

# فصل ۱۰

## طراحی اتصالات پیچ و مهره‌های

طراحی کاربردی سازه‌های فولادی (جلد دوم) - محسن گرامی

### مطالب فصل:

پیشگفتار	۱۰-۱
انواع اتصال پیچ و مهره‌ای	۱۰-۲
اجزاء، انواع و ضوابط پیچ	۱۰-۳
روش‌های بستن پیچ	۱۰-۴
سوراخ پیچ	۱۰-۵
طراحی اتصالات اتکایی تحت برش	۱۰-۶
طراحی اتصال اصطکاکی تحت برش	۱۰-۷
طراحی اتصالات پیچی تحت کشش	۱۰-۸
اتصالات پیچی تحت اثر توام کشش و برش	۱۰-۹
اتصالات پیچی تحت اثر پیچش	۱۰-۱۰
اتصالات پیچی تحت اثر برش و پیچش	۱۰-۱۱
اتصالات پیچی تحت اثر خمش	۱۰-۱۲
اتصال پیچی تحت نیروی برشی و لنگر خمشی	۱۰-۱۳
تست‌های فصل دهم	۱۰-۱۴
تمرینهای فصل دهم	۱۰-۱۵

ویرایش بهمن ۱۴۰۳

## ۱۰-۱ پیشگفتار

در یک سازه فولادی منظور از اتصال صفحات و نیم‌رخ‌های نورد شده توسط وسایل اتصال (پیچ و پرچ‌ها) و یا جوش به هم، ساخت یک قطعه مستقل و یا اتصال و یکپارچه کردن قسمت‌های مختلف آن سازه می‌باشد. از اتصالات هم در عملیات ساخت کارخانه‌ای قطعاتی که از چند نیم‌رخ جداگانه تشکیل می‌شوند و هم در مرحله مونتاژ سازه در پای کار استفاده می‌شود. همچنین در مواردی که حمل‌ونقل یک عضو سازه‌ای به دلیل طول بسیار زیاد آن مشکل و یا غیرممکن باشد، آن قطعه را به قطعات کوچک‌تری تقسیم کرده و پس از آن در محل نصب توسط یک سری اتصالات به هم متصل می‌کنند. روش نام‌گذاری نمادها در این فصل مطابق جدول ۱-۱۰ می‌باشد. واژه «تلاش» کمیتهای تنش، نیرو و لنگر را بیان می‌نماید.

جدول ۱-۱۰ معرفی نمادهای مورد استفاده

شرح	مثال
تنش برشی و تنش کششی، حروف کوچک	$f_t$ : تنش کششی، $f_v$ : تنش برشی
نیرو، لنگر خمشی و لنگر پیچشی، حروف بزرگ	$F, P$ : نیرو، $V$ : نیروی برشی، $M$ : لنگر خمشی، $T$ : لنگر پیچشی
تلاش ناشی از بارهای ضریب دار یا نهایی، زیرنویس $u$	$f_u$ : تنش نهایی ناشی از بارهای ضریب دار $F_u$ : نیروی ناشی از بارهای ضریب دار $T_u$ : لنگر پیچشی ناشی از بارهای ضریب دار
مؤلفه راستای محورهای $x$ و $y$	$f_x$ و $f_y$ : مؤلفه تنش در راستای محورهای $x$ و $y$
کمیتهای خاص	$f_y$ : تنش تسلیم $f_u$ : تنش نهایی $f_{nv}$ : مقاومت اسمی (تنش) برشی $f_{ub}$ : تنش نهایی مصالح پیچ $f_{up}$ : تنش نهایی مصالح ورق اتصال
تلاشهای ناشی از بار محوری $P$ ، اندیس بالانویس	$f_v^{(P)}$ : تنش برشی ناشی از بار $P$
تلاشهای ناشی از بار خمشی $M$ ، اندیس بالانویس	$f_t^{(M)}$ : تنش کششی یا فشاری ناشی از بار خمشی $M$ .
تلاشهای ناشی از لنگر پیچشی $T$ ، اندیس بالانویس	$f_v^{(T)}$ : تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی $T$
ترکیب اندیسهای فوق	$f_{ut}^{(M)}$ : تنش کششی یا فشاری ناشی از بار خمشی ضریب دار $M$ $f_{tx}^{(M)}$ : تنش کششی یا فشاری ناشی از بار خمشی $M$ در راستای $x$ $R_{uvx}^T$ : مؤلفه برشی نیروی ضریب دار $R$ ناشی از لنگر پیچشی $T$ در راستای محور $x$ $R_{uvx}^V$ : مؤلفه برشی نیروی ضریب دار $R$ ناشی از نیروی برشی $V$ در راستای محور $x$ $R_{uvx}$ : مؤلفه برشی نیروی ضریب دار $R$ در راستای محور $x$

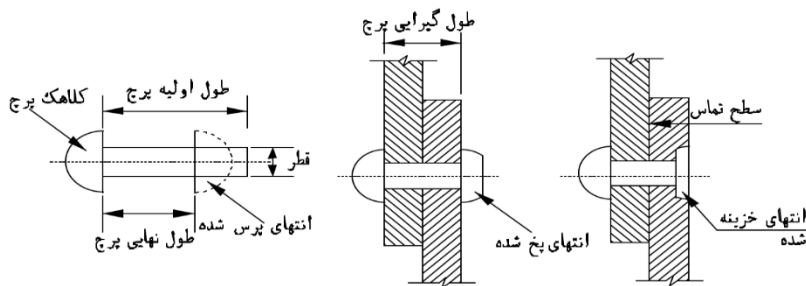
باتوجه به کاربردی بودن این کتاب، توصیه می‌شود جهت اطلاع از کاربرد فناوری‌های مرتبط با اجرای هر یک از بخش‌های معرفی شده، به وبسایت کارخانه‌های تولیدکننده مراجعه شود<sup>۱</sup>.

### ۱۰-۱-۱ پیچ و پرچ

برای سالیان متمادی روش رایج در ساخت اتصالات فلزی پرچ کاری بود. با ابداع تکنیک جوشکاری و پیچ‌های با مقاومت بالا، نظر به مزیت‌های اقتصادی و رفتار بهتر آنها، استفاده از پرچ به سرعت کاهش یافت. امروزه استفاده توأم از پیچ و جوش می‌تواند بهره اقتصادی بالایی به همراه داشته باشد. بدین صورت که ابتدا توسط جوشکاری قطعات اصلی در کارخانه ساخته شده و سپس در محل نصب توسط پیچ‌های با مقاومت بالا در جای خود قرار داده می‌شوند. با استفاده از این روش می‌توان کیفیت بالای جوشکاری کنترل شده را با سرعت مونتاژ سریع توسط پیچ‌ها تلفیق کرد.

پرچ یکی از وسایل بسیار قدیمی برای اتصالات سازه‌های فولادی است که از یک تنه استوانه‌ای که یک سر آن دارای کلاهک می‌باشد، تشکیل می‌شود. فولادهایی که جهت ساختن پرچ از آنها استفاده می‌شود، فولادهای نرمه‌ای هستند که از دو نوع فولاد ASTM انتخاب شده‌اند. پرچ A502 درجه یک با  $f_y = \frac{1900 \text{ kgf}}{\text{cm}^2}$  و نوع A502 درجه دو با  $f_y = \frac{2600 \text{ kgf}}{\text{cm}^2}$  برای سازه‌های فولادی معرفی شده‌اند که تنش‌های تسلیم ذکر شده، تنش‌های تسلیم میلگردهای مصرفی آنهاست.

نحوه عملیات پرچ کاری بدین صورت است که ابتدا اعضای مورد اتصال را با قطری به اندازه ۱٫۶ میلیمتر بزرگ‌تر از قطر پرچ سوراخ کرده و بر روی یکدیگر قرار می‌دهند، سپس پرچ‌ها را تا حالت سرخ شده کامل (حدود ۹۵۰ درجه سانتیگراد) حرارت می‌دهند و بدنه استوانه‌ای حرارت داده شده را به درون سوراخ‌هایی که قبلاً آماده شده‌اند وارد می‌کنند. با ثابت نگه‌داشتن سر کلاهک دار پرچ، سر دیگر را توسط چکش می‌کوبند تا به فرم کلاهک درآمده و پرچ محکم شود. با انجام عملیات فوق بدنه پرچ به طور کامل وارد سوراخ شده و فضای داخلی آن را مطابق شکل ۱-۱۰ پر می‌کند. پس از سرد شدن، ساقه پرچ (قسمت استوانه‌ای شکل) جمع شده و اتصال کاملاً محکم می‌گردد. طی سرد شدن و انقباض پرچ، نیروهای کششی در آن ایجاد می‌شود که چون به خوبی قابل اطمینان و محاسبه نیست از وجود آنها در محاسبات اتصالات پرچی صرف نظر می‌شود.



شکل ۱-۱۰ نمایش اتصالات پرچی

<sup>۱</sup> نمونه‌ای از عکسها و فیلمهای جمع‌آوری شده مرتبط با مباحث اجرایی این فصل، در آدرس زیر موجود و قابل مشاهده است.

از مزایای عمده پرچ‌کاری امکان اتصال هر نوع فولادی توسط آن است ولی به دلایلی از قبیل نیاز به نیروی انسانی ماهر، ضعیف شدن مقطع فولادی به دلیل سوراخ کردن مقطع، امکان زنگ‌زدگی در سطح برآمده پرچ و سروصدای زیاد در حین عملیات پرچ‌کاری، جز در مواردی خاص، مورد استقبال قرار نمی‌گیرد.

## ۱۰-۱-۲ مزایای اتصالات پیچی

امروزه استفاده از پیچ به‌عنوان یک ابزار اتصال مناسب و قابل‌اطمینان در سازه‌های فولادی، بسیار رایج و متداول گردیده است. مصالح پیچ‌ها دارای مقاومت گسیختگی به‌مراتب بالاتر از فولادهای ساختمانی معمولی هستند. دستیابی به پیچ‌های با مقاومت مناسب و باکیفیت خوب، موجب فراهم شدن افق‌های جدیدی در اتصالات سازه‌های فولادی شده است.

### • سرعت اجرا

سرعت اجرای سازه‌های با اتصالات پیچ‌ومهره‌ای نسبت به اتصالات جوشی بالاتر و کاملاً قابل‌لمس می‌باشد و زمان ساخت سازه‌های پیچ‌ومهره‌ای کمتر از سازه‌های با اتصالات جوشی است و با توجه به مدت‌زمان بالای اجرای پروژه‌های کشورمان این نوع از سازه‌ها جهت کاهش زمان ساخت پیشنهاد می‌گردد.

### • سرعت نصب و مونتاژ بالا

در این‌گونه از سازه‌ها به دلیل حذف کامل جوشکاری در محل نصب سازه، عملیات ساخت فقط به جای‌گذاری قطعات و بستن تعدادی پیچ‌ومهره محدود می‌شود که این عامل باعث افزایش چشمگیر سرعت نصب می‌شود و خطاهای نصب به حداقل خود می‌رسد.

### • امکان باز نمودن اتصالات و استفاده مجدد از اعضای سازه

اعضای سازه‌های فولادی را که با پیچ به یکدیگر متصل شده‌اند می‌توان به‌راحتی از یکدیگر جدا نمود و در محل دیگری مجدداً آنها را به یکدیگر متصل کرد.

### • دورریز (پرت) مصالح

معمولاً محاسب در انتخاب مقاطع تیرآهن با محدودیت مواجه می‌شود و مجبور است با اضافه‌کردن ورق و جوشکاری، به مقطع موردنظر برسد، حال آنکه در ساختمان پیچ‌ومهره‌ای امکان اضافه‌کردن مقاطع سبک‌تر با مقاومت بیشتر وجود دارد که استفاده از ورق در ساخت مقاطع، پرت آهن‌آلات را به حداقل می‌رساند.

### • عدم محدودیت در تأمین وسایل و تجهیزات و شرایط محیطی کار

ممکن است در شرایطی، درجه حرارت محیط، تهویه هوا، محل استقرار وسایل و تجهیزات لازم برای جوشکاری فراهم نباشد، در نتیجه از اتصالات پیچی به‌عنوان یک روش جایگزین استفاده می‌شود.

### • ایمنی و پایداری سازه

هم‌از لحاظ تئوری و هم‌از لحاظ عملی ثابت شده است که ساختمان‌های پیچ‌ومهره‌ای به دلیل کیفیت بهتر، پایداری بیشتری در برابر زلزله و نیروهای جانبی دارند.

### • خوردگی سازه

در سازه‌های پیچ‌ومهره‌ای قبل از رنگ‌آمیزی، قطعات توسط دستگاه‌های سندبلاست و وایبرس تحت‌نظر واحد کنترل کیفی زنگ‌زدایی می‌شوند، اما در سازه‌های جوشی این عملیات انجام نمی‌گیرد و همچنین در سازه‌های جوشی به‌جای رنگ غنی از روی که در سازه‌های پیچ‌ومهره‌ای استفاده می‌شوند، ضدزنگ به کار می‌رود که این امر باعث خوردگی سریع سازه می‌شود.

### ۱۰-۱-۳ معایب اتصالات پیچی

عمده‌ترین عیب در اتصالات پیچی اجرای غلط و نامناسب سوراخ‌ها و عدم دقت در میزان پیش‌تنیدگی در پیچ‌ها است؛ بنابراین بایستی به‌دقت محل سوراخ‌ها تعیین شده و با وسایل و تجهیزات مناسب عمل سوراخ نمودن اعضا صورت گیرد.

### ۱۰-۱-۴ فولاد مصرفی در اجزاء اتصال

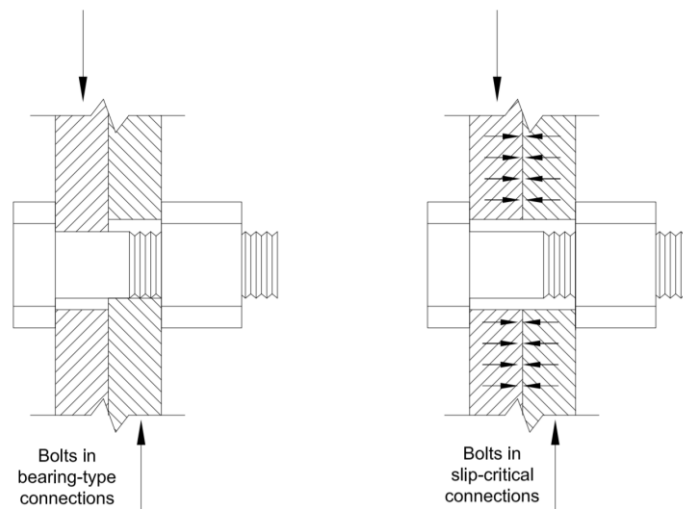
فولاد مصرفی در ساخت اعضاء معمولاً پروفیل از نوع ST37 یا ورق‌های از نوع ST37 و یا ST52 می‌باشد.

فولاد مصرفی در ساخت اعضاء سیستم باربر جانبی لرزه‌ای باید دارای مقاومت کششی نهایی حداقل ۱,۲ برابر مقاومت حد تسلیم باشد<sup>۱</sup>،  
به عبارت دیگر:  $F_u \geq 1.2F_y$

### ۱۰-۲ انواع اتصال پیچ‌ومهره‌ای

چنانچه راستای اعمال نیرو موازی محور پیچ باشد، در ناحیه تماس دو صفحه اتصال تنش فشاری و در پیچ اتصال تنش کششی ایجاد می‌شود. اتصالاتی که در آنها راستای اعمال نیرو بر محور پیچ عمود باشد، مطابق شکل ۱۰-۲ به دو نوع اتکابی و اصطکاکی تقسیم می‌شوند.

<sup>۱</sup> مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۰-۳-۳



شکل ۱۰-۲ اتصال اتکایی و اتصال اصطکاکی

### ۱۰-۲-۱ اتصالات اتکایی (برشی)

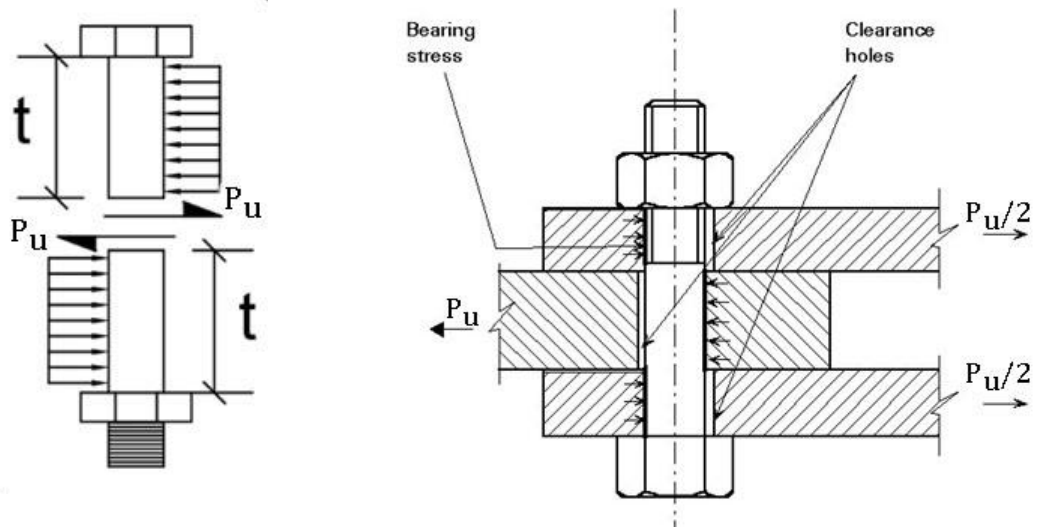
در مواردی که لغزش جزئی بین صفحات اتصال مجاز باشد از اتصال اتکایی (برشی) استفاده می‌شود. این لغزش به گونه‌ای است که بدنه پیچ با جداره سوراخ‌ها در تماس باشد. معیار طراحی در اتصالات اتکایی مقاومت اتصال است. در اتصالات اتکایی پس از لغزش صفحات، انتقال بارهای وارده بر اتصال توسط ترکیبی از عمل اصطکاکی و برشی در پیچ و در بدنه سوراخ است. تا زمانی که بارهای وارده از نوع استاتیکی باشد و تغییر جهت ندهد یک چنین لغزشی فقط یک‌بار اتفاق خواهد افتاد و بعد از آن لغزش عملاً پیچ از طریق تماس مستقیم خود با بدنه سوراخ به انتقال نیرو خواهد پرداخت.

مه‌ره اتصال اتکایی، به دلیل مسائل اجرایی و جهت اطمینان از خارج نشدن پیچ از سوراخ استفاده می‌شود و در تحمل تنش نقش اساسی ندارد. بستن پیچ و مه‌ره در این اتصال، اندکی تنش کششی در پیچ ایجاد می‌کند ولی نه در حدی که مانع از لغزش صفحات بر روی یکدیگر شود. به بستن پیچ و مه‌ره در این حالت، بست اولیه اطلاق می‌شود که بیانگر مقدار سفت کردن لازم پیچ و مه‌ره تحت شرایط مذکور می‌باشد.

در صورت اعمال بارهای دینامیکی، جهت لغزش اتصال مرتباً عوض شده و موضع تماس بدنه پیچ با جداره سوراخ تغییر می‌کند.

در اتصال اتکایی، اندکی لغزش ایجاد می‌شود تا بدنه پیچ با جداره سوراخ تماس شود و نیروی اتصال توسط نیروی برشی پیچ، بین صفحات منتقل گردد. تنش موجود در پیچ در این اتصال، تنش برشی است.

با اعمال نیرو در اتصال شکل ۱۰-۳ نیروی کششی  $P_u$  به نیروی برشی  $V_u = \frac{P_u}{2}$  در بدنه پیچ تبدیل می‌شود.



شکل ۱۰-۳ مکانیزم انتقال بار در اتصالات اتکایی

خرابی اتصال اتکایی ممکن است با انهدام پیچ و یا انهدام ورق همراه باشد. تعیین حداقل مجاز فواصل سوراخ‌ها از یکدیگر و از لبه ورق، جهت جلوگیری از ایجاد حالت‌های مختلف گسیختگی اتصال می‌باشد. قبل از محاسبه تنش‌ها، فرضیات ساده کننده‌ای به منظور یکی نمودن تنش‌های محاسبه شده با تنش‌های واقعی به صورت زیر ارائه می‌شود:

(الف) از تغییر شکل‌های ورق صرف نظر می‌شود.

(ب) از مقاومت اصطکاکی در برابر لغزش صرف نظر می‌شود.

(ج) از تمرکز تنش در نزدیکی سوراخ‌ها صرف نظر می‌شود.

(د) تنش برشی در سطح مقطع پیچ یکنواخت فرض می‌شود.

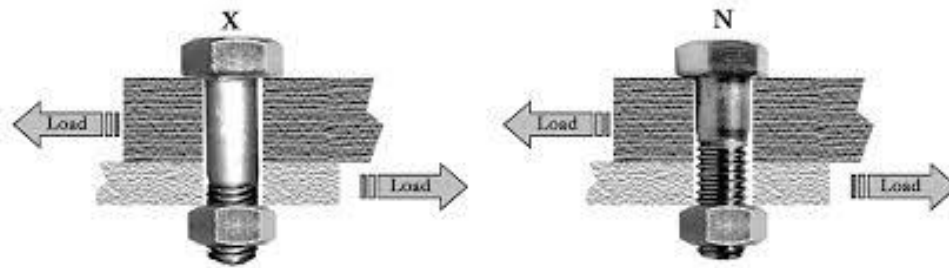
(ه) فرض می‌شود که تغییر شکل برشی پیچ متناسب با تنش برشی باشد.

(و) تنش فشاری بین پیچ و ورق به صورت یکنواخت در سطحی برابر با حاصل ضرب ضخامت ورق در قطر پیچ در نظر گرفته می‌شود.

(ز) از خمش پیچ صرف نظر می‌شود.

## ۱۰-۲-۲ حضور ناحیه رزوه در صفحه برش

در صورت وجود ناحیه رزوه شده پیچ در صفحه برش (صفحه میان دو ورق اتصال)، پس از لغزش اتصال، ناحیه رزوه شده در برابر پیچ مقاومت می‌کند که سطح مقطع آن از ناحیه رزوه نشده کمتر است. از این رو مقاومت برشی پیچ، مطابق شکل زیر به موقعیت صفحه برش پیچ نسبت به ناحیه رزوه شده بستگی دارد. از آنجاکه سطح مقطع اسمی پیچ، همان سطح مقطع رزوه نشده است و محاسبات بر مبنای آن انجام می‌شود، وجود رزوه و کاهش مقطع خالص پیچ، توسط ضریبی در روابط لحاظ می‌شود. مقاومت اسمی تنش برشی پیچ‌ها و قطعات دندانه شده، در آیین‌نامه‌ها به صورت جدول ارائه می‌شوند.



صفحه برش در ناحیه خارج رزوه

صفحه برش در ناحیه رزوه

شکل ۱۰-۴ صفحه برش داخل و خارج ناحیه رزوه شده

### ۱۰-۲-۳ اتصالات اصطکاکی

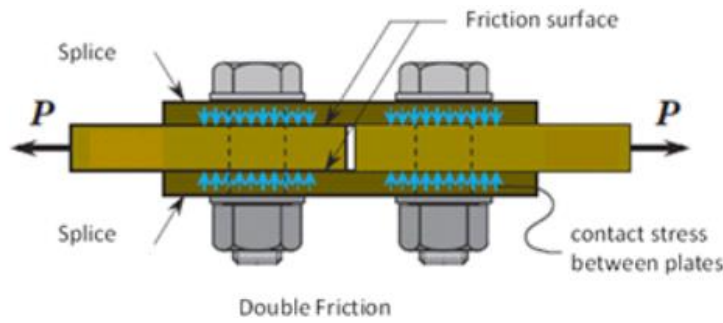
هنگامی که پیچ درون سوراخ صفحات اتصال قرار می‌گیرد، علاوه بر مهره باید از واشر نیز استفاده نمود. باید توجه شود که واشر مصرفی در اتصال اصطکاکی نباید از نوع واشر فنری باشد. بر اساس مبحث دهم، در طراحی لرزه‌ای تنها باید از اتصال اصطکاکی استفاده شود. به عبارت دیگر، در طراحی همه اتصالات قاب‌های خمشی و قاب‌های دوگانه و نیز اتصالات مهاربندی و وصله ستون‌های باربر جانبی در قاب‌های ساده باید از این نوع عملکرد استفاده نمود.

در این نوع اتصال جهت اطمینان از عدم لغزش دو صفحه و همچنین افزایش نیروی اصطکاک میان آنها، لازم است پیچ و مهره بیشتر از بست اولیه سفت شوند (بست ثانویه). در این مرحله تنش‌های ایجاد شده در پیچ تا حدی زیاد است که تغییر شکل غیرارجاعی در آن ایجاد می‌کند و اصطلاحاً پیچ پیش‌تنیده می‌گردد. به بستن پیچ و مهره جهت ایجاد پیش‌تنیدگی، بست ثانویه اطلاق می‌شود. با اعمال نیروی پیش‌تنیدگی  $T_b$  در پیچ‌ها، تنش کششی در آنها ایجاد می‌شود که منجر به فشردن صفحات اتصال به یکدیگر می‌شود. نیروی فشاری عمود بر صفحات اتصال، نیروی اصطکاکی در راستای بارگذاری و موازی صفحات اتصال ایجاد می‌کند. مقدار ضریب اصطکاک بستگی به وضعیت سطوح قطعات تشکیل دهنده اتصال دارد و عواملی نظیر آغشته بودن سطوح به رنگ، روغن و یا زنگ زده بودن سطوح و غیره در مقدار  $\mu$  دخالت دارد. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که مقدار  $\mu$  در سطوح تماس فولادی از ۰,۲ تا ۰,۶ متغیر است.

در اتصال اصطکاکی، لغزش ایجاد نمی‌شود و پیچ‌ها با جداره سوراخ در تماس نیستند. از این رو نیروی برشی اتصال، توسط اصطکاک بین صفحات منتقل می‌شود. تنش موجود در پیچ در این اتصال، از نوع کششی است.

در شکل ۱۰-۵ یک اتصال اصطکاکی که وسایل اتصال آن پیچ‌های پرمقاومت می‌باشد، نشان داده شده است.





شکل ۱۰-۵ اتصال اصطکاکی با پیچ‌های پرمقاومت

#### ۱۰-۲-۴ رنگ آمیزی اتصالات پیچی

در اتصالات اصطکاکی، پوشش دو سطح اتصال دارای اهمیت است، تا ضمن مماس شدن و نداشتن اعوجاج، اصطکاک مورد نیاز نیز تأمین شود. از این رو رنگ آمیزی این سطوح توسط آیین‌نامه‌ها دارای محدودیت می‌باشد.

در اتصالات اتکایی (غیر اصطکاکی)، رنگ کردن سطوح تماس به‌طور کلی مجاز است. در اتصالات اصطکاکی شرایط لازم در سطوح تماس باید طبق مقررات مربوط به پیچ‌های اصطکاکی رعایت شود<sup>۱</sup>.

#### ۱۰-۲-۵ تأثیر نوع اتصال بر رفتار اعضای سازه‌ای

در ساخت ستون‌های مرکب، اتصال پروفیل‌های طولی توسط بست انجام می‌شود. اتصالات بست، می‌تواند از نوع جوشی و یا پیچی با عملکرد اتکایی و یا اصطکاکی باشد. ضریب لاغری ستون مرکب برای خمش حول محور بدون مصالح، نیاز به اصلاح دارد که ضابطه لاغری اصلاح شده، برای اتصالات اتکایی و اصطکاکی متفاوت است. جزئیات بیشتر در فصل طراحی اعضای فشاری این مجموعه و همچنین مبحث دهم بند ۱۰-۲-۴-۷ ارائه شده است.

اتصالات متصل‌کننده‌های میانی می‌توانند از نوع جوشی و یا پیچی با عملکرد اتکایی یا اصطکاکی باشند، لیکن اتصالات متصل‌کننده‌های انتهایی باید از نوع جوشی یا پیچی با عملکرد اصطکاکی باشند<sup>۲</sup>.

#### ۱۰-۲-۶ ترکیب پیچ و جوش

وقتی که پیچ‌های معمولی یا پیچ‌های پرمقاومت در حالت اتصال اتکایی (غیر اصطکاکی) به‌صورت مشترک با جوش استفاده شود، نباید فرض کرد که آنها در تحمل بار با جوش سهیم هستند. در این صورت کل تنش در اتصال را باید جوش به تنهایی تحمل کند. در صورت استفاده از ترکیب جوش و پیچ‌های پرمقاومت در اتصال اصطکاکی، می‌توان جوش و پیچ را در تحمل تنش‌ها سهیم فرض کرد مشروط بر اینکه در اتصالات برشی سوراخ پیچ‌ها از نوع استاندارد یا دارای شکاف‌های عمود بر جهت بار و جوش‌های گوشه تحت اثر بار طولی در نظر گرفته شده باشند. در چنین اتصالات‌هایی، مقاومت موجود در پیچ‌ها را نباید بزرگ‌تر از ۵۰ درصد مقاومت

<sup>۲</sup> مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۰-۲-۴-۷

<sup>۱</sup> مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۰-۲-۴-۵

موجود پیچ‌ها در حالت اتکایی در نظر گرفت. تقویت از طریق جوشکاری در خصوص ساختمان‌های موجودی که اتصالات آنها از نوع پیچی می‌باشد به شرطی مجاز است که پیچ‌های موجود از نوع اصطکاکی طراحی و اجرا شده باشند. در این‌گونه موارد پیچ‌های موجود را می‌توان برای انتقال بارهای موجود فرض نموده و جوش باید تنش‌های اضافی را انتقال دهند.

### ۱۰-۲-۷ محدودیت‌های اتصالات اصطکاکی

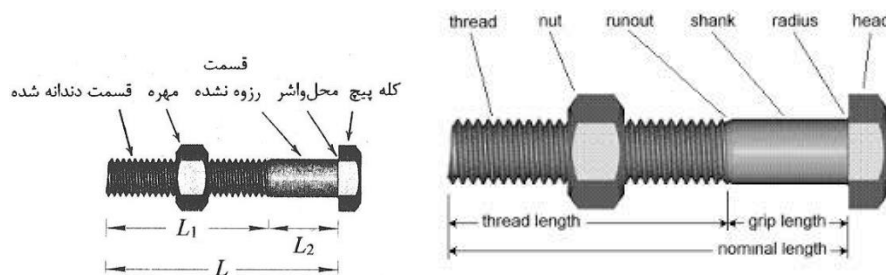
برای اتصالات زیر باید از اتصال اصطکاکی با پیچ‌های پرمقاومت یا جوش استفاده شود.

- وصله ستون‌ها در ساختمان‌های چندطبقه با ارتفاع بیش از ۴۰ متر
- اتصال کلیه تیرها و شاه‌تیرها به ستون‌هایی که مهار آنها به ساختمان‌های چندطبقه با ارتفاع بیش از ۴۰ متر وابسته است.
- کلیه سازه‌هایی که جراثقال‌هایی با ظرفیت بیش از ۵۰ کیلونیوتن را تحمل می‌کنند. وصله خرپاها یا تیرهای شیب دار سقف، اتصال خرپاها به ستون‌ها، وصله ستون‌ها، مهار ستون‌ها، مهارهای زانویی بین خرپا یا تیر سقف و ستون و تکیه‌گاه‌های جراثقال مشمول این امر می‌باشند.
- در اتصالات اعضایی که تکیه‌گاه ماشین‌های متحرک یا سایر بارهای زنده‌ای هستند که باعث ایجاد ضربه یا بارهای رفت و برگشتی می‌شوند.

در کلیه حالت‌های دیگر می‌توان از اتصال اتکایی با پیچ‌های پرمقاومت یا با پیچ‌های معمولی، اتصال اصطکاکی با پیچ پرمقاومت و یا اتصال جوشی استفاده کرد

### ۱۰-۳ اجزاء، انواع و ضوابط پیچ

تقسیم‌بندی پیچ‌های معمولی و پرمقاومت بر اساس مقاومت نهایی کششی و نوع مصالحی که پیچ‌ها از آن ساخته و تولید می‌شوند، صورت می‌گیرد. در شکل ۶-۱۰ نمای ظاهری یک پیچ نشان داده شده است. یک پیچ کامل متشکل از تنه پیچ، مهره و واشر است. خود پیچ از کله پیچ، بدنه و قسمت رزوه شده تشکیل شده است. هر دو نوع پیچ معمولی و پرمقاومت دارای شکل ظاهری مشابه یکدیگر هستند.



شکل ۶-۱۰ شکل ظاهری مجموعه پیچ

## ۱۰-۳-۱ پیچ‌های معمولی (ساده)

این پیچ‌ها که در ساخت آنها دقت کمی به کار می‌رود از فولاد با کربن کم ساخته می‌شوند. در طبقه‌بندی استاندارد ASTM پیچ A307 از نوع ساده بوده و معمولاً این عبارت در کله پیچ و در قسمت شش‌ضلعی حک شده است مشخص می‌شوند. این پیچ‌ها از ارزان‌ترین نوع پیچ به شمار می‌روند. عمده‌ترین مورد استعمال این پیچ‌ها در سازه‌های فولادی سبک، قطعات فولادی درجه دوم نظیر مهاربندها و خرپاهای کوچک است. از این پیچ‌ها به‌عنوان وسایل کمکی مونتاژ نیز در اتصالاتی که اعضای اصلی آنها توسط جوش و یا پیچ‌های پرمقاومت متصل می‌شوند، استفاده می‌گردد.

استفاده از پیچ‌های معمولی فقط در اتصالات انکایی و استفاده از پیچ‌های پرمقاومت، برای هر دو نوع اتصال انکایی و اصطکاکی مجاز است.<sup>۱</sup>

## ۱۰-۳-۲ پیچ‌های پرمقاومت

عرضه پیچ‌های با مقاومت بالا تحول زیادی در صنعت سازه‌های فولادی به وجود آورد. مصالح پیچ‌های با مقاومت بالا از فولاد با کربن متوسط است که خود و مهره آنها به‌وسیله عملیات حرارتی و تبرید و بازپخت تهیه می‌شوند. پیچ‌های معرفی شده در استاندارد ASTM که در صنعت ساختمان رواج بیشتری دارند، به همراه تنش نهایی آنها، در جدول ۱۰-۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۱۰-۲ تنش نهایی مصالح پیچ و مهره

نوع پیچ	ISIRI 2874 EN-ISO 898	ASTM	تنش تسلیم مشخصه ( $F_y$ ) (MPa)	تنش کششی نهایی ( $F_u$ ) (MPa)	کرنش نهایی ( $\epsilon_u$ ) (%)
پیچ‌های معمولی	4.6	A307	240	400	22
	4.8	—	320	420	14
	5.6	—	300	500	20
	5.8	—	400	520	10
	6.8	—	480	600	8
پیچ‌های پرمقاومت	8.8	A325 F1852	کاربرد ندارد	800	12
	10.9	A490 F2280	کاربرد ندارد	1000	9
	12.9	—	کاربرد ندارد	1200	8

در استاندارد DIN مطابق جدول، نوع پیچ به‌صورت چیدمان دو عدد معرفی می‌شوند که عدد سمت چپ بیانگر تنش نهایی پیچ برحسب 100MPa (تقریباً معادل  $1.0 \frac{ton}{cm^2}$ ) و عدد سمت راست، ضریبی است که با ضرب آن در تنش نهایی، مقدار تنش تسلیم پیچ مشخص می‌شود.

<sup>۱</sup> مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بند ۳-۹-۲-۱۰

## به‌عنوان مثال برای پیچ 8.8

$$F_{ub} = 800MPa \cong 8 \frac{ton}{cm^2} \rightarrow F_{yb} = 0.8 \times F_{ub} = 640MPa \cong 6.4 \frac{ton}{cm^2}$$

## همچنین برای پیچ 10.9

$$F_{ub} = 1000MPa \cong 10 \frac{ton}{cm^2} \rightarrow F_{yb} = 0.9 \times F_{ub} = 900MPa \cong 9 \frac{ton}{cm^2}$$

قطر پیچ‌های پرمقاومت در محدوده ۱۲ تا ۳۸ میلیمتر می‌باشد و M16, M18, M20, M22, M24, M27, M30 در کارهای ساختمانی رواج بیشتری دارند. پیچ‌های با مقاومت بالاتر را تا حدی سفت می‌کنند که در آنها نیروی کششی معینی که سبب فشرده شدن قطعات فولادی تا حد مطلوبی به یکدیگر می‌شود به وجود آید. در این حالت انتقال نیرو در گره از طریق نیروی اصطکاکی بین قطعات متصل انجام خواهد گرفت. بدین سبب هرگاه در اتصالی فولادی، مقاومت بالا در برابر لغزش قطعات موردنیاز باشد از پیچ‌های با مقاومت بالا به‌صورت اصطکاکی استفاده می‌گردد و هرگاه چنین مقاومتی موردنظر نباشد از حالت برشی (اتکایی) استفاده می‌شود. در ایران، کارخانه‌های مختلفی در امر تولید پیچ‌ومهره فعالیت دارند. بعضی از این کارخانه‌ها با استاندارد ایالات متحده (ASTM) و برخی دیگر با استاندارد اروپا (DIN) محصولات خود را شامل پیچ، مهره و واشر تولید می‌نمایند. از جمله آنها می‌توان شرکت‌های ایران پیچ، ایران توحید را نام برد.

در اتصالات و وصله‌های اعضای سیستم باربر جانبی لرزه‌ای و نیز وصله ستون‌های غیر باربر جانبی لرزه‌ای، کلیه پیچ‌ها باید از نوع پرمقاومت و با رفتار اتصال اصطکاکی باشند<sup>۱</sup>.

## ۳-۳-۱۰ نماد معرفی پیچ‌های اتصالات

ضمن تعیین نوع فولاد پیچ، جزئیات دیگری توسط پسوند تعریف شده است که در کتاب‌های طراحی سازه‌های فولادی استفاده می‌شود. جدول ۳-۱۰ پسوندهای مختلف را برای فولاد نوع A325 بیان می‌کند.

جدول ۳-۱۰ پسوندهای نماد پیچ

توضیحات	مثال	پسوند
پیچ در اتصال اتکایی استفاده شده و مقطع رزوه از صفحه برش می‌گذرد.	A325N or A325-N	N
پیچ در اتصال اتکایی استفاده شده و مقطع رزوه از صفحه برش نمی‌گذرد.	A325X or A325-X	X
پیچ در اتصال اصطکاکی استفاده شده است.	A325SC or A325-SC	SC

<sup>۱</sup> مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بند ۳-۳-۱۰

## ۱۰-۴ روش‌های بستن پیچ

روش‌های بستن پیچ، باتوجه به نوع اتصال (اتکایی و یا اصطکاکی) به دو مرحله بست اولیه و بست ثانویه تقسیم‌بندی می‌شود. در اتصال اتکایی تنها بست اولیه اجرا می‌گردد ولی در اتصال اصطکاکی هر دو بست اجرا می‌گردند.

### ۱۰-۴-۱ بست اولیه

چنانچه ذکر گردید، بست اولیه طبق تعریف نشان‌دهنده حالتی است که تمامی سطوح یک اتصال در تماس کامل با یکدیگر باشند. چنانچه در این وضعیت تماس کامل برقرار نگردد، از طریق «ورق پرکننده»<sup>۱</sup> تماس کامل حاصل می‌گردد. اگر در این وضعیت فضایی خالی بین سطوح اتصال موجود باشد به نحوی که تماس کامل برقرار نشود، باید اتصال باز شود و پس از قراردادن ورق پرکننده مناسب انجام اصلاحات لازم، تماس کامل برقرار شود. به مقدار سفتی پیچ در این حالت «سفتی کامل» می‌گویند که طبق تعریف، متناظر با وضعیتی است که کارگر ماهر با آچار معمولی بدون آنکه با وزن خود به دسته آچار نیرو وارد کند، با به‌کارگیری آخرین توان خود نتواند پیچ را محکم‌تر نماید.

برای کنترل میزان سفت کردن پیچ در بست اولیه، ابتدا این بست برای تعدادی پیچ (از هر رده و قطر) و تحت نظر مهندس ناظر اجرا می‌شود. سپس مهندس ناظر با «آچار تنظیم»، لنگر پیچشی پیچ‌ها را اندازه‌گیری می‌کند و مقداری را برای لنگر پیچشی پیچ‌های آن رده و با آن قطر در نظر می‌گیرد. پس از این مرحله، سایر پیچ‌های بسته شده تا حد بسط اولیه، توسط «آچار تنظیم» و کنترل لنگر پیچشی آنها با مقدار مشخص شده، قابل کنترل می‌باشد.

محکم کردن پیچ‌های هر اتصال در دو مرحله انجام می‌گیرد. اول، تعدادی از پیچ‌ها تا حد سفتی کامل محکم می‌شوند، تا اطمینان حاصل شود که سطوح تماس کاملاً به هم چسبیده‌اند، سپس تمام پیچ‌ها در سوراخ قرار گرفته کاملاً سفت می‌شوند. در تمام مراحل محکم کردن پیچ‌ها باید دقت کرد که از چرخیدن پیچ و مهره با هم جلوگیری به عمل آید. محکم کردن پیچ‌های شل شده ناشی از محکم شدن پیچ‌های مجاور تا حد بسط اولیه بلامانع است.

### ۱۰-۴-۲ بست ثانویه

چنانچه در بخش قبل ذکر گردید، در اتصالات اتکایی ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی لازم نیست ولی در اتصالات اصطکاکی پیچ‌ها باید پیش‌تنیده گردند. حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی در برخی پیچ‌های متداول مطابق مقادیر جدول می‌باشد. در مواردی که قطر اسمی پیچ غیر از اعداد ذکر شده است، حداقل نیروی پیش‌تنیدگی برابر  $0.55A_b f_{ub}$  است و با فرض آنکه سطح مقطع پیچ در ناحیه رزوه حدود ۸۰ درصد مساحت اسمی پیچ باشد، حداقل نیروی پیش‌تنیدگی معادل  $0.7A_{eb} f_{ub}$  در نظر گرفته می‌شود. در این روابط  $A_b$  سطح مقطع اسمی پیچ،  $A_{eb}$  سطح مقطع خالص یا سطح مقطع زیر دندانه‌ها و  $f_{ub}$  تنش کششی نهایی مصالح پیچ می‌باشد. برای سایر رده پیچ‌ها می‌توان از تناسب بین تنش کششی نهایی آنها بهره برد.

بست ثانویه را می‌توان توسط آچار دسته بلند، آچار معمولی با استفاده از دو کارگر یا به‌وسیله آچار بادی تأمین نمود. لازم است ابزارهای مورد استفاده در محکم کردن پیچ‌ها، در اتصالات پیچی با عملکرد اصطکاکی و در اتصالات پیچی تحت کشش مستقیم، در هر

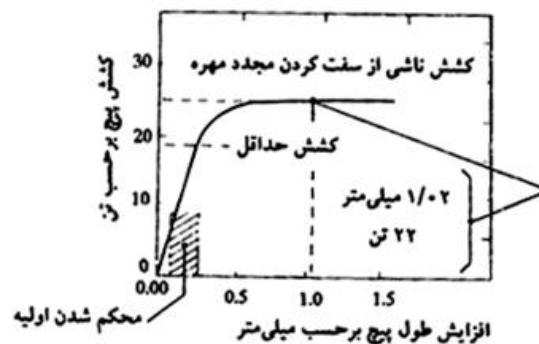
<sup>۱</sup> Filler plate

مرحله تنظیم و کنترل گردند. اگر در چرخاندن پیچ‌ها از آچارهای بادی استفاده شود، باید فشار باد را طوری تنظیم کرد که در یک مرحله، مهره‌ها را بدون چرخیدن پیچ تا مرحله سفتی کامل برساند و در مرحله بعد، پیش‌تنیدگی پیچ توسط ازدیاد فشار باد یا با روش دستی ایجاد شود. تنظیم باد کمپرسور متضمن استفاده از آچار مدرج (تورک متر) یا آزمون و خطاهای متوالی می‌باشد و باید در آن دقت کامل به عمل آید. حصول اطمینان از ایجاد شدن نیروی کششی لازم در پیچ‌ها الزامی است. ابزارهای نمایشگر نیرو در اتصالات پیچی با عملکرد اصطکاکی را می‌توان در ترکیب با پیچ‌ومهره و واشر مطابق روش‌های بستن پیچ به کار برد. روش نصب و بازرسی این ابزارها باید توسط سازنده ارائه شود و به تأیید ناظر برسد.

در بست ثانویه، مراحل محکم کردن پیچ‌های اتصال مشابه مراحل مذکور در بست اولیه، در دو قسمت انجام می‌گیرد. اول، تعدادی از پیچ‌ها تا حد سفتی کامل محکم می‌شوند، تا اطمینان حاصل شود که سطوح تماس کاملاً به هم چسبیده‌اند، سپس تمام پیچ‌ها در سوراخ قرار گرفته کاملاً سفت می‌شوند و در مرحله دوم، پیچ‌ها پیش‌تنیده می‌گردند. همچنین در تمام مراحل محکم کردن پیچ‌ها باید دقت کرد که از چرخیدن پیچ‌ومهره با هم جلوگیری به عمل آید.

اگر یک مهره یا پیچ پس از محکم شدن کامل در بست ثانویه، به دلایلی باید شل شود، لازم است که مجموعه پیچ‌ومهره کاملاً تعویض شود. همچنین بازکردن و استفاده مجدد از پیچ‌هایی که به حد پیش‌تنیدگی رسیده‌اند، مجاز نمی‌باشد.

نتایج آزمایشگاهی مقدار کشش و تغییر شکل پیچ، به صورت نمونه در شکل ۱۰-۷ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰-۷ کشش و افزایش طول پیچ در یک آزمایش

### ۱۰-۴-۳ روش‌های بستن پیچ (بست ثانویه)

هرگاه پیچ با مقاومت بالایی نصب گردد، اساسی‌ترین الزامی که در نصب آن وجود دارد، ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی کافی در پیچ است. میزان این نیروی پیش‌تنیدگی به مقدار حداکثر باید به نحوی باشد که تغییر شکل و گسیختگی پیچ را سبب نگردد.

### ۱۰-۴-۳-۱ استفاده از آچارهای مدرج (تورک متر)<sup>۱</sup>

در این روش با استفاده از آچارهای مخصوص به نام تورک متر (گشتاورسنج) بر پیچ تا حد معینی کوپل پیچشی وارد می‌کنند به نحوی که در آن، حد پیش‌تنیدگی معین شده به دست آید. در این روش طبق آزمایش‌ها، معلوم شده که به طور متوسط در حدود  $\pm 10\%$  درصد نیروی پیش‌تنیدگی از مقدار معین شده قبلی نوسان دارد. این روش معمولاً برای کنترل پیش‌تنیدگی پیچ به کار می‌رود. برای رسیدن به نیروی پیش‌تنیدگی لازم است پیچ یا مهره، با لنگر پیچشی معینی سفت شوند. مقدار لنگر لازم به نوع پیچ، قطر پیچ و وضعیت روان‌سازی (روغن کاری و یا گریس کاری) پیچ بستگی داشته و برای پیچ‌های مختلف، در جدول ۱۰-۶ ارائه شده است. نمونه آچار تورک متر و ابزار تنظیم آن در شکل ۱۰-۸ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰-۸ آچار تورک متر و دستگاه تنظیم آن

### ۱۰-۴-۳-۲ پیچاندن مناسب مهره با دور اضافی<sup>۲</sup>

این روش اجرایی‌ترین روش در نصب پیچ‌هاست. ابتدا مهره پیچ توسط آچارهای متعارف با قدرت کامل پیچانده می‌شود و سپس بر طبق جدول ۱۰-۴ به آن، دور اضافه تحمیل می‌کنند. این جدول مقدار دور لازم را برحسب طول پیچ و وضعیت سطوح خارجی قسمتهایی که به یکدیگر قرار است پیچ شوند، نشان می‌دهد.

جدول ۱۰-۴ چرخش اضافی لازم برای پیش‌تنیده کردن پیچ

تعداد دور اضافه برای پیش‌تنیده کردن پیچ	طول گیر پیچ ( $L_b$ )؛ قطر پیچ ( $d_b$ )
$\frac{1}{4}$ دور	$L_b \leq 4d_b$
$\frac{1}{3}$ دور	$4d_b \leq L_b \leq 8d_b$
$\frac{2}{3}$ دور	$8d_b \leq L_b \leq 12d_b$

نحوه اجرای بست ثانویه پیچ با دور اضافی در شکل ۱۰-۹ نمایش داده شده است.

<sup>2</sup> Turn-of-nut tightening

<sup>1</sup> Calibrated wrench tightening



بستن آچار و ایجاد چرخش

علامت زدن پیچ و مهره

اعمال دور اضافی چرخش

شکل ۹-۱۰ چرخش اضافی

### ۳-۳-۴-۱۰ واشرهای DTI

یکی از جدیدترین روش‌های نصب پیچ‌های با مقاومت بالا، مطابق شکل ۱۰-۱۰ استفاده از واشرهای نشان‌دهنده میزان نیروی پیش‌تنیدگی است. طی این روش، واشری که از یک سطح صاف و از سطح دیگر دارای برآمدگی است بین سر پیچ و قطعه فولادی قرار می‌دهند به نحوی که سطح غیر صاف آن در مقابل سطح درونی پیچ قرار گیرد. این برآمدگی واشر سبب ایجاد فاصله‌ای بین واشر و پیچ خواهد شد که این فاصله به تناسب از دیاد نیروی کششی کم می‌شود. عملاً میزان پیش‌تنیدگی پیچ‌ها زمانی مناسب است که این فاصله برابر با ۰,۴ میلی‌متر گردد.



شکل ۱۰-۱۰ واشر DTI

### ۴-۳-۴-۱۰ پیچ‌های جدا شونده

روش دیگر برای حصول پیش‌تنیدگی، استفاده از پیچ‌های ویژه حساس به کشش یا جداشونده<sup>۱</sup> است که در آنها، با رسیدن به نیروی کششی خاص، عضو شاخص متصل به کله پیچ به صورت پیچشی کنده می‌شود (شکل ۱۰-۱۱). در این روش باید اطمینان حاصل شود که نیروی کششی در لحظه کنده شدن عضو فوق، با مشخصات طرح مطابقت داشته باشد. مراحل محکم کردن این پیچ‌ها نیز مانند روش چرخش مهره می‌باشد.

<sup>۱</sup> Twist-off Bolt or Tension-control bolts TC-Bolt





شکل ۱۰-۱۱ پیچ جداشونده

### ۱۰-۴-۳-۵ پیچ‌های هوشمند

نوعی دیگر از پیچ‌های جدید پیچ‌های هوشمند<sup>۱</sup> می‌باشند که در آنها، میزان پیش‌تنیدگی پیچ با تغییر رنگ مواد تعبیه شده در سر پیچ، قابل تشخیص و کنترل است. این نوع پیچ در سال‌های گذشته در مرحله تحقیقات بود که اخیراً وارد تولید انبوه در صنعت ساختمان شده است. مطابق شکل ۱۰-۱۲ ناحیه مذکور در این نوع پیچ، ابتدا به رنگ قرمز بوده و پس از حصول پیش‌تنیدگی لازم، به رنگ سیاه متمایل می‌گردد.



شکل ۱۰-۱۲ پیچ هوشمند

### ۱۰-۵ سوراخ پیچ

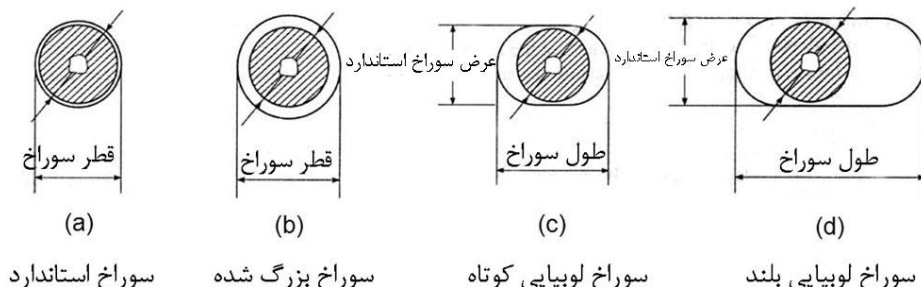
سوراخ‌کاری در سازه فولادی به‌منظور اجرای اتصال پیچ و مهره‌ای و یا اتصالات پرچی و در زمان آماده‌سازی و بستن پیچ‌ها یا اجرای پرچ در زمان نصب انجام می‌شود. در این بخش، ضوابط مرتبط با سوراخ‌کاری اعضای فولادی بیان شده است.<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> Smart Bolt

<sup>۲</sup> برای جزئیات بیشتر به مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۰-۲-۳-۲ و مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۱-۸-۱-۱۵ مراجعه شود.

### ۱۰-۵-۱ انواع سوراخ

سوراخ‌ها در اتصالات پیچی به انواع استاندارد، بزرگ شده، لوبیایی کوتاه و لوبیایی بلند تقسیم می‌شوند. اندازه سوراخ به وسیله قطر سوراخ ( $d_h$ )، طول و یا عرض سوراخ مطابق شکل ۱۰-۱۳ معرفی می‌گردد.



شکل ۱۰-۱۳ انواع سوراخ در اتصالات پیچی

### ۱۰-۵-۲ سوراخ استاندارد

سوراخ استاندارد، سوراخ دایره‌ای شکل مناسب با قطر پیچ با حداقل لقی ممکن می‌باشد. معمولاً طراحی اتصال بر اساس سوراخ استاندارد انجام می‌شود و جهت جبران خطاهای مراحل ساخت و نصب، سوراخ استاندارد با برزو تراشیده شده و به سوراخ بزرگ شده تبدیل می‌شود.

### ۱۰-۵-۳ سوراخ بزرگ شده یا فراخ

سوراخ فراخ (لق) به شکل دایره‌ای است و قطر آن اندکی از سوراخ استاندارد بیشتر است.

استفاده از سوراخ بزرگ شده فقط در اتصالات اصطکاکی مجاز می‌باشد.<sup>۱</sup>

### ۱۰-۵-۴ سوراخ لوبیایی کوتاه و بلند

سوراخ‌های لوبیایی را می‌توان به یکی از روش‌های منگنه‌زنی در یک مرحله، مته کردن یا منگنه کردن در چند مرحله و یا برش ماشینی ایجاد نمود. در صورت لزوم، لبه سوراخ لوبیایی باید در انتهای سوراخ کاری صاف شود. در اتصالات اصطکاکی، استفاده از سوراخ‌های بزرگ شده، لوبیایی بلند (فقط در یکی از ورق‌های اتصال) و لوبیایی کوتاه در هر امتدادی مجاز است. در اتصال اتکایی، سوراخ‌های لوبیایی کوتاه و لوبیایی بلند، فقط در امتداد عمود بر مسیر نیرو مجاز هستند و استفاده از سوراخ‌های بزرگ شده در این نوع اتصال مجاز نمی‌باشد.<sup>۲</sup> نمونه سوراخ لوبیایی در شکل ۱۰-۱۴ مشاهده می‌شود.

<sup>۲</sup> مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۰-۹-۲-۳

<sup>۱</sup> م ۱۰ بند ۱۰-۹-۲-۳



شکل ۱۰-۱۴ سوراخ لوبیایی

در اتصالات و وصله‌های اعضای سیستم باربر جانبی لرزه‌ای و نیز وصله ستون‌های غیر باربر جانبی لرزه‌ای، سوراخ‌ها باید از نوع استاندارد و یا لوبیایی کوتاه در امتداد عمود بر راستای نیرو باشند<sup>۱</sup>.

### ۱۰-۵-۵ ابعاد سوراخ

چنانچه در بخش‌های قبل نیز به آن اشاره شد، قطر سوراخ ( $d_h$ ) اندکی از قطر پیچ ( $d_b$ ) بیشتر است تا در قرار دادن پیچ در جای خود، مشکلی در اجرا نباشد. از این رو لازم است قطعات فولادی متناسب با قطر پیچ، سوراخ شوند<sup>۲</sup>. حداکثر مجاز ابعاد اسمی سوراخ‌ها مطابق جدول ۱۰-۵ می‌باشد. لازم به ذکر است در ورق‌های کف ستون، حداکثر مجاز قطر سوراخ برابر  $d_b + 6mm$  می‌باشد.

جدول ۱۰-۵ ابعاد اسمی سوراخ پیچ

Bolt #	قطر پیچ ( $d_b$ )	ابعاد اسمی سوراخ ( $d_h$ ) بر حسب میلی‌متر			
		قطر سوراخ استاندارد	سوراخ بزرگ شده	سوراخ لوبیایی کوتاه	سوراخ لوبیایی بلند
M16	16 mm	۱۸	۲۰	۱۸×۲۲	۱۸×۴۰
M20	20 mm	۲۲	۲۴	۲۲×۲۶	۲۲×۵۰
M22	22 mm	۲۴	۲۸	۲۴×۳۰	۲۴×۵۵
M24	24 mm	۲۷	۳۰	۲۷×۳۲	۲۷×۶۰
M27	27 mm	۳۰	۳۵	۳۰×۳۷	۳۰×۶۷
M30	30 mm	۳۳	۳۸	۳۳×۴۰	۳۳×۷۵
M36, ...	$\geq 36$ mm	$d_b + 3$	$d_b + 8$	$(d_b + 3)(d_b + 10)$	$(d_b + 3)(2.5d_b)$

### ۱۰-۵-۶ روش‌های سوراخ‌کاری

سوراخ‌کاری عضو فولادی به روش‌های مته‌کاری، منگنه (پانچ) و ماشین‌کاری انجام می‌شود. در اجرای صنعتی سازه‌های فولادی، یکی از مشکلات اجرایی عمده اتصالات پیچ و مهره‌ای، عدم انطباق سوراخ‌های اتصال در زمان نصب است؛ لذا ساخت و اجرای این اتصالات،

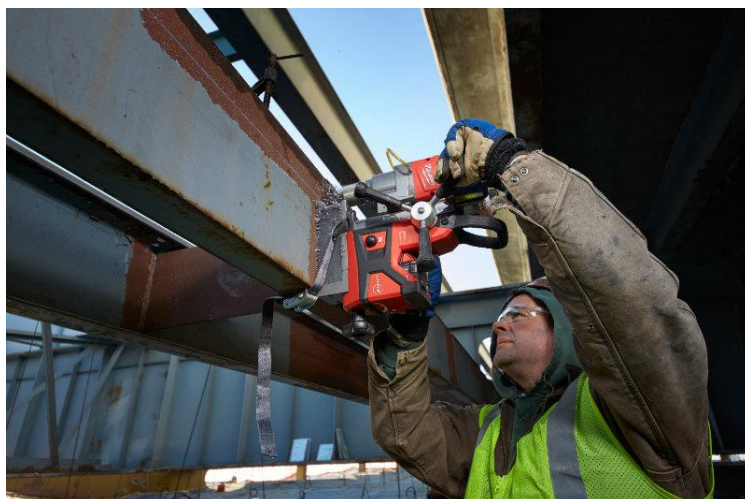
<sup>۱</sup> مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۰-۳-۳-۳

<sup>۲</sup> مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۰-۳-۹-۲-۲

نیاز به دقت مضاعف دارد تا نیاز به اصلاحات در زمان نصب، تاحدامکان کاهش یابد. جهت انطباق کامل سوراخ‌های اتصال، در صورت امکان باید قطعات اتصال به هم خال جوش شده و با هم سوراخ‌کاری شوند. برای ایجاد سوراخ در ورق فولادی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. سوراخ‌کاری برای پیچ یا پرچ فقط می‌تواند به وسیله مته یا منگنه انجام شود.<sup>۱</sup>

#### ۱۰-۵-۶-۱ دریل مغناطیسی<sup>۲</sup> (مته‌کاری)

سوراخ ایجاد شده توسط دریل مغناطیسی از کیفیت بسیار خوبی برخوردار است ولی عملیات بسیار پرهزینه می‌باشد. معمولاً سوراخ‌کاری در کارگاه با استفاده از این دستگاه انجام می‌شود. لازم است در نقشه‌های محاسباتی، محل سوراخ‌هایی که فقط باید به وسیله مته ایجاد شوند، مشخص شود.<sup>۳</sup> همچنین مته‌کاری بر روی بیش از یک قطعه، هنگامی مجاز است که قطعات پیش از مته کردن، به طور محکم به یکدیگر بسته باشند و قطعات را باید پس از اتمام مته‌کاری از یکدیگر جدا کرد و هرگونه براده‌ای را تمیز نمود.<sup>۴</sup> نمونه دستگاه دریل مغناطیسی در شکل ۱۰-۱۵ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰-۱۵ دریل مغناطیسی

#### ۱۰-۵-۶-۲ دستگاه دریل رادیال<sup>۵</sup>

عملیات سوراخ‌کاری کاری در کارخانه معمولاً توسط دریل رادیال انجام می‌شود که دارای بازده خوبی بوده و نسبت به دریل مغناطیسی معمولاً دارای هزینه کمتری می‌باشد. نمونه دستگاه دریل رادیال در شکل ۱۰-۱۶ نمایش داده شده است.

<sup>۱</sup> مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان، بند ۹-۱-۸-۱-۱۱

<sup>۴</sup> مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۲-۱-۸-۱-۱۱

<sup>۲</sup> Magnetic drill

<sup>۵</sup> radial drill

<sup>۳</sup> مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۰-۱-۸-۱-۱۱



شکل ۱۰-۱۶ دریل رادیال

### ۱۰-۵-۶-۳ استفاده از دستگاه پانچ<sup>۱</sup>، سوراخ زن یا منگنه

در اتصالات پیچ و مهره‌ای، سالم بودن بدنه سوراخ در مقاومت و باربری اتصال، تأثیر بسزایی دارد. از آنجاکه سوراخ کاری توسط منگنه، با اعمال ضربه به فولاد انجام می‌شود، معمولاً در لبه سوراخ تغییر شکل به وجود می‌آید و همچنین جداره داخلی سوراخ، دچار ترک‌های مویین می‌شود که ظرفیت باربری اتصال را کاهش می‌دهند و این اثرات، با افزایش قطر ورق منگنه شده، افزایش می‌یابند؛ لذا می‌توان ابتدا سوراخی با قطر کوچک‌تر توسط دستگاه سوراخ زن ایجاد نمود، سپس سوراخ را توسط مته کاری گشاد کرده و قطر آن را به میزان مورد نظر افزایش داد. منگنه کردن و گشاد کردن سوراخ در صورتی مجاز است که قطر سوراخ منگنه‌ای حداکثر ۲ میلیمتر کوچک‌تر از قطر کامل سوراخ باشد و سوراخ منگنه‌ای پس از سوار شدن قطعات، تا رسیدن به قطر نهایی به وسیله برقو گشاد شود.<sup>۲</sup> در محاسبات تأثیر این ترک را با افزودن قطر سوراخ به مقدار ۲ میلیمتر منظور می‌نمایند.

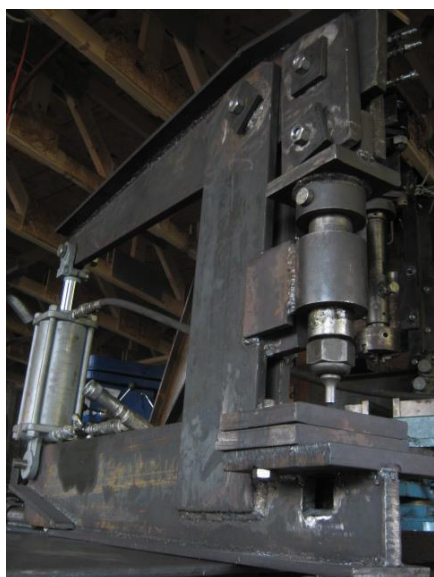
ایجاد سوراخ منگنه‌ای با قطر کامل هنگامی مجاز است که قطر سوراخ از ضخامت ورق کوچک‌تر نباشد.<sup>۳</sup> همچنین سوراخ کاری با منگنه فقط برای ورق‌های با ضخامت حداکثر ۱۲ میلیمتر مجاز است.<sup>۴</sup> در نتیجه ایجاد سوراخ منگنه‌ای با قطر کامل (با رعایت سایر ضوابط) برای قطر سوراخ حداکثر ۱۲ میلیمتر مجاز خواهد بود. شکل ۱۰-۱۷ دستگاه پانچ (منگنه زن) را نشان می‌دهد.

<sup>۳</sup> مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۱-۸-۱-۱۳

<sup>۱</sup> puncher

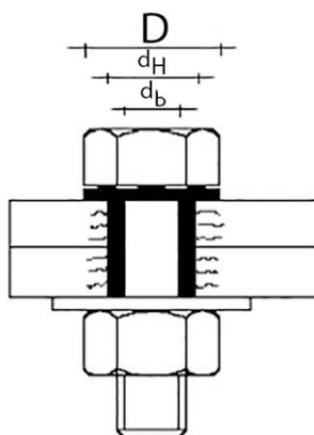
<sup>۴</sup> مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۱-۸-۱-۹ و نشریه ۵۵

<sup>۲</sup> مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۱-۸-۱-۱۴



شکل ۱۰-۱۷ دستگاه منگنه (پانچ) و قطعات آن در اندازه‌های مختلف

اندازه‌های قطر پیچ، قطر سوراخ و قطر محاسباتی سوراخ در شکل زیر نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۰-۱۸ قطر پیچ ( $d_b$ ) قطر سوراخ ( $d_h$ ) و قطر محاسباتی سوراخ ( $D$ )

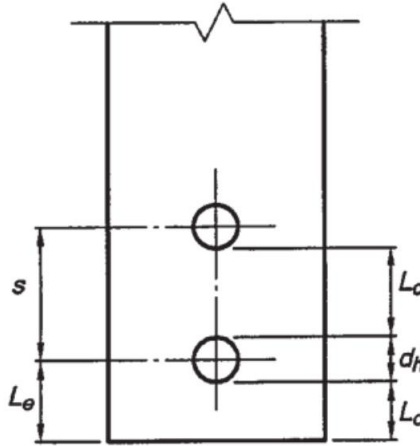
رابطه زیر میان اندازه‌های قطر پیچ ( $d_b$ ) قطر سوراخ استاندارد ( $d_h$ ) و قطر محاسباتی سوراخ ( $D$ ) حاکم است.

$$d_b \rightarrow d_h = \begin{cases} d_b + 2mm; & d_b \leq 22mm \\ d_b + 3mm; & d_b \geq 24mm \end{cases} \rightarrow D = d_h + 2mm = \begin{cases} d_b + 4mm; & d_b \leq 22mm \\ d_b + 5mm; & d_b \geq 24mm \end{cases}$$

#### ۱۰-۵-۷ فاصله سوراخ‌ها از یکدیگر ( $S$ ) و تا لبه عضو ( $L_e$ )

از عوامل تأثیرگذار در تعیین محدودیت‌های ابعادی سوراخ، می‌توان به فاصله آچارخور اشاره نمود. چنانچه فاصله مرکز تا مرکز سوراخ‌ها از حدی کمتر باشد، امکان چرخش آچار وجود نخواهد داشت. روش برش لبه ورق از دیگر عوامل است زیرا برش دادن قطعه باعث مقداری تغییر شکل در انتهای عضو و ایجاد ترکهای مویین در لبه آن می‌شود و بنابراین، حداقل فاصله سوراخ تا لبه عضو به روش

برش بستگی خواهد داشت. شرایط جوی نیز بر فاصله تأثیرگذار است زیرا حداکثر فاصله مرکز پیچ تا نزدیکترین لبه قطعه در هر راستا، باتوجه به شرایط خوردگی و عوامل جوی تعیین می‌شود. در شکل ۱۰-۱۹ فواصل سوراخ‌ها از یکدیگر  $S$  و فاصله آنها از لبه انتهایی  $L_e$  می‌باشد.



شکل ۱۰-۱۹ نحوه آرایش و فواصل سوراخ‌ها از یکدیگر

محدوده مجاز فاصله سوراخ‌ها از یکدیگر ( $S$ ) برای سوراخ استاندارد، بر حسب شرایط جوی و روش سوراخ‌کاری، ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده ( $t_p$ ) و مطابق روابط زیر تعیین می‌شود.

$$3d_b \leq S \leq \begin{cases} \min(24t_p, 30\text{cm}) & \text{خوردگی کم} \\ \min(14t_p, 18\text{cm}) & \text{خوردگی شدید} \end{cases} \quad 1-10$$

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 آر، بر حسب شرایط جوی مطابق روابط زیر تعیین می‌شود.<sup>۱</sup>

$$1.75d_b \leq L_e \leq \begin{cases} \min(12t_p, 15\text{cm}) & \text{خوردگی کم} \\ \min(8t_p, 12.5\text{cm}) & \text{خوردگی شدید} \end{cases} \quad 2-10$$

برای اطلاع از جزئیات بیشتر به جلد اول این کتاب (فصل دو بخش ۲-۸) مراجعه شود.

## ۱۰-۶ طراحی اتصالات اتکایی تحت برش

در این بخش اصول طراحی اتصال پیچ و مهره‌ای اتکایی باتوجه به ظرفیت پیچ‌ها و ظرفیت اعضای اتصال، ارائه می‌گردد. برای طراحی اتصالات اتکایی موارد زیر باید رعایت گردد:

الف) مقاومت نهایی کششی در اجزاء اتصال.

<sup>۱</sup> برای اطلاع از ضوابط مربوط به لبه بریده شده ورق با گیوتین و فواصل سوراخ‌های بزرگ شده و لوبیایی به مبحث دهم بند ۱۰-۲-۹-۲-۳ مراجعه شود.



ب) مقاومت نهایی برشی در پیچ‌ها.

ج) مقاومت نهایی لهیدگی

د) مقاومت نهایی گسیختگی برشی.

د) فاصله مرکز سوراخ‌ها از یکدیگر و لبه‌های انتهایی.

لازم به ذکر است مقاومت موردنیاز اتصالات مهاربندی در قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی، نباید از یکی از دو مقدار زیر کمتر در نظر گرفته شود.

- مقاومت کششی مورد انتظار اعضای مهاربندی برابر  $R_y f_y A_g$  که در آن  $R_y$  نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم فولاد مهاربند است.

- بیشترین نیروی محوری حاصل از ترکیبات بار زلزله تشدید یافته در مهاربندی‌ها.

در مسائل طراحی و یا کنترل اتصال، چنانچه نیروی نهایی ضریب دار اتصال مجهول باشد و یا در دسترس نباشد، لازم است اتصال برای ظرفیت اعضاء طرح شود. جهت تعیین ظرفیت اعضاء در حالت نیروی کششی، ظرفیت از نیروی مقاومت کششی عضو موردنظر به دست می‌آید.

### ۱۰-۶-۱ مقاومت کششی عضو اتصال ( $P_n$ )

هنگامی که عضوی تحت اثر نیروی کششی قرار می‌گیرد، باید تنش‌های ناشی از این نیرو در مقطع خالص (در محل سوراخ‌ها) و در مقطع ناخالص محاسبه و با مقاومت کششی طراحی کنترل گردد. در فصل دوم جلد اول این مجموعه، نحوه محاسبه و کنترل تنش‌های کششی تحت بار کششی نهایی ( $P_u$ ) بر اساس کمترین مقدار روابط زیر ارائه شده است.

$$P_u \leq \min(\phi P_n)$$

• کنترل تسلیم عضو کششی در مقطع ناخالص ( $A_g$ )

$$\phi P_n = (0.9) f_y A_g$$

• کنترل گسیختگی کششی در مقطع خالص ( $A_n$ )

$$\phi P_n = (0.75) f_u A_n$$

• کنترل گسیختگی کششی ورق در ناحیه انتقال نیرو در مقطع خالص مؤثر ( $A_e$ )

$$\phi P_n = (0.75) f_u A_e$$

که در آنها:

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

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

تعداد پیچ‌ها در مسیر برش اتصال

$n$

ضریب کاهش مقاومت

$\phi$

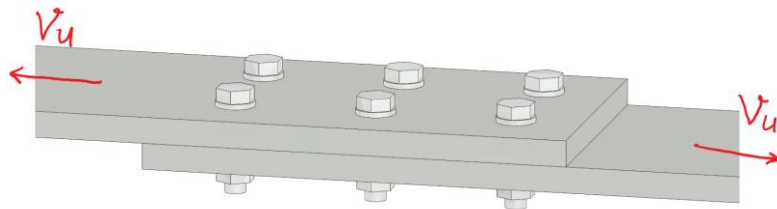


$D$	قطر محاسباتی سوراخ	$t$	ضخامت ورق
$A_g$	سطح مقطع کل (ناخالص)	$A_n$	سطح مقطع خالص برابر $A_n = A_g - nDt + \Sigma \left(\frac{s^2}{4g}\right)t$
$A_e$	سطح مقطع خالص موثر	$P_u$	نیروی کششی ناشی از بارهای ضریب دار

۱۰-۶-۲ نیروی نهایی برشی  $(R_{uv})$  <sup>۱</sup> نیروی لهیدگی  $(R_{ubr})$  <sup>۲</sup> و نیروی گسیختگی برشی  $(R_{utr})$  <sup>۳</sup> پیچ

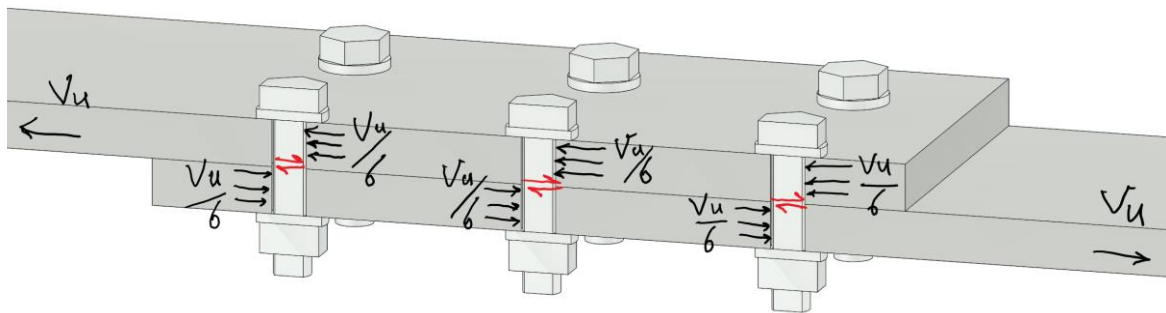
### در اتصال اتکایی

برش هر پیچ از تعادل نیروهای وارد شده به پیچ در امتداد نیروی محوری اتصال، حاصل می‌شود. تعداد ورق‌های اتصال در هر سمت، ضخامت ورق‌ها تعداد ردیفهای پیچ در دو جهت و اندازه پیچ‌ها در نیروی برشی ایجاد شده در مقطع پیچ تأثیرگذار است. در این بخش با فرض سطح مقطع یکسان برای پیچ‌ها، توزیع یکنواخت تنش برشی، ضخامت و سهم مساوی ورق‌های هر سمت و چیدمان منظم ورق‌ها (یکی به سمت چپ و دیگری به سمت راست)، محاسبه نیروی برشی و نیروی لهیدگی انجام می‌شود. در شکل زیر، دو ورق اتصال توسط شش پیچ ( $n_b = 6$ ) به یکدیگر متصل شده و توسط نیروی نهایی  $V_u$  تحت کشش قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۰-۲۰ نیروی برشی پیچ در اتصال تحت کشش

با اعمال نیروی نهایی کششی  $V_u$  به اتصال و به محض وقوع لغزش، بدنه پیچ‌ها با جداره سوراخ تماس پیدا کرده و نیروهای لهیدگی بین ورق و پیچ (با نماد  $R_{ubr}$ ) به وجود می‌آید. مقدار نیروی لهیدگی از تقسیم نیروی کششی به تعداد پیچ‌های اتصال محاسبه می‌شود ( $R_{ubr} = \frac{V_u}{n_b}$ ). در شکل فوق سهم هر پیچ برابر  $\frac{V_u}{6}$  می‌شود. مطابق شکل زیر، نیروی لهیدگی به صورت بار گسترده، در سطح تماس میان پیچ و ورق اعمال می‌شود. نیروی لهیدگی می‌تواند باعث ایجاد لهیدگی بدنه پیچ و یا جداره ورق شود.



شکل ۱۰-۲۱ نیروی برشی و نیروی لهیدگی

<sup>3</sup> Tearout strength

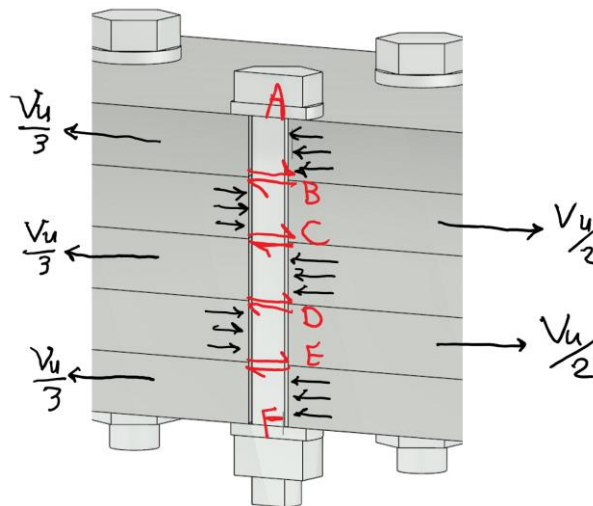
<sup>1</sup> Shear strength

<sup>2</sup> Bearing strength

نیروهای لهدیگی در سطح مرزی میان ورق‌ها که **سطح برش** نام دارد، در مقطع پیچ ایجاد برش می‌نمایند که **نیروی برشی پیچ** نام دارد (با نماد  $R_{uv}$ ). نیروی برشی با در نظر گرفتن تعادل نیروهای وارد بر پیچ در ناحیه بین سطوح برش، قابل محاسبه است. نیروی برشی پیچ که در شکل بالا با بردار قرمز رنگ نمایش داده شده‌اند، برای نیمی از طول پیچ بدین صورت محاسبه می‌شود:

$$\sum f_x = 0 \rightarrow R_{uv} = R_{ubr} = \frac{V_u}{6}$$

چنانچه بیش از یک ورق در یک سمت اتصال به کار رفته باشد، سهم هر ورق سمت باتوجه به تعداد و ضخامت ورق‌های همان سمت محاسبه می‌شود. در حالت کلی، هر ورق به نسبت سطح مقطع خود از نیرو سهم می‌برد. در اتصالات متداول که معمولاً عرض ورق‌ها یکسان است، سهم هر ورق به نسبت ضخامت آن محاسبه می‌شود. در صورت آنکه ضخامت ورق‌ها یکسان باشد، سهم ورق‌ها یکسان بوده و نیرو به تعداد ورق‌ها تقسیم می‌شود. به‌عنوان مثال در شکل زیر سه ورق (با عرض و ضخامت یکسان) در سمت چپ اتصال وجود دارند که سهم هر یک برابر  $\frac{V_u}{3}$  می‌باشد. به‌صورت مشابه برای دو ورق سمت راست اتصال، سهم هر ورق برابر  $\frac{V_u}{2}$  می‌گردد.



شکل ۱۰-۲۲ توزیع متفاوت نیروی برشی و نیروی لهدیگی

باتوجه به وجود  $n_B = 6$  پیچ در اتصال شکل بالا، نیروی لهدیگی پیچ‌های اتصال در جداره مماس با ورق‌های سمت چپ برابر

$R_{ubr} = \frac{V_u}{n_b}$  و در جداره مماس با ورق‌های سمت راست برابر  $R_{ubr} = \frac{V_u}{2}$  می‌گردد. نیروی برشی پیچ در هر سطح برش، مطابق

شکل ۱۰-۲۲ (بردار قرمز رنگ) باتوجه به تعادل نیروها در میان دو سطح A,B و دو سطح B,C بدین صورت محاسبه می‌گردد (به دلیل تقارن  $V_D = V_C, V_E = V_B$ ).

$$\sum_A^B f = 0 \rightarrow R_{uv}|_B = R_{ubr}|_{AB} = \frac{V_u}{3 \times 6} = \frac{V_u}{18}$$

$$\sum_B^C f = 0 \rightarrow R_{uv}|_C = R_{ubr}|_{BC} - R_{uv}|_B = \frac{V_u}{12} - \frac{V_u}{18} = \frac{V_u}{36}$$

بیشترین نیروی لهدیگی در سمتی ایجاد می‌شود که مجموع ضخامت ورق‌های آن از سمت مقابل کمتر باشد (با عرض یکسان).

نیروهای لهدیگی پیچ‌ها، باتوجه به توزیع نیروها قابل محاسبه هستند. البته جمع نیروهای لهدیگی هر پیچ برابر  $\frac{V_u}{n_b}$  است.

$$R_{ubr} = \frac{V_u}{n_b}$$

بیشترین نیروی برشی پیچ، معمولاً در سطح برش اول ایجاد می‌شود که در این صورت مقدار آن با نیروی لهیدگی ورق خارجی برابر خواهد بود. با فرض وجود تعداد  $n_p$  ورق اتصال، مقاومت برشی موردنیاز پیچ از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$R_{uv} = \frac{V_u}{n_p \cdot n_b}$$

نیروی لهیدگی وارد شده به جداره ورق، می‌تواند ورق را در بحرانی‌ترین مسیر برش، دچار گسیختگی برشی نماید. از این رو مقدار نیروی گسیختگی برشی ( $R_{utr}$ ) برابر نیروی لهیدگی ( $R_{ubr}$ ) است.

$$R_{utr} = R_{ubr} = \frac{V_u}{n_b}$$

توجه:

در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، کمترین مقدار مقاومت لهیدگی جداره ورق در تماس با پیچ و مقاومت گسیختگی برشی ورق در مسیر بحرانی برش، با عبارت **مقاومت اتکایی ورق** نام‌برده شده و رابطه ارائه شده، برابر حداقل روابط مربوط به مقاومت لهیدگی و گسیختگی برشی است که برای استفاده از آن، لازم است نیروی لهیدگی هر ورق (و نه مجموع ضخامت‌ها) مورد استفاده قرار گیرد. همچنین لازم است مقاومت اتکایی ورق (مقاومت لهیدگی و مقاومت گسیختگی برشی) برای هر دو نوع اتصال اتکایی و اتصال اصطکاکی بررسی شود.<sup>۱</sup>

### ۱۰-۶-۳ مقاومت برشی پیچ ( $R_{nv}$ )

نیروی مقاومت برشی طراحی پیچ  $\phi R_{nv}$  که پیچ در سطح خود ( $A_b$ ) تحت برش خالص قرار می‌گیرد، برای پیچ‌ها و قطعات دندان‌دار شده از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$\phi R_{nv} = \phi f_{nv} A_b$$

برای تعیین مقاومت اسمی تنش برشی ( $f_{nv}$ ) لازم است به موقعیت صفحه برش پیچ نسبت به ناحیه رزوه شده توجه شود. مقاومت اسمی تنش برشی پیچ‌ها و قطعات دندان‌دار شده، در آیین‌نامه‌ها به صورت جدول ارائه می‌شوند. مقادیر منتخب مقاومت اسمی مورد استفاده برای طراحی اتصالات پیچی، از رابطه زیر نیز قابل محاسبه است که در آن نماد ( $N$ ) بیانگر حضور رزوه در صفحه برش و نماد ( $X$ ) بیانگر وجود رزوه خارج از صفحه برش است.

$$f_{nv} = \begin{cases} 0.45 f_{ub} & (N) \\ 0.55 f_{ub} & (X) \end{cases}$$

کنترل نیروی مقاومت برشی پیچ توسط روابط زیر انجام می‌شود.

$$R_{uv} \leq \phi R_{nv}$$

$$\phi = 0.75$$

$$R_{uv} = \frac{V_u}{n_p \cdot n_b}$$

$$R_{nv} = f_{nv} A_b = (0.45 | 0.55) f_{ub} A_b$$

اثر توأم نیروهای کششی و برشی، مقاومت برشی پیچ را کاهش می‌دهد که در بخش‌های بعدی به آن پرداخته می‌شود.

<sup>۱</sup> مبحث دهم بند ۱۰-۲-۹-۷

#### ۴-۶-۱۰ مقاومت لهیدگی ورق ( $R_{nbr}$ )<sup>۱</sup>

نیروی لهیدگی در سطح اتکای پیچ و ورق اثر می‌کند و لذا به قطر پیچ ( $d_b$ ) و ضخامت ورق ( $\Sigma t_p$ ) و تنش نهایی پیچ و ورق وابسته است. از آنجاکه همیشه فولاد مورد استفاده در اتصالات، دارای مقاومت بیشتری نسبت به فولاد ورق است، لهیدگی ورق و لذا تنش نهایی ورق ( $f_{up}$ ) تعیین کننده مقاومت لهیدگی خواهد بود. نیروی مقاومت لهیدگی ( $R_{nbr}$ ) باتوجه به هندسه سوراخ پیچ و جهت بارگذاری، در حالت‌های زیر تعریف می‌شود<sup>۲</sup>:

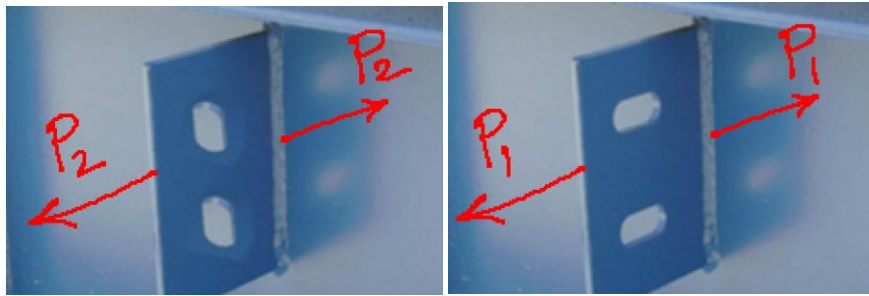
الف) سوراخ استاندارد، سوراخ بزرگ شده و سوراخ لوبیایی بلند در امتداد نیرو (یعنی در حالتی که نیرو در امتداد طول سوراخ لوبیایی باشد):

$$R_{nbr} = 2.4d_b\Sigma t_p f_{up}$$

ب) سوراخ لوبیایی بلند در امتداد عمود بر نیرو (یعنی در حالتی که شکاف عمود بر امتداد نیرو باشد):

$$R_{nbr} = 2.0d_b\Sigma t_p f_{up}$$

در شکل سمت راست سوراخ لوبیایی در امتداد نیروی  $P_1$  است. در شکل سمت چپ سوراخ لوبیایی در امتداد عمود بر نیروی  $P_2$  است.



شکل ۱۰-۲۳ امتداد نیرو و امتداد عمود بر نیرو در سوراخ‌های لوبیایی

لازم است مقاومت لهیدگی ورق‌های اتصال در هر دو سمت، پاسخگوی نیاز اتصال باشند. از آنجاکه جمع نیروهای لهیدگی هر پیچ در هر سمت برابر  $\frac{P_u}{n_b}$  است، سمتی که دارای مجموع ضخامت ورق‌های کمتری باشد، دارای مقاومت لهیدگی کمتری بوده و تعیین کننده است. چنانچه در روابط فوق مقدار ضخامت مقاوم در برابر لهیدگی، برابر مجموع ضخامت ورق‌های یک سمت ( $\Sigma t_p$ ) منظور شود، کنترل مقاومت لهیدگی از روابط زیر قابل انجام است:

$$R_{ubr} \leq \phi R_{nbr}$$

$$\phi = 0.75$$

$$R_{ubr} = \frac{V_u}{n_b}$$

$$R_{nbr} = (2.4 | 2.0)d_b(\Sigma t_p)f_{up}$$

<sup>۲</sup> در AISC حالت دیگری نیز با توجه به تغییر شکل عضو تعریف شده است.

<sup>۱</sup> bearing

در هر سمت اتصال، مجموع ضخامت ورق‌های همان سمت، در مقاومت سهیم هستند. لذا سمتی که مجموع ضخامت ورق‌های آن کمتر است، سمت بحرانی بوده و در محاسبات، با عبارت  $(\Sigma t_p)$  نمایش داده می‌شود. تعداد ورق‌های سمت بحرانی با نماد  $n_p$  نمایش داده می‌شود.

به‌عنوان مثال در اتصال شکل زیر، در سمت چپ دو ورق با ضخامت ۱۰ میلی‌متر و در سمت راست، یک ورق با ضخامت ۱۶ میلی‌متر نشان داده شده است. در این وضعیت مجموع ضخامت ورق‌های چپ برابر ۲۰ میلی‌متر است که از ضخامت ورق سمت راست بیشتر است لذا  $\Sigma t_p = 16mm$  خواهد بود. در سمت بحرانی یک ورق موجود است لذا  $n_p = 1$  می‌باشد.

$$\Sigma t_p|_{right} = 16mm$$

$$\Sigma t_p|_{left} = 10 + 10 = 20mm$$

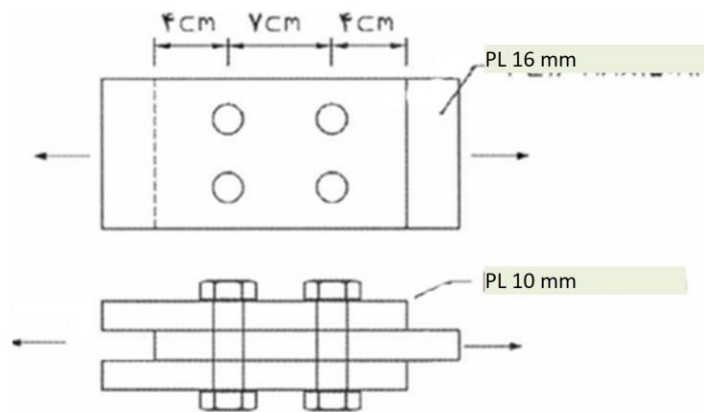
$$\Sigma t_p = \min(\Sigma t_p|_{right}, \Sigma t_p|_{left}) = 16mm \text{ \& } n_p = 1$$

چنانچه ضخامت ورق سمت راست از ۱۶ به ۲۵ میلی‌متر تغییر کند، در این حالت  $\Sigma t_p = 20mm$  خواهد بود. در سمت بحرانی دو ورق موجود است لذا  $n_p = 2$  می‌باشد.

$$\Sigma t_p|_{right} = 25mm$$

$$\Sigma t_p|_{left} = 10 + 10 = 20mm$$

$$\Sigma t_p = \min(\Sigma t_p|_{right}, \Sigma t_p|_{left}) = 20mm \text{ \& } n_p = 2$$



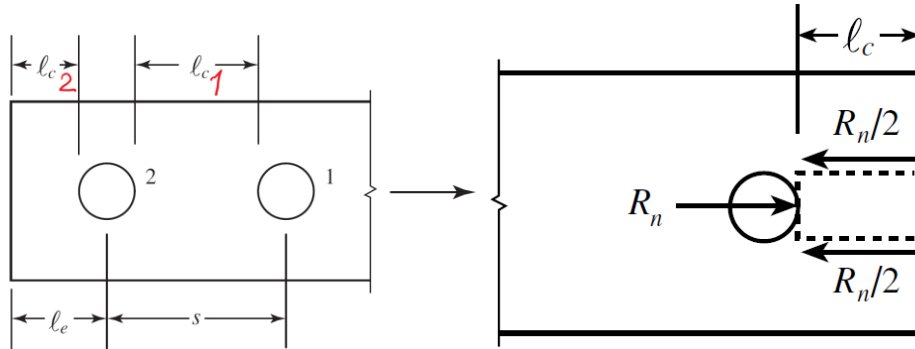
شکل ۱۰-۲۴ مجموع ضخامت ورق‌های اتصال

#### ۱۰-۶-۵ مقاومت گسیختگی برشی عضو $(R_{ntr})^1$

در اثر اعمال نیروی خارجی ممکن است که انتهای عضو (ورق یا نبشی یا مقاطع دیگر) در اثر برش، گسیخته شود. اگر فاصله سوراخ کناری تا لبه ورق و فاصله سوراخ‌ها در امتداد خط نیرو از یکدیگر کم باشد، مقاومت برشی ورق در آن ناحیه به مقدار کافی نبوده و ورق در مسیر فوق، بریده و پاره می‌شود. به همین منظور حداقل فواصل سوراخ‌ها از یکدیگر، حداقل فاصله سوراخ‌ها تا لبه و حداکثر فاصله مرکز سوراخ تا لبه دارای محدودیت است. با رعایت این محدودیتها، مقاومت گسیختگی برشی ورق بیشتر از مقاومت لهیدگی آن شده و پارگی ورق قبل از لهیدگی جداره سوراخ، صورت نمی‌گیرد. چنانچه طول مسیر بحرانی برش در راستای نیرو برابر با  $L_c$  باشد،

<sup>1</sup> Tear-out

مقدار آن برای سوراخ‌های میانی برابر فاصله خالص بین لبه دو سوراخ مجاور و در سوراخ کناری، برابر فاصله خالص لبه سوراخ تا لبه آزاد ورق تعریف می‌شود. در شکل ۱۰-۲۵ مقدار  $L_{c1}$  برای کنترل سوراخ‌های میانی و مقدار  $L_{c2}$  برای کنترل سوراخ‌های کناری مشخص شده است.



شکل ۱۰-۲۵ مسیرهای بحرانی کنترل گسیختگی برشی [x]

با فرض فاصله سوراخ‌ها از یکدیگر ( $S$ ) و تا لبه عضو ( $L_e$ ) فواصل فوق از روابط زیر قابل محاسبه هستند که در آنها  $d_{h1}$  و  $d_{h2}$  قطر سوراخ‌های واقع بر مسیر بحرانی هستند. لازم به ذکر است در این روابط از قطر واقعی سوراخ استفاده می‌شود که با قطر محاسباتی سوراخ، تفاوت دارد.

$$L_{c1} = S - \left( \frac{d_{h1}}{2} + \frac{d_{h2}}{2} \right)$$

$$L_{c2} = L_e - \frac{d_{h2}}{2}$$

$$L_c = \min(L_{c1}, L_{c2})$$

مقاومت گسیختگی برشی ورق که به طول مسیر بحرانی برش ( $L_c$ ) و ضخامت ورق ( $\Sigma t_p$ ) و تنش نهایی ورق ( $f_{up}$ ) وابسته است، باتوجه به هندسه سوراخ پیچ و جهت بارگذاری، در حالت‌های زیر تعریف می‌شود<sup>۱</sup>:

الف) سوراخ استاندارد، سوراخ بزرگ شده و سوراخ لوبیایی بلند در امتداد نیرو (یعنی در حالتی که نیرو در امتداد طول سوراخ لوبیایی باشد):

$$R_{ntr} = 1.2L_c\Sigma t_p f_{up}$$

ب) سوراخ لوبیایی بلند در امتداد عمود بر نیرو (یعنی در حالتی که شکاف عمود بر امتداد نیرو باشد):

$$R_{ntr} = 1.0L_c\Sigma t_p f_{up}$$

مقاومت گسیختگی برشی ورق به ضخامت آن وابسته بوده و در صورت وجود ورق‌های با ضخامت‌های مختلف در یک سمت اتصال، لازم است توزیع نیروی گسیختگی و مقاومت گسیختگی ورق‌ها باتوجه به ضخامت آنها محاسبه شود. چنانچه در روابط فوق مجموع ضخامت ورق‌ها ( $\Sigma t_p$ ) منظور شود، کنترل مقاومت گسیختگی برشی ورق‌ها (در یک سمت اتصال) از روابط زیر قابل انجام است:

$$R_{utr} \leq \phi R_{ntr}$$

$$\phi = 0.75$$

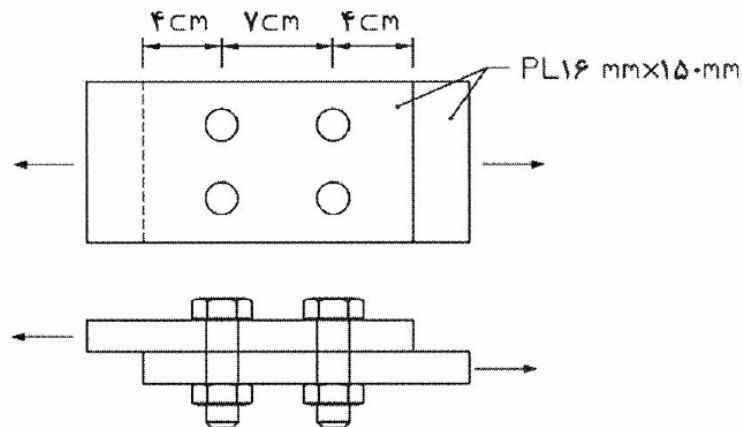
<sup>۱</sup> ضوابط AISC 360(16)-D5 دارای جزئیات متفاوتی است.

$$R_{utr} = \frac{V_u}{n_b}$$

$$R_{ntr} = (1.2 | 1.0)L_c(\Sigma t_p)f_{up}$$

## مثال ۱۰-۱

در اتصال اتکایی شکل ۱۰-۲۶ پیچ‌ها M22 و از نوع پر مقاومت A325N هستند. سوراخ‌ها از نوع استاندارد بوده و ایجاد خوردگی در محیط، به صورت شدید است. مقاومت اتصال را در برابر نیروی کششی نهایی  $P_u = 40\text{ton}$  کنترل نمایید.



شکل ۱۰-۲۶ نمایش اتصال اتکایی مثال ۱۰-۱

## حل:

در این مثال، کلیه مشخصات اتصال توسط مسئله داده شده و لازم است کنترل‌های مقاومت کششی اتصال اتکایی بر اساس بندهای زیر انجام شود:

- الف) مقاومت کششی ورق‌های اتصال (گام ۱)
- ب) مقاومت برشی پیچ‌های اتصال (گام ۲)
- ج) مقاومت لهیدگی ورق (گام ۳)
- د) مقاومت گسیختگی برشی ورق (گام ۴)
- ه) کنترل فاصله سوراخ‌ها (گام ۵)

عبارت A325N بیانگر آن است که سطح برش از قسمت دندان‌ده شده می‌گذرد.

## گام ۱- مقاومت کششی ورق‌ها

قطر سوراخ استاندارد برای پیچ M22 طبق جدول ۱۰-۵ برابر با  $d_h = 24\text{mm}$  است. قطر سوراخ در محاسبات، با فرض سوراخ‌کاری با روش پانچ، ۲ میلی‌متر بیشتر از قطر اسمی سوراخ است.

$$M22 \rightarrow d_b = 22\text{mm} \rightarrow d_h = 24\text{mm} \rightarrow D = 24 + 2 = 26\text{mm} = 2.6\text{cm}$$

از آنجا که ورق‌های چپ و راست اتصال، یکسان هستند، سطح مقطع ناخالص یک سمت محاسبه می‌شود.

$$A_g = A_n = 15_{cm} * 1.6_{cm} = 24_{cm^2}$$

در مسیر بحرانی گسیختگی ۲ عدد پیچ ( $n_b = 2$ ) وجود دارد.

$$n_b = 2$$

$$A_n = A_g - n_b D_t$$

$$A_n = 24_{cm^2} - 2(2.6_{cm})(1.6_{cm}) = 15.7_{cm^2}$$

$$A_e = A_n = 15.7_{cm^2}$$

مقاومت تسلیم

$$\phi P_n = \phi f_y A_g = (0.9) \left( 2.4 \frac{ton}{cm^2} \right) (24_{cm^2}) = 51.8_{ton}$$

مقاومت گسیختگی

$$\phi P_n = \phi f_u A_e = (0.75) \left( 3.7 \frac{ton}{cm^2} \right) (15.7_{cm^2}) = 43.6_{ton}$$

مقاومت گسیختگی کنترل کننده است.

$$\phi P_n = 40_{ton} \leq \min(\phi P_n) = 43.6_{ton} \rightarrow O.K.$$

### گام ۲ - مقاومت برشی پیچ

در این اتصال، نیروی کششی وارد به ورق‌های اتصال ( $P_u$ ) با نیروی برشی پیچ‌های اتصال ( $V_u$ ) برابر است. توجه شود که پیچ‌ها تحت اثر تنش خالص برشی قرار گرفته‌اند.

$$\phi R_{nv} \leq \phi R_{nv}$$

در اتصال ۴ عدد پیچ ( $n_b = 4$ ) و در هر سمت یک ورق ( $n_p = 1$ ) وجود دارد.

$$\phi P_n = 40_{ton}$$

$$n_b = 4$$

$$\phi R_{nv} = \frac{\phi P_n}{n_b} = \frac{40_{ton}}{(1)(4)} = 10_{ton}$$

$$M22 \rightarrow A_b = \frac{\pi d_b^2}{4} = \frac{\pi (2.2_{cm})^2}{4} = 3.80_{cm^2}$$

$$\phi 325 \& \phi 27 \leq 24_{cm} \rightarrow \phi R_{nv} = 8 \frac{ton}{cm^2}$$

$$A325N \rightarrow f_{nv} = 0.45 \phi R_{nv} = (0.45) \left( 8.0 \frac{ton}{cm^2} \right) = 3.6 \frac{ton}{cm^2}$$

$$\phi R_{nv} = \phi f_{nv} A_b = (0.75) \left( 3.6 \frac{ton}{cm^2} \right) (3.8_{cm^2}) = 10.26_{ton}$$

$$\phi R_{nv} = 10_{ton} \leq \phi R_{nv} = 10.26_{ton} \rightarrow O.K.$$

### گام ۳ - مقاومت لهدگی

$$R_{ubr} \leq \phi R_{nb}$$

$$\phi R_{nb} = \frac{\phi P_n}{n_b} = \frac{40_{ton}}{4} = 10_{ton}$$

در هر سمت اتصال یک ورق وجود دارد لذا  $\Sigma A_b$  با ضخامت هر یک از ورق‌های چپ و راست برابر است.



$$\Sigma t_p|_{right} = 16mm$$

$$\Sigma t_p|_{left} = 16mm$$

$$\Sigma t_p = \min(\Sigma t_p|_{right}, \Sigma t_p|_{left}) = 16mm$$

$$R_{nbr} = 2.4 d_b \Sigma t_p f_{up}$$

$$R_{nbr} = (2.4)(2.2cm)(1.6cm) \left( 3.7 \frac{ton}{cm^2} \right) = 31.25_{ton}$$

$$\phi R_{nbr} = 10_{\phi R_{nbr}} \leq \phi R_{nbr} = (0.75)(31.25_{ton}) = 23.4_{ton} \rightarrow O.K.$$

گام ۴ - مقاومت گسیختگی برشی ورق

$$R_{utr} \leq \phi R_{ntr}$$

$$\phi R_{ntr} = \frac{\phi F_u A_n}{4} = 10_{\phi R_{ntr}}$$

$$L_{c1} = 7cm - 2 \left( \frac{2.4cm}{2} \right) = 4.6cm$$

$$L_{c2} = 4cm - \frac{2.4cm}{2} = 2.8cm$$

$$L_c = \min(L_{c1}, L_{c2}) = 2.8cm$$

$$\Sigma t_p|_{right} = 16mm$$

$$\Sigma t_p|_{left} = 16mm$$

$$\Sigma t_p = \min(\Sigma t_p|_{right}, \Sigma t_p|_{left}) = 16mm \text{ \& } n_p = 1$$

$$R_{ntr} = 1.2 L_c \Sigma t_p f_{up}$$

$$R_{ntr} = (1.2)(2.8cm)(1.6cm) \left( 3.7 \frac{ton}{cm^2} \right) = 19.9_{ton}$$

$$\phi R_{ntr} = 10_{\phi R_{ntr}} \leq \phi R_{ntr} = (0.75)(19.9_{ton}) = 14.9_{ton} \rightarrow O.K.$$

گام ۵ - فاصله سوراخ‌ها

شرایط خوردگی شدید و برش لبه با شعله اتوماتیک

$$3d_b \leq S \leq \min(14d_b, 20d_b)$$

$$3d_b = 3(2.2cm) = 6.6cm \leq S = 7cm \leq \min(14 \times 1.6cm, 20cm) = 20cm \rightarrow O.K.$$

کنترل فاصله سوراخ‌ها از لبه ورق در امتداد نیرو ( $L_e$ )

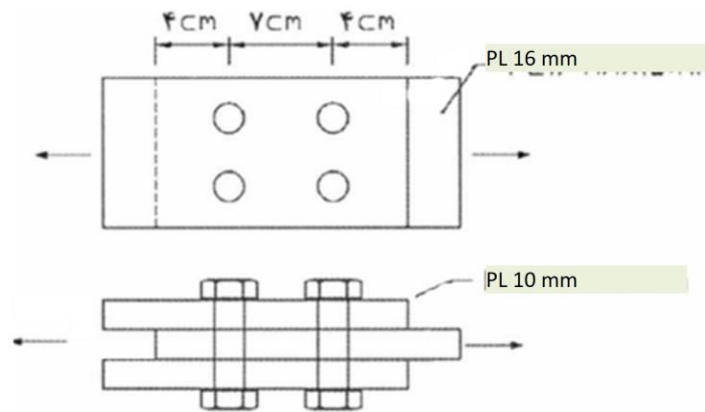
$$1.75d_b \leq L_e \leq \min(8d_b, 12.5d_b)$$

$$1.75d_b = 1.75(2.2cm) = 3.85cm \leq L_e = 4cm \leq \min(8 \times 1.6cm, 12.5cm) = 12.5cm \rightarrow O.K.$$

فاصله سوراخ از یکدیگر و از لبه عضو مناسب می‌باشد.

## مثال ۲-۱۰

مقاومت کششی طراحی اتصال اتکایی شکل زیر را به دست آورید. پیچ‌ها M22 و از نوع پرمقاومت A325X هستند. سوراخ‌ها از نوع استاندارد بوده و ایجاد خوردگی در محیط، به صورت کم است. ضخامت ورق میانی ۱۶ و ورق‌های بالا و پایین ۱۰ میلی‌متر است.



## حل:

مشخصات این مثال به اتصال مثال ۱-۱۰ شباهت دارد ولی در سمت چپ اتصال، دو ورق قرار گرفته است. بدین ترتیب تأثیر تعداد ورق‌ها در روند حل مسئله مورد توجه قرار می‌گیرد. همچنین خواسته این مثال، تعیین ظرفیت کششی اتصال ( $P_u$ ) است و با بار نهایی مورد بررسی در هر گام ( $R_u$ ) متفاوت است. عبارت A325X بیانگر آن است که سطح برش از قسمت دندان‌دار شده نمی‌گذرد.

## گام ۱- مقاومت کششی ورق

$$M22 \rightarrow d_b = 22_{mm} \rightarrow d_h = 24_{mm} \rightarrow D = 24 + 2 = 26_{mm} = 2.6_{cm}$$

$$\Sigma t_p|_{right} = 16_{mm}$$

$$\Sigma t_p|_{left} = 10 + 10 = 20_{mm}$$

$$\Sigma t_p = \min(\Sigma t_p|_{right}, \Sigma t_p|_{left}) = 16_{mm} \text{ \& } n_p = 1$$

$$A_g = A_n = 15_{cm} * 1.6_{cm} = 24_{cm^2}$$

$$A_n = A_g - n_{b1} D t_p = 24_{cm^2} - 2(2.6_{cm})(1.6_{cm}) = 15.7_{cm^2}$$

$$A_e = A_n = 15.7_{cm^2}$$

مقاومت تسلیم

$$\phi P_n = \phi f_y A_g = (0.9) \left( 2.4 \frac{ton}{cm^2} \right) (24_{cm^2}) = 51.8_{ton}$$

مقاومت گسیختگی

$$\phi P_n = \phi f_u A_e = (0.75) \left( 3.7 \frac{ton}{cm^2} \right) (15.7_{cm^2}) = 43.6_{ton}$$

مقاومت گسیختگی کنترل کننده است.

$$P_u \leq \phi P_n = 43.6 \text{ ton}$$

## گام ۲ - مقاومت برشی پیچ

در این اتصال، نیروی کششی وارد به ورق‌های اتصال با نیروی برشی پیچ‌های اتصال ( $V_u$ ) برابر است. توجه شود که پیچ‌ها تحت اثر تنش خالص برشی قرار گرفته‌اند.

$$M22 \rightarrow A_b = \frac{\pi d_b^2}{4} = \frac{\pi (2.2 \text{ cm})^2}{4} = 3.80 \text{ cm}^2$$

$$\phi 325 \& \phi \leq 24 \phi \rightarrow \phi_{\phi} = 8 \frac{\phi \phi \phi}{\phi \phi^2}$$

$$A325X \rightarrow f_{nv} = 0.55 \phi_{\phi} = (0.55) \left( 8.0 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} \right) = 4.4 \frac{\phi \phi \phi}{\phi \phi^2}$$

$$\phi R_{nv} = \phi f_{nv} A_b = (0.75) \left( 4.4 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} \right) (3.8 \text{ cm}^2) = 12.54 \text{ ton}$$

$$\phi_{\phi} = \frac{\phi \phi}{\phi \phi \phi} \leq \phi R_{nv} \rightarrow V_u \leq n_p n_b \phi R_{nv} = (1)(4)(12.54 \text{ ton}) = 50.16 \text{ ton}$$

## گام ۳ - مقاومت لهیدگی

از آنجا که ورق‌های چپ و راست اتصال، یکسان نیستند، کمترین مجموع ضخامت ورق‌ها مدنظر قرار می‌گیرد.

$$R_{nbr} = 2.4 d_b \Sigma t_p f_{up}$$

$$R_{nbr} = (2.4)(2.2 \text{ cm})(1.6 \text{ cm}) \left( 3.7 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} \right) = 31.25 \text{ ton}$$

$$\phi_{\phi \phi} = \frac{\phi \phi}{\phi \phi} \leq \phi R_{nbr} \rightarrow V_u \leq n_b \phi R_{nbr} = 4(0.75)(31.25 \text{ ton}) = 93.8 \text{ ton}$$

## گام ۴ - مقاومت گسیختگی برشی ورق

$$L_{c1} = 7 \text{ cm} - 2 \left( \frac{2.4 \text{ cm}}{2} \right) = 4.6 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - \frac{2.4 \text{ cm}}{2} = 2.8 \text{ cm}$$

$$L_c = \min(L_{c1}, L_{c2}) = 2.8 \text{ cm}$$

$$R_{ntr} = 1.2 L_c \Sigma t_p f_{uP} = 1.2(2.8 \text{ cm})(1.6 \text{ cm}) \left( 3.7 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} \right) = 19.9 \text{ ton}$$

$$\phi_{\phi \phi} = \frac{\phi \phi}{\phi \phi} \leq \phi R_{ntr} \rightarrow V_u \leq n_b \phi R_{ntr} = 4(0.75)(19.9) = 59.6 \text{ ton}$$

## گام ۵ - فاصله سوراخ‌ها

شرایط خوردگی کم و برش لبه با شعله اتوماتیک

$$3 \phi \leq \phi \leq \min(24 \phi, 30 \phi)$$

$$3 d_b = 3 * 2.2 = 6.6 \text{ cm} \leq S = 7 \text{ cm} \leq \min(24 * 1.6 \phi, 30 \phi) = 30 \text{ cm}$$

کنترل فاصله سوراخ‌ها از لبه ورق در امتداد نیرو ( $L_e$ )

$$1.75t_p \leq t_p \leq \min(12t_p, 15t_p)$$

$$1.75t_p = 1.75(2.2\text{cm}) = 3.85\text{cm} \leq t_p = 4t_p \leq \min(12 \times 1.6\text{cm}, 15\text{cm}) = 15\text{cm}$$

فاصله سوراخ از یکدیگر و از لبه عضو مناسب می‌باشد.

### گام ۶- ظرفیت اتصال

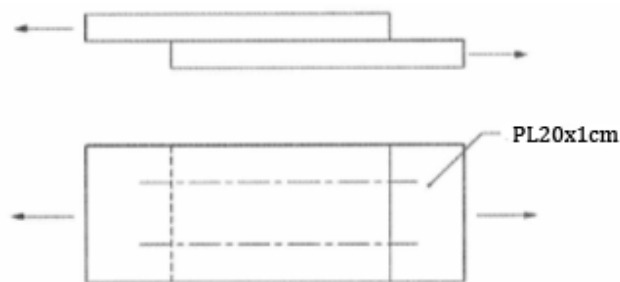
$$P_u \leq \min(43.6, 50.16, 93.76, 59.6) = 43.6\text{ton}$$

مقاومت گسیختگی ورق در ناحیه سوراخ شده، کنترل‌کننده ظرفیت کششی اتصال است.

توجه: چنانچه ضخامت ورق‌های کنار به‌جای ۱۰ میلیمتر برابر ۶ میلیمتر باشد، در حل مثال چه تغییری ایجاد می‌شود؟ (حل واگذار می‌شود).

### مثال ۳-۱۰

اتصال اتکایی شکل زیر مربوط به وصله کششی تسمه است. در این اتصال از دو ردیف پیچ استفاده شده که تعداد آنها مشخص نشده است. پیچ‌ها از نوع A325 و به قطر ۲۰ میلیمتر هستند. مطلوب است طراحی تعداد پیچ‌های لازم برای تأمین باربری اتصال. شرایط خوردگی کم و برش لبه با شعله اتوماتیک فرض می‌شود.



### حل:

در مسائل طراحی اتصال، معمولاً یکی از مشخصات اتصال مجهول بوده و مقادیر بقیه مشخصات، فرض می‌گردند. در این مثال، تعداد پیچ مجهول است و سایر مشخصات هندسی اتصال، داده شده است. از آنجاکه نیروی کششی اتصال داده نشده، تعداد پیچ به نحوی طرح می‌گردد که بیشترین ظرفیت اتصال تأمین شود. این ظرفیت از مقاومت کششی ورق (گام ۱) به دست می‌آید. فاصله سوراخ‌ها نیز با تعیین فواصل حداقل و حداکثر مجاز آنها، مطابق گام ۲ تعیین می‌شود.

چنانچه در داده‌های مسئله به برخی مشخصات اشاره نشود، بهتر است ضمن فرض منطقی و مهندسی، حالت بحرانی‌تر در نظر گرفته شود. در این مسئله موقعیت سطح دندانه‌دار پیچ مشخص نشده است؛ بنابراین سطح برش داخل قسمت دندانه‌دار (A325N) در نظر گرفته می‌شود.

### گام ۱- مقاومت کششی ورق

$$M20 \rightarrow d_b = 20\text{mm} \rightarrow d_h = 22\text{mm} \rightarrow D = 22 + 2 = 24\text{mm} = 2.4\text{cm}$$

$$A_g = 20 * 1.0 = 20 \text{ cm}^2$$

$$A_n = A_g - n D t_p = 20 \text{ cm}^2 - 2 * 2.4 * 1.0 = 15.2 \text{ cm}^2$$

$$A_e = A_n = 15.2 \text{ cm}^2$$

مقاومت تسلیم

$$\phi P_n = \phi f_y A_g = 0.9 * 2.4 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} * 20 \text{ cm}^2 = 43.2 \text{ ton}$$

مقاومت گسیختگی

$$\phi P_n = \phi f_u A_e = 0.75 * 3.7 * 15.2 = 42.18 \text{ ton}$$

مقاومت گسیختگی کنترل کننده است. نیروی کششی اتصال برابر مقاومت گسیختگی ورق تعیین می‌شود.

$$V_u = P_u = 42.18 \text{ ton}$$

## گام ۲- فاصله سوراخ‌ها

شرایط خوردگی کم و برش لبه با شعله اتوماتیک

$$3d_b \leq S \leq \min(24t_p, 30t_p)$$

$$3d_b = 3 * 2.0 = 6.0 \text{ cm} \leq S \leq \min(24 * 1.0, 30 * 1.0) = 24 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \text{use } S = 6 \text{ cm}$$

کنترل فاصله سوراخ‌ها از لبه ورق در امتداد نیرو ( $L_e$ )

$$1.75t_p \leq L_e \leq \min(12t_p, 15t_p)$$

$$1.75t_p = 1.75 * 2.0 \text{ cm} = 3.5 \text{ cm} \leq L_e = 4t_p \leq \min(12 * 1.0 \text{ cm}, 15 \text{ cm}) = 12 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \text{use } L_e = 5 \text{ cm}$$

## گام ۳- مقاومت برشی پیچ

توجه شود که پیچ‌ها تحت اثر تنش خالص برشی قرار گرفته‌اند.

$$M20 \rightarrow A_b = \frac{\pi d_b^2}{4} = \frac{\pi (2.0)^2}{4} = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$325 \leq f_u \leq 24t_p \rightarrow f_u = 8 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2}$$

$$A325N \rightarrow f_{nv} = 0.45 f_u = 0.45 * 8.0 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} = 3.6 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi R_{nv} = \phi f_{nv} A_b = 0.75 * 3.6 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} * 3.14 \text{ cm}^2 = 8.48 \text{ ton}$$

$$f_u \leq \phi R_{nv}$$

$$f_u = \frac{f_u}{f_u} = \frac{42.18 \text{ ton}}{1 * n_b} \leq \phi R_{nv} = 8.48 \text{ ton} \rightarrow n_b \geq 4.97$$

## گام ۴- مقاومت لهیدگی

$$R_{nbr} = 2.4 d_b t_p f_{up}$$

$$R_{nbr} = 2.4 * 2.0 \text{ cm} * 1.0 \text{ cm} * 3.7 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} = 17.76 \text{ ton}$$

$$\frac{P_{222}}{P_p} = \frac{P_p}{n_b} = \frac{42.18 \text{ ton}}{n_b} \leq R_{nbr} = 0.75 * 17.76 \text{ ton} = 13.32 \text{ ton} \rightarrow n_b \geq 3.17$$

گام ۵ - مقاومت گسیختگی برشی

$$L_{c1} = 6 - 2 \left( \frac{2.2 \text{ cm}}{2} \right) = 3.8 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = 5 - \frac{2.2 \text{ cm}}{2} = 3.8 \text{ cm}$$

$$L_c = \min(L_{c1}, L_{c2}) = 3.8 \text{ cm}$$

$$\Sigma t_p = \min(\Sigma t_p|_{right}, \Sigma t_p|_{left}) = 10 \text{ mm} \text{ \& } n_p = 1$$

$$R_{ntr} = 1.2 L_c \Sigma t_p f_{up} = 1.2 * 3.8 \text{ cm} * 1.6 \text{ cm} * 3.7 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} = 27.0 \text{ ton}$$

$$\frac{P_{222}}{P_p} = \frac{P_p}{n_b} = \frac{42.18 \text{ ton}}{n_b} \leq R_{ntr} = 0.75 * 27.0 = 20.24 \text{ ton} \rightarrow n_b \geq 2.1$$

گام ۶ - تعیین تعداد پیچ

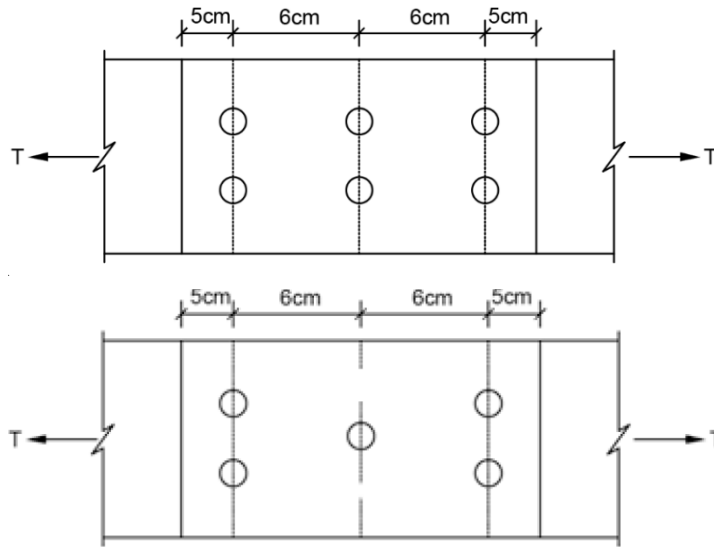
تعداد پیچ، عددی زوج است که پاسخگوی همه وضعیت‌های فوق باشد.

$$n_b \geq \max(4.97, 3.17, 2.1) = 4.97 \rightarrow n_b = 6$$

چنانچه استفاده از تعداد زوج پیچ مدنظر باشد، از ۶ عدد پیچ A325 استفاده می‌شود که در دو ردیف سه‌تایی قرار می‌گیرند. البته استفاده از تعداد ۵ پیچ با رعایت تقارن، به‌صورت شکل زیر نیز قابل‌استفاده است.

گام ۷ - نمایش آرایش پیچ‌ها

نحوه آرایش پیچ‌ها در شکل زیر نشان داده شده است.



## مثال ۱۰-۴

چنانچه قطر پیچ‌ها در مثال قبل مشخص نباشد، چه روشی برای تعیین قطر پیچ‌ها و طراحی اتصال پیشنهاد می‌گردد؟

(حل به عهده خواننده می‌باشد).

## مثال ۱۰-۵

اتصال اتکایی شکل زیر تحت نیروی برشی مایل قرار گرفته که باعث ایجاد مؤلفه‌های نیروی برشی در هر دو راستای

$x$  و  $y$  می‌گردد. مطلوب است تشریح روند حل مثال با هر یک از دو روش زیر:

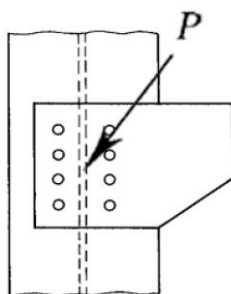
الف) محاسبه مستقیم نیروی مقاومت برشی در راستای اعمال بار ( $R_{uv}$ ) با توجه به زاویه اعمال بار از رابطه  $R_{uv} =$

$\frac{P_u}{\phi R_n}$  که در آن  $V_u$  در راستای اعمال بار در محاسبات منظور می‌گردد

ب) تبدیل بار برشی اعمال شده به دو مؤلفه در دو راستای اصلی ( $V_{ux}, V_{uy}$ ) و محاسبه نیروی مقاومت برشی ناشی

از هر یک از دو راستا ( $\phi R_n = \frac{P_u}{\phi R_n}$ ,  $\phi R_n = \frac{P_u}{\phi R_n}$ ). سپس نیروی مقاومت برشی کل اتصال از طریق رابطه  $R_{uv} =$

$\sqrt{R_{uvx}^2 + R_{uvy}^2}$  محاسبه شود.



حل:

حل این موضوع به خواننده واگذار می‌شود.

## ۱۰-۷ طراحی اتصال اصطکاکی تحت برش

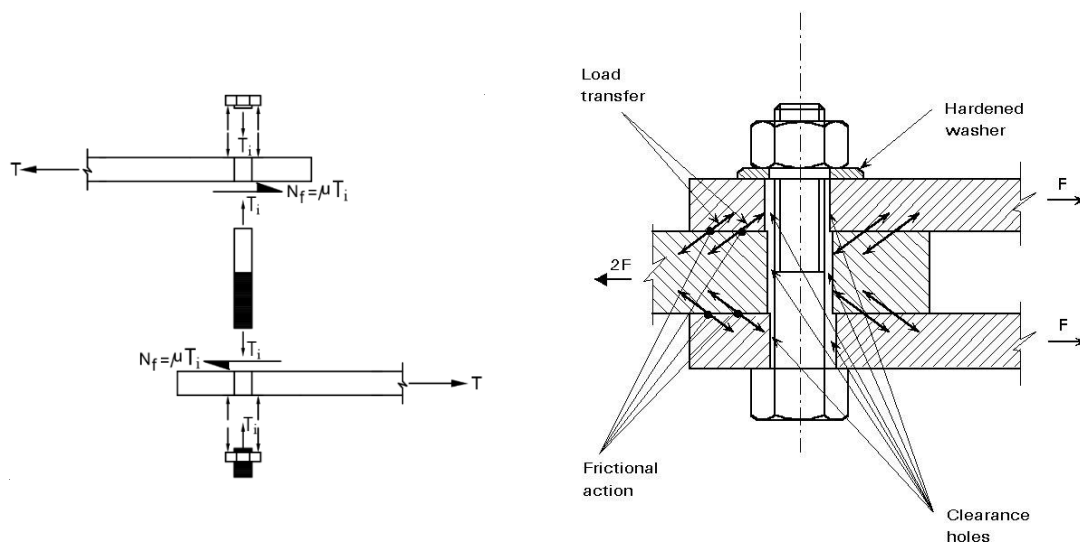


Figure 2 Load transmission in a shear connection through friction

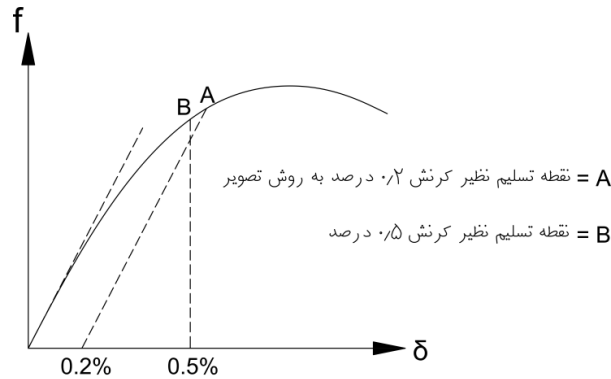
## شکل ۱۰-۲۷ نحوه انتقال بار در اتصال اصطکاکی

در این حالت چون  $N_f$  توانایی انتقال نیرو بین ورق‌های اتصال را دارد، تحت اثر بارهای سرویس بین بدنه پیچ و جداره، نیروی لهیدگی ایجاد نمی‌شود. با افزایش بار  $T$  نیروی اصطکاک  $N_f$  قادر به تحمل بارهای وارده نمی‌باشد و در نتیجه نیروهای مقاوم همان تنش‌های لهیدگی بین بدنه پیچ و جداره سوراخ و تنش برشی خواهد بود و در نهایت یکی از انواع گسیختگی‌های محتمل، رخ خواهد داد. باید در نظر داشت که شکل پیچ در اتصال اصطکاکی با شکل پیچ در اتصال اتکایی متفاوت است، به طوری که پیچ‌های اتصال اصطکاکی دارای سرپیچ بزرگ‌تر هستند.



### ۱۰-۷-۱ نیروی پیش‌تنیدگی در پیچ‌های پر مقاومت

منحنی تنش-کرنش پیچ‌های با مقاومت بالا طبق شکل ۱۰-۲۸ دارای پله خمیری نبوده و لذا در این پیچ‌ها به جای تنش تسلیم از بار قراردادی تسلیم استفاده می‌شود. بار قراردادی تسلیم مطابق شکل زیر، از حاصل ضرب تنش تسلیم (تنش نظیر کرنش ۰,۲ درصد) در سطح مقطع حاصل می‌شود که برای پیچ‌های A325 و A490 به ترتیب ۷۰ تا ۸۰ درصد حداقل مقاومت کششی نهایی آنها می‌باشد. نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، در محدوده بار قراردادی تسلیم تعریف می‌شود.



شکل ۱۰-۲۸ منحنی تنش-کرنش پیچ‌های با مقاومت بالا و نقطه نظیر تسلیم

چنانچه در بند ۲-۴-۱۰ اشاره شد، حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در پیچ‌ها ( $T_b$ ) برای پیچ با سطح مقطع  $A_b$  و تنش نهایی  $f_{ub}$  طبق رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$T_b = 0.55 f_{ub} A_b$$

نیروی پیش‌تنیدگی لازم  $T_b$  با توجه به نوع و قطر پیچ تعیین می‌شود که برای تأمین آن، پیچ با لنگر پیچشی معینی سفت می‌شود. مقدار لنگر پیچشی لازم به نوع پیچ، قطر پیچ و وضعیت روان‌سازی (روغن کاری و یا گریس کاری) پیچ بستگی داشته و برای پیچ‌های مختلف، در جدول ۱۰-۶ ارائه شده است.

جدول ۱۰-۶ نیروی پیش‌تنیدگی و لنگر پیچشی پیش‌تنیدگی برای پیچ‌های متداول و شرایط روان‌سازی مختلف

لنگر پیچشی لازم (KN.m) برای پیچ گریس کاری با MOS <sub>2</sub>		لنگر پیچشی لازم (KN.m) برای پیچ روغن کاری شده		حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی (T <sub>b</sub> ) (kN)		قطر اسمی پیچ (میلی‌متر)
پیچ A490 و پیچ 10.9	پیچ A325 و پیچ 8.8	پیچ A490 و پیچ 10.9	پیچ A325 و پیچ 8.8	پیچ A490 و پیچ 10.9	پیچ A325 و پیچ 8.8	
۰,۲۵	۰,۲	۰,۳۵	۰,۲۸	۱۱۴	۹۱	M16
۰,۴۵	۰,۳۶	۰,۶	۰,۴۸	۱۷۹	۱۴۲	M20
۰,۶۵	۰,۵۲	۰,۹	۰,۷۲	۲۲۱	۱۷۶	M22
۰,۸	۰,۶۴	۱,۱	۰,۸۸	۲۵۷	۲۰۵	M24
۱,۲۵	۱,۰	۱,۶۵	۱,۳۲	۳۳۴	۲۶۷	M27
۱,۶۵	۱,۳۲	۲,۲	۱,۷۶	۴۰۸	۳۲۶	M30
۲,۸	۲,۲۴	۳,۸	۳,۰۴	۵۹۵	۴۷۵	M36

برای سایر پیچ‌ها درون‌یابی با مساحت امکان‌پذیر است.

در اتصالات و وصله‌های اعضای سیستم باربر جانبی لرزه‌ای و نیز وصله ستون‌های غیر باربر جانبی لرزه‌ای، کلیه اتصالات باید از نوع اصطکاکی بوده و پیچ‌ها با حداقل بار پیش‌تنیدگی، پیش‌تنیده شوند<sup>۱</sup>.

## ۱۰-۷-۲ مقاومت برشی طراحی ( $R_{nv}$ ) در اتصالات اصطکاکی

نیروی مقاومت برشی اتصال در طراحی پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات اصطکاکی، بر اساس کنترل لغزش بحرانی برابر  $\phi R_{nv}$  می‌باشد که در آن ضریب کاهش مقاومت و  $R_{nv}$  نیروی مقاومت برشی اسمی سهم هر پیچ اتصال می‌باشد و سایر مقادیر، در جدول زیر تعیین شده‌اند.

$$\phi R_{nv} = \phi \mu D_u h_f T_b n_s$$

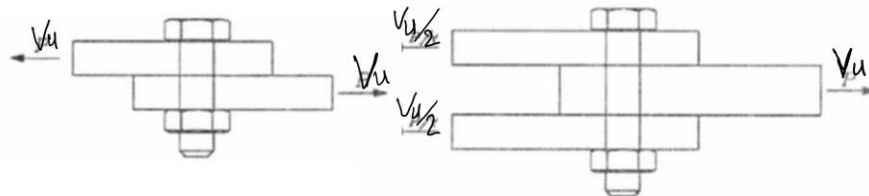
$T_b$	حداقل نیروی پیش‌تنیدگی پیچ
$n_s$	تعداد صفحات لغزش <sup>۲</sup> یا صفحات در تماس برای انتقال نیروی برش
$D_u$	نسبت پیش‌تنیدگی متوسط پیچ‌ها به پیش‌تنیدگی حداقل پیچ‌ها ( $D_u = 1.13$ )

جدول مقادیر رابطه مقاومت برشی اتصال اصطکاکی

شرح	مقدار	توضیحات
ضریب کاهش مقاومت ( $\phi$ )	$\phi=1$	سوراخ‌های استاندارد و سوراخ لوبیایی کوتاه در امتداد عمود بر راستای نیرو
	$\phi=0.85$	سوراخ‌های بزرگ شده و سوراخ لوبیایی کوتاه در امتداد موازی با راستای نیرو
	$\phi=0.7$	سوراخ‌های لوبیایی بلند
ضریب اصطکاک ( $\mu$ )	$\mu=0.3$	وضعیت سطحی کلاس A (سطح فلزدار تمیز و رنگ شده)
	$\mu=0.5$	وضعیت سطحی کلاس B (سطح تمیز شده با ماسه پاشی و رنگ نشده)
ضریب وجود ورق‌های پرکننده ( $h_f$ )	$h_f = 1$	عدم نیاز به ورق‌های پرکننده و یا استفاده فقط از یک ورق پرکننده
	$h_f = 0.85$	استفاده از دو یا تعداد بیشتری از ورق‌های پرکننده

تعداد صفحات لغزش ( $n_s$ ) بر اساس تعداد ورق‌های اتصال در هر طرف تعیین می‌گردد. در شکل ۱۰-۲۹ انتقال بار در اتصالات

پیچی به دو صورت اتصال یک برشه و دو برشه نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۰-۲۹ حالت‌های مختلف انتقال بار در اتصالات پیچی (الف - یک سطح برش؛ ب - دو سطح برش)

<sup>2</sup> Number of slip sections

<sup>۱</sup> میبخت دهم مقررات ملی ساختمان، بند ۱۰-۳-۳

در حالت اول فقط یک صفحه شکست برشی ( $n_s = 1$ ) یا یک نیروی برشی مقاوم پیچ برای نیروی وارده  $P$  وجود دارد. در حالت دوم، دو صفحه شکست برشی ( $n_s = 2$ ) وجود دارند و یک نیروی برشی مقاوم پیچ برای نیروی وارده  $\frac{P}{2}$  و برای کل نیروی  $P$ ، دو نیروی مقاوم برشی پیچ موجود است. بنابراین مقاومت برشی در حالت دوم دو برابر حالت اول است. مقاومت برشی اتصال اصطکاکی از طریق روابط زیر قابل کنترل است.

$$R_{uv} \leq \phi R_{nv}$$

$$\phi = (0.7 | 0.85 | 1.0)$$

$$R_{uv} = \frac{V_u}{n_b}$$

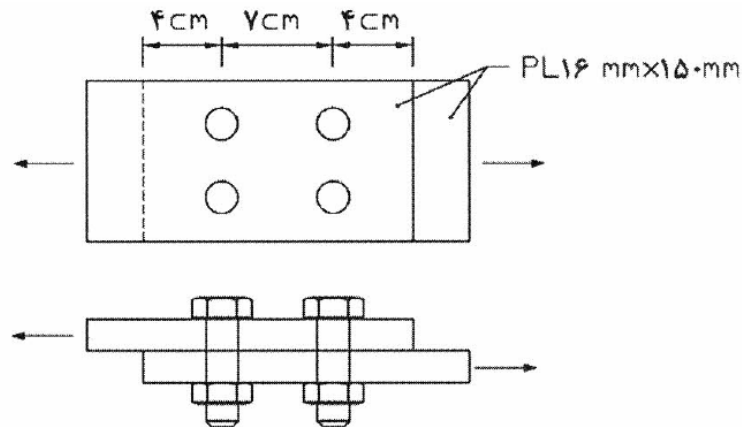
$$R_{nv} = \mu D_u h_f T_b n_s$$

$$T_b = 0.55 f_{ub} A_b$$

لازم به ذکر است در اتصالات اصطکاکی به دلیل آنکه لغزش مجاز نیست، بنابراین جداره سوراخ و پیچ در تماس قرار نگرفته و نیاز به کنترل‌های مرتبط با لهیدگی ( $R_{ubr} \leq \phi R_{nbr}$ ) و کنترل برش ورق ( $R_{utr} \leq \phi R_{ntr}$ ) نمی‌باشد. توجه شود که در اتصالات اتکایی، هر دو مورد فوق نیازمند کنترل هستند.

### مثال ۱۰-۶

اتصال اصطکاکی شکل زیر را در برابر نیروی کششی نهایی  $P_u = 40 \text{ ton}$  کنترل نمایید. پیچ‌ها M22 و از نوع پر مقاومت A325SC هستند. سوراخ‌ها از نوع استاندارد بوده و در اجرای اتصال از ورق پرکننده استفاده نشده است. اتصال از نوع فلس دار تمیز و رنگ شده هستند.



شکل ۱۰-۳ نمایش اتصال اتکایی مثال ۱۰-۱

حل:

این اتصال با فرض رفتار اتکایی در مثال ۱۰-۱ بررسی شده است. نیروی کششی ورق‌ها با نیروی برشی ایجاد شده در اتصال برابر هستند ( $V_u = P_u$ ).

$$M22 \rightarrow d_b = 22 \text{ mm} \rightarrow A_b = \frac{\pi d_b^2}{4} = 3.80 \text{ cm}^2, d_h = 24 \text{ mm}$$

$$R_{uv} \leq \phi R_{nv}$$

سوراخ استاندارد

$$\phi = 1.0$$

از ورق پرکننده استفاده نشده است.

$$h_f = 1$$

سطوح اتصال از نوع فلس‌دار تمیز و رنگ شده هستند.

$$= 0.3$$

تعداد سطوح برش

$$n_s = 1$$

نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها:

$$T_b = 0.55 f_{ub} A_b$$

$$A325 \text{ \& } d_b = 22\text{mm} \leq 24\text{mm} \rightarrow f_{ub} = 8 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2}$$

$$T_b = 0.55 * 8 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} * 3.80\text{cm}^2 = 16.72 \text{ ton}$$

$$R_{nv} = \mu D_u h_f T_b n_s = 0.3 * 1.13 * 1 * 16.72\text{ton} * 1 = 5.67\text{ton}$$

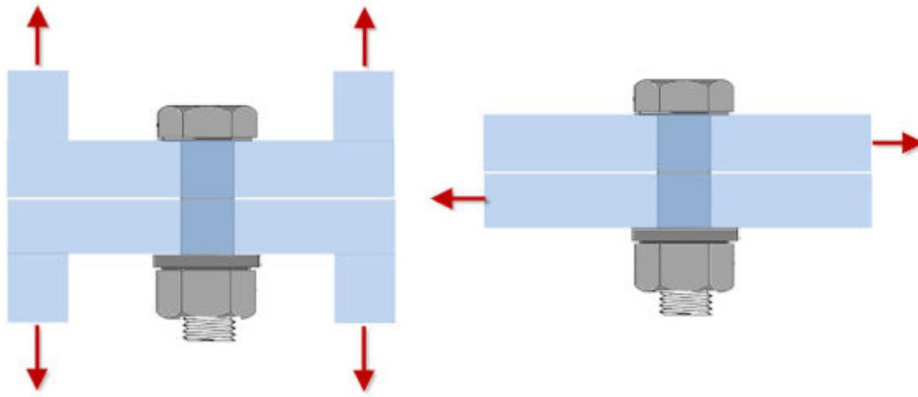
$$\phi R_{nv} = 1 * 5.67\text{ton} = 5.67\text{ton}$$

$$R_{uv} = \frac{V_u}{n_b} = \frac{40\text{ton}}{4} = 10\text{ton} \not\leq \phi R_{nv} = 5.67\text{ton} \rightarrow \text{NOT O.K.}$$

مشاهده می‌شود که باربری برشی این اتصال در مقایسه با وضعیت انکایی، کمتر است.

## ۸-۱۰ طراحی اتصالات پیچی تحت کشش

در این بخش رفتار اتصالات پیچ‌ومهره‌ای تحت تأثیر بارگذاری کششی خالص مورد بررسی قرار می‌گیرد. البته معمولاً اتصالات ساختمانی، تحت تأثیر هم‌زمان ترکیبی از بارهای کششی، برشی، لنگر خمشی و لنگر پیچشی یا ترکیبی قرار می‌گیرند که مقدار کشش ایجاد شده در هر جزء اتصال، مطابق بخش‌های بعدی قابل محاسبه است. شکل زیر بارگذاری برشی و کششی را در اتصال پیچی نشان می‌دهد.



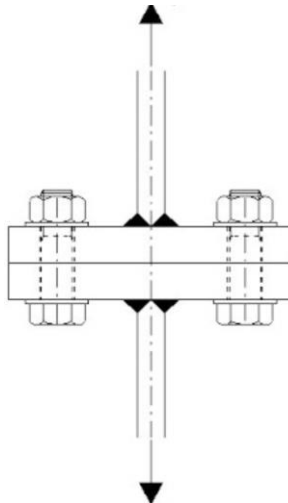
شکل ۱۰-۳۱ اتصال پیچی تحت اثر نیروی کششی و برشی

### ۱۰-۸-۱ اتصال اتکایی تحت کشش

چنانچه اتصال پیچی اتکایی تحت نیروی کششی  $T_u$  قرار گیرد، در مجموعه پیچ‌ها نیروی کششی ایجاد می‌شود. نیاز کششی یا نیروی نهایی کششی ناشی از بارگذاری در هر پیچ ( $R_{ut}$ ) با تقسیم نیروی کششی کل به تعداد پیچ‌ها محاسبه می‌شود.

$$R_{ut} = \frac{T_u}{n_b}$$

در شکل ۱۰-۳۲ نیروی کششی به مرکز ورق اتصال اعمال شده است و باعث ایجاد نیروهای کششی خالص، عمود بر مقطع پیچ‌ها می‌گردد. چنانچه سطح مقطع پیچ‌ها یکسان باشند، نیروی کششی ایجاد شده در همه پیچ‌ها یکسان است. لازم به ذکر است در بارگذاری لنگر خمشی، نیروی کششی ایجاد شده در پیچ‌ها متفاوت خواهد بود.



شکل ۱۰-۳۲ اتصال پیچی تحت اثر نیروی کششی

ظرفیت کششی یا نیروی مقاومت کششی پیچ تحت اثر نیروی خالص کششی ( $R_{nt}$ ) مطابق رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$R_{nt} = f_{nt} A_b$$

که در آن  $f_{nt}$  مقاومت تنش کششی اسمی پیچ بوده و مقدار آن توسط جدولی در آیین‌نامه‌ها تعیین می‌شود. این مقدار مطابق رابطه زیر بر حسب تنش نهایی مصالح پیچ ( $f_{ub}$ ) قابل محاسبه است.

$$f_{nt} = 0.75 f_{ub}$$

بدین ترتیب کنترل مقاومت کششی پیچ طبق روابط زیر قابل انجام است.

$$R_{ut} \leq \phi R_{nt}$$

$$R_{ut} = \frac{T_u}{n_b} \leq \phi R_{nt} = (\phi = 0.75)(R_{nt} = f_{nt} A_b = 0.75 f_{ub} A_b)$$

تأثیر کاهنده اثر توأم نیروهای کششی و برشی بر مقاومت اتصالات در بخش‌های بعدی بررسی می‌شود.

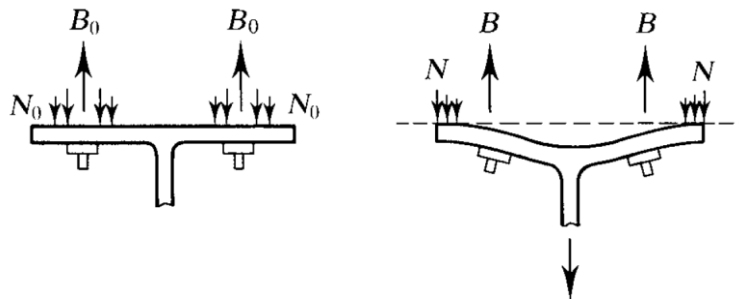
## ۱۰-۸-۲ اتصال اصطکاکی تحت کشش (مطالعه آزاد)

در اتصال اصطکاکی، پیچ‌ها دارای پیش‌تنیدگی اولیه هستند و از این‌رو، تحت کشش قرار دارند. این نیروها با نیروی فشاری میان صفحات اتصال در تعادل بوده و بدین ترتیب نیروی گسترده فشاری در زیر صفحه اتصال موجود است. با اعمال نیروی کششی به اتصال، از نیروی گسترده فشاری صفحه اتصال کاسته می‌شود ولی به دلیل عدم افزایش طول پیچ‌ها، نیروی کششی پیچ‌ها تغییری نمی‌کند. با افزایش بار کششی، نیروی گسترده کمتر می‌شود که منجر به کاهش نیروی اصطکاک میان صفحات می‌گردد. چنانچه بار کششی اتصال تا حدی افزایش یابد که نیروی فشاری میان صفحات و نیروی اصطکاک میان آنها از بین برود، اتصال کاربردی اصطکاکی خود را از دست می‌دهد. در این وضعیت، بار کششی اعمال شده به اتصال با نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها برابر است.

## ۱۰-۸-۳ اثر اهرمی<sup>۱</sup> در اتصالات پیچی تحت کشش (مطالعه آزاد)

در بیشتر اتصالات پیچی که در آنها پیچ دارای نیروی کششی می‌شود، تغییر شکل اتصال می‌تواند منجر به افزایش نیروی کششی پیچ شود. وضعیت نیروهای کششی و فشاری اجزاء اتصال، قبل و بعد از اعمال بار خارجی کششی به آن، در شکل ۱۰-۳۳ مشاهده می‌شود. قبل از اعمال بار کششی، نیروهای فشاری  $N_0$  میان صفحات وجود داشته که مرکز اثر آنها بر محور پیچ منطبق است. پس از اعمال بار کششی و تغییر شکل اتصال، نیروهای فشاری به سمت لبه‌های اتصال متمرکز می‌شوند که وضعیت اهرمی در اتصال ایجاد می‌شود. در این حالت رابطه میان نیروهای اتصال دچار تغییر شده و نیروی کششی پیچ افزایش می‌یابد. البته با افزایش سختی خمشی و صلبیت ورق اتصال، این اثر کم می‌شود.

<sup>1</sup> Prying Action

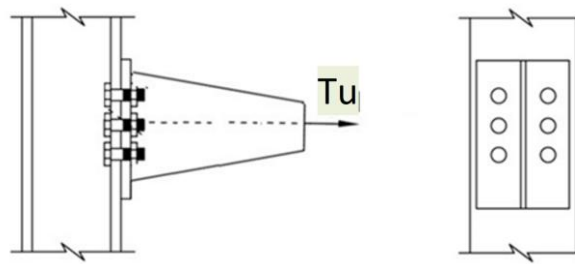


شکل ۱۰-۳۳ اثر اهرمی

در ادامه با حل مثالی، نحوه کنترل مقاومت کششی اتصال بیان می‌گردد.

## مثال ۱۰-۷

مقاومت کششی اتصال شکل زیر را که تحت کشش نهایی  $T_u = 150 \text{ ton}$  قرار گرفته، کنترل کنید. پیچ‌های مورد استفاده از نوع A490 به قطر ۱ اینچ (۲,۵۴ سانتیمتر) است.



الف اتصال تحت اثر کشش

ب) وضعیت پیچ‌های اتصال

حل:

توجه شود که پیچ‌ها تحت اثر تنش خالص کششی قرار گرفته‌اند. در این وضعیت مقاومت برشی پیچ‌ها مورد نظر نبوده و وجود رزوه پیچ در صفحه برش، در ظرفیت کششی اتصال اتکایی تأثیرگذار نیست. در اتصال اصطکاکی، مقاومت کششی اتصال مشابه اتصال اتکایی می‌باشد.

$$d_b = 2.54 \text{ cm} \rightