

$$q_2 = 200\frac{kg}{m^2} = 0.2\frac{ton}{m^2}$$

$$P_2 = q_2\left(L\frac{d}{n+1}\right) = 0.2 \times (7.5 \times cos\,2\,5° \times 2) = 2.72ton$$

حال برآیند بار مرده و بار برف محاسبه می گردد:

$$P = P_1 + P_2 = 0.54 + 2.72 = 3.26ton$$

نیروی وارد بر میل مهار با توجه به نیروی P محاسبه می گردد:

$$T_u = Psin\theta = 3.26 \times sin\,2\,5° = 1.38ton$$

سطح مقطع مورد نیاز میل مهار با داشتن نیروی میل مهار و تنش مجاز، محاسبه می گردد و سپس شماره میل مهار با توجه به سطح مقطع، تعیین می‌شود:

$$T_u \le \phi(0.75f_u)A$$

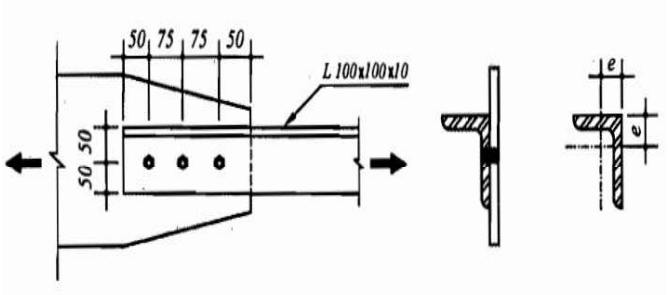
$$T_u = 1.38 \le 0.75(0.75 \times 3.7)A \Rightarrow A \ge 0.67cm^2$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \ge 0.67 \Rightarrow D \ge 0.92cm \rightarrow D = 10mm$$

بنابراین از میل مهار $\Phi 10$ استفاده می گردد.

۲-۱۰ تستهای فصل دوم

۱) در محل اتصال نبشی L100*100*10 سه سوراخ با قطر اسمی ۱۸ میلی‌متر در یک بال و در راستای نیرو با جزییات شکل زیر اجرا شده‌است. مقدار سطح مقطع خالص موثر عضو در محل اتصال پیچی بر حس میلی‌متر مربع به کدام یک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (محاسبات ، بهمن ۹۴)



الف) ۱۰۳۰ ب) ۱۱۵۰ ج) ۱۳۹۵ د) ۱۶۴۰

$$A_n = A_g - (18+2)\times 10 = 1920 - 200 = 1720\ mm^2$$

در صورت استفاده از ردیف ۲ جدول:

$$U = 1 - \frac{28.2}{75+75} = 0.812$$

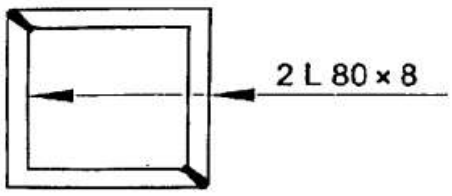
در صورت استفاده از ردیف ۸ جدول:

$$U = 0.6$$

مقدار دقیق مساحت موثر برابر است با:

$$A_e = UA_n = 0.812 \times 1720 = 1396\ mm^2$$

۲) حداکثر طول آزاد قابل قبول عضو کششی با مقطع شکل زیر بر حسب متر به کدام یک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (محاسبات، اسفند ۹۵)



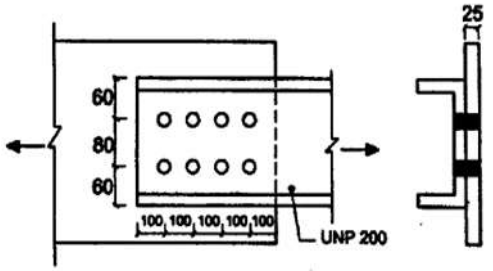
الف)۵,۹۵ ب) ۷,۲۵ ج) ۸,۹۵ د) ۴,۸۵

$$\frac{L}{r} < 300 \quad \rightarrow \quad \frac{L}{\sqrt{\frac{I}{A}}} < 300 \quad \rightarrow \quad L < 300\sqrt{\frac{\left(\frac{80^4}{12} - \frac{64^4}{12}\right)}{80^2 - 64^2}} = 300\sqrt{\frac{2015232}{2304}} = 8872\ mm$$

۱۰-۲-۳-۲ محدودیت لاغری در اعضای کششی

ضریب لاغری حداکثر اعضای کششی، $(L/r)_{max}$، نباید از ۳۰۰ تجاوز نماید. برای قلاب‌ها و میله مهارهای کششی که دارای پیش‌تنیدگی اولیه به مقدار کافی باشند، به طوری که پس از ایجاد کشش اولیه عضو به حالت مستقیم درآید، رعایت محدودیت لاغری ضروری نیست.

۳) در عضو کششی شکل زیر حداکثر قطر اسمی سوراخ استاندارد برای آنکه بتوان از حضور سوراخ در عضو کششی صرفنظر نمود، به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ فرض کنید فاصله از لبه و فاصله مرکز تا مرکز سوراخ ها رعایت شده‌اند و فقط کنترل حالتهای حدی تسلیم کششی و گسیختگی کششی عضو ناودانی مدنظر است. همچنین فرض کنید. در شکل ابعاد به میلی‌متر است. (محاسبات بهمن ۹۷)



$Fy = 240\ MPa$

$Fu = 372\ MPa$

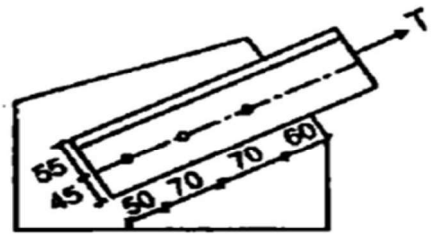
$E = 2*10\text{^}5\ Mpa$

الف) ۲۴ میلی‌متر ب) ۳۳ میلی‌متر ج) ۲۷ میلی‌متر د) ۳۰ میلی‌متر

$$\varphi A_g F_y > \varphi A_e F_u \rightarrow 0.9 \times 3220 \times 240 > 0.75 \times U \times A_n \times 372$$
$$U = 1 - \frac{20.1}{300} = 0.933$$
$$\Big\} A_n > 2672\ mm^2$$

$$A_g - 2Dt < 2672\ mm^2 \rightarrow 3220 - 2D \times 8.5 < 2672 \rightarrow D_{\text{محاسباتی}} < 32.23\ mm$$
$$\rightarrow D_{\text{اسمی}} = D_{\text{محاسباتی}} - 2mm \rightarrow D_{\text{اسمی}} < 30.23\ mm$$

۴) در اتصال یک عضو کششی به ورق اتصال از سه پیچ M22 استفاده شده‌است . عضو کششی از نبشی ۱۰۰*۱۰۰*۱۰ و سوراخ استاندارد و روش مته‌کاری مد نظر است. ضخامت ورق اتصال ۱۵ میلی‌متر است . مقاومت طراحی برش قالبی بر حسب کیلو نیوتن کدام است؟ فولاد مصرفی ST37 است. (آبان ۹۳)



الف) ۲۹۵ ب) ۴۰۰ ج) ۳۹۲ د) ۳۱۰

$$\varphi R_{n1} = 0.75\left(0.6 \times 370 \times (190 - 2.5 \times 24) \times 10 + 1 \times 370 \times \left(45 - \frac{24}{2}\right) \times 10\right) = 308\ kN$$

$$\varphi R_{n2} = 0.75\left(0.6 \times 240 \times 190 \times 10 + 1 \times 370 \times \left(45 - \frac{24}{2}\right) \times 10\right) = 297\ kN$$

جدول ۱۰-۲-۹-۸ ابعاد اسمی سوراخ پیچ بر حسب میلی‌متر

قطر پیچ (mm)	ابعاد اسمی سوراخ (mm)			
	سوراخ استاندارد	سوراخ بزرگ‌شده	سوراخ لوبیایی کوتاه (طول×عرض)	سوراخ لوبیایی بلند (طول×عرض)
M۱۶	۱۸	۲۰	۱۸×۲۲	۱۸×۴۰
M۲۰	۲۲	۲۴	۲۲×۲۶	۲۲×۵۰
M۲۲	۲۴	۲۸	۲۴×۳۰	۲۴×۵۵
M۲۴	۲۷	۳۰	۲۷×۳۲	۲۷×۶۰
M۲۷	۳۰	۳۵	۳۰×۳۷	۳۰×۶۷
M۳۰	۳۳	۳۸	۳۳×۴۰	۳۳×۷۵
≥M۳۶	$d_{۰۳}$	$d_{۰۸}$	$(d_{۰۳}) \times (d_{۰۱۰})$	$(d_{۰۳})\times ۲/۵\ d$

۱۰-۲-۹-۴-۳ مقاومت برش قالبی

در اتصال انتهای تیرهایی که قسمتی از بال فوقانی تیر زبانه شده است، یا در اتصال اعضای کششی یا در ورق‌های اتصال انتهای خرپاها و مهاربندهای یا در حالت‌های نظیر که ممکن است به علت برش در سطحی که از وسیله اتصال می‌گذرد و یا به علت اثر ترکیبی برش در مقطع مار بر وسیله اتصال و کشش در مقطع عمود بر آن خرابی اتفاق افتد، (شکل‌های ۱۰-۲-۹-۱۰ و ۱۰-۲-۹-۱۱) مقاومت طراحی برش قالبی، ϕR_n از مجموع مقاومت برشی در روی سطح مار بر وسیله اتصال و مقاومت کششی در سطح عمود بر آن به شرح زیر تعیین می‌گردد.

$\phi = ۰/۷۵$ (۱۶-۹-۲-۱۰)

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

که در آن:

A_{gv} = سطح مقطع کلی تحت برش

A_{nt} = سطح مقطع خالص تحت کشش

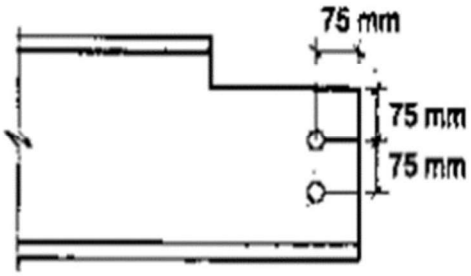
A_{nv} = سطح مقطع خالص تحت برش

F_y = تنش تسلیم فولاد

F_u = تنش کششی نهایی فولاد

U_{bs} = ضریب توزیع تنش که برای توزیع یکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی یک و برای توزیع غیریکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱۰-۲-۹-۱۰- ب).

۵) مقاومت برشی قالبی طراحی بر حسب کیلو نیوتن در محل اتصال تیر مقابل به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ فولاد از نوع ST37 (Fy=240 MPa و Fu = 370 MPa) . قطر سوراخ 20 mm و ضخامت جان مقطع تیر نورد شده 7.5 mmاست. واحد ها در شکل به میلی متر است. (محاسبات خرداد ۹۳)



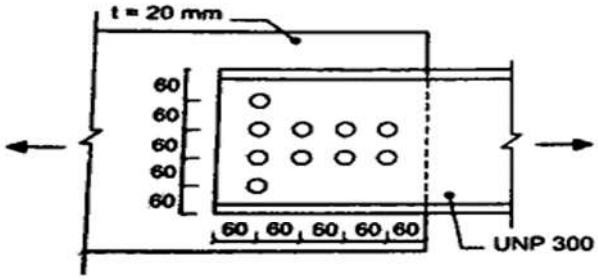
الف) ۳۸۰ ب) ۳۴۰ ج) ۲۸۵ د) ۲۵۰

$$\varphi R_{n1} = 0.75(0.6 \times 370 \times (150 - 30) \times 7.5 + 1 \times 370 \times (75 - 10) \times 7.5) = 285\ kN$$

$$\varphi R_{n2} = 0.75(0.6 \times 240 \times 150 \times 7.5 + 1 \times 370 \times (75 - 10) \times 7.5) = 257\ kN$$

۶) در اتصال ناودانی تک UNP 300 به ورق اتصال ، سوراخ استاندارد بوده و برای عبور پیچ های از نوع M20 پیش بینی شده‌اند. مقدار مقاومت کششی طراحی عضو با مقطع ناودانی با واحد کیلونیوتن، به کدام یک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟

(فقط حالت‌های حدی تسلیم کششی و گسیختگی کششی را در نظر بگیرید) ابعاد در شکل به میلی متر است (Fu=370 MPa و Fy = 240 MPa) (محاسبات اردیبهشت ۹۷)



الف) ۱۵۰۰ ب) ۱۱۶۰ ج) ۱۲۷۰ د) ۱۳۹۰

کنترل تسلیم:

$$T_u \le 0.9F_y \times A_g \quad \rightarrow \quad T_u \le 0.9 \times 240 \times 5880^{mm^2} = 1270\ kN$$

کنترل گسیختگی:

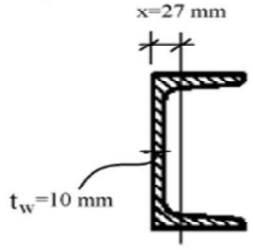
ضریب U برابر است با:

$$U = 1 - \frac{x}{L} = 1 - \frac{27}{180} = 0.85$$

مقدار An برابر است با:

$$A_n = A_g - 2Dt = 5880 - 2 \times 24 \times 10 = 5400\ mm^2$$

$$T_u \le 0.75F_u \times A_e = 0.75F_u \times (UA_n) = 0.75 \times 370 \times (0.85 \times 5400) = 1273\ kN$$



www.hosseinzadeh

۲-۱۱ مسائل فصل دوم

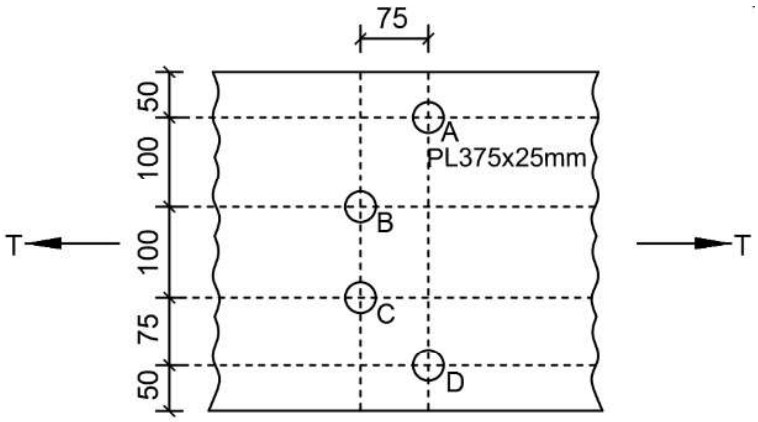
توجه:

- فولاد مصرفی پروفیلها از نوع ST37 می‌باشد.
- پارامتر κ طبق مقادیر اعلام شده فرض می‌شود که در محدوده زیر قرار دارد:

$$15 \leq \kappa \leq 40$$

تمرین ۲-۱

ظرفیت نهایی کششی ورق سوراخدار شکل زیر را تعیین کنید. قطر سوراخ‌ها 22mm است (ابعاد بر حسب میلی‌متر).



تمرین ۲-۲

زوج ناودانی سوراخدار مطابق شکل زیر توسط ورق اتصال به سازه متصل است. پیچ‌ها M20 و طول عضو L است. اندازه d با توجه به جدول اشتال مقاطع UNP تعیین می‌شود.

$$L = (\kappa)m, d = roundup(\kappa)(cm), L_1 = 5cm, L_2 = \frac{\kappa}{5} + 3(cm), L_3 = L_2 - 1cm$$

ضخامت ورق اتصال کافی بوده و بررسی آن مورد نظر نمی‌باشد. مطلوب است:

الف) سطح مقطع خالص موثر عضو کششی

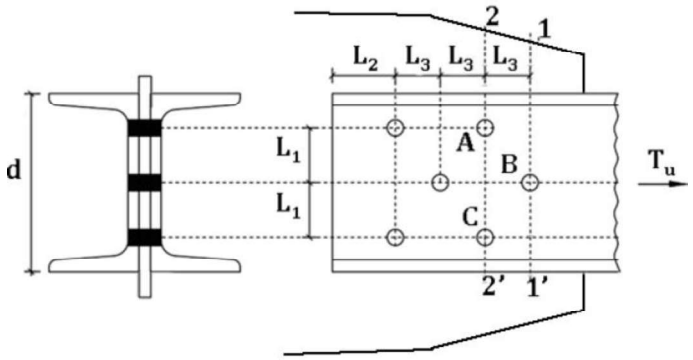
ب) ظرفیت طراحی مقطع بر اساس گسیختگی ($\phi f_u A_e$). مسیرهای '1B1 و '2ABC2 کنترل شوند

ج) ظرفیت طراحی مقطع بر اساس تسلیم ($\phi f_y A_g$)

د) ظرفیت کششی مقطع ($T_u \leq ? ton$)

ه) کنترل صلبیت مقطع عضو کششی.

و) حداقل فاصله مورد نیاز برای لقمه ها.

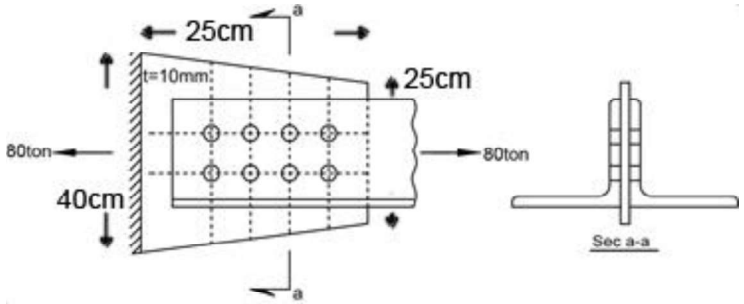


تمرین ۳-۲

در اتصال شکل زیر، پیچ‌ها M20 و طول عضو 4.5m است. فواصل پیچ‌ها 75mm و فاصله انتهایی سوراخ‌ها تا لبه 40mm است و مقدار بار کششی ضریبدار 80ton در نظر گرفته شده‌است.

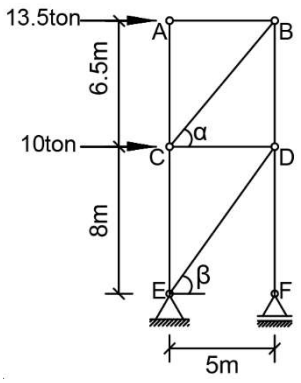
الف- شماره نیم‌رخ نبشی بال مساوی را تعیین کنید..

ب- ورق اتصال را کنترل کنید.



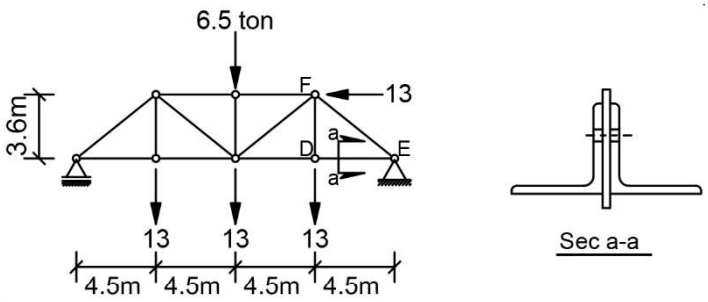
تمرین ۴-۲

مهاربند یک ساختمان فولادی تحت اثر نیروی ضریبدار باد در شکل زیر نشان داده‌شده‌است. مطلوبست طرح اعضای مهاربند هریک از طبقات از دوبل نبشی با اتصال جوشی و تعیین تعداد لقمه اتصال درصورت لزوم. فاصله بین نبشی‌ها 10mm است (U=0.87).



تمرین ۵-۲

در خرپای نشان داده شده، عضو DE متشکل از 2L10 است. اتصال عضو توسط یک خط پیچ با تعداد ۳ عدد و به قطر 22mm برقرار شده و فاصله پیچ‌ها از یکدیگر 65mm است. آیا عضو DE جوابگوی نیروهای وارده می‌باشد؟



تمرین ۶-۲

هر گاه مهاربند یک سازه فلزی از زوج ناودانی 2UNP16 از نوع ST37 که توسط پیچ‌های M22 به ورق اتصال به ضخامت 14mm متصل باشد، مطلوبست:

الف) حداکثر ظرفیت باربری زوج ناودانی فوق با شرط آنکه S_2 به قدر کافی بزرگ باشد (مسیر مایل بحرانی نباشد).

ب) حداکثر ظرفیت باربری صفحه اتصال با شرط آنکه S_1 به قدر کافی بزرگ باشد (مسیر مایل بحرانی نباشد).

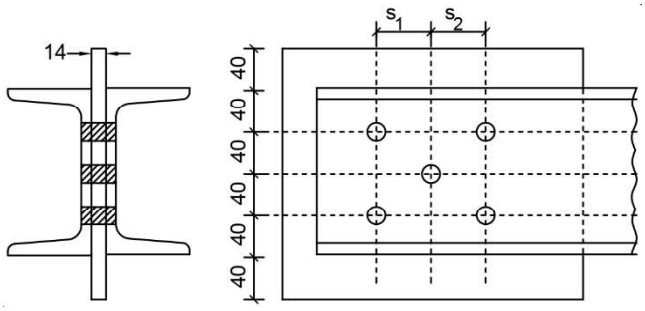
ج) تعیین نیروی مجاز وارد بر مهاربند.

د) تعیین حداقل فاصله S_1 و S_2 به نحوی که ظرفیت اتصال کاهش نیابد.

ه) این مهاربند حداکثر در چه طولی بکار برده می‌شود؟

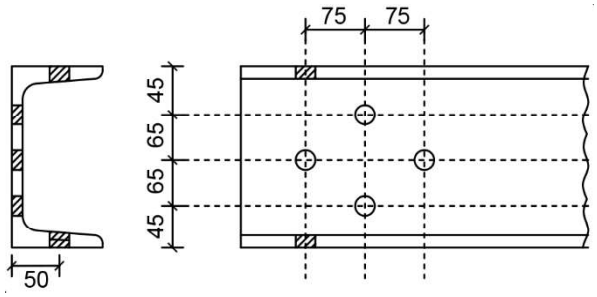
و) اگر طول مهاربند 9m باشد تعداد لقمه اتصال لازم را تعیین کنید.

راهنمایی: در حل مسئله برای تعیین L (در رابطه $\frac{\bar{x}}{L}$) مقدار L را ۱۰ سانتی‌متر فرض کنید.



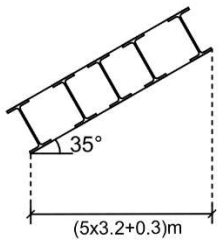
تمرین ۷-۲

مطلوبست محاسبه بار حداکثر کششی که می‌توان بر ناودانی سوراخدار زیر وارد نمود. قطر سوراخ‌ها 22mm است.



تمرین ۸-۲

میل‌مهار لازم را برای لاپه های شیروانی شکل زیر محاسبه کنید، دهانه لاپه‌ها 6.5m و فواصل افقی آنها از یکدیگر 3.2m است و از سه ردیف میل‌مهار استفاده شده‌است. بار مرده پوشش سقف $14.5\frac{kg}{m^2}$ و بار زنده به صورت افقی $24.5\frac{kg}{m^2}$ در نظر گرفته شده‌است. برای میل مهار $f_u = 5.2\frac{ton}{m^2}$ فرض شود.



تمرین ۹ـ۲

در سازه شکل زیر فواصل قابها از یکدیگر 6m و فاصله میل‌مهارها از یکدیگر 2m است. اگر وزن مرده سازه $80\frac{kg}{m^2}$ بروی سطح شیب دار و بار برف $200\frac{kg}{m^2}$ بروی تصویر افقی بام باشد، قطر لازم برای میل‌مهار AB را بدست آورید. برای میل مهار $f_u = 5.2\frac{ton}{m^2}$ فرض شود.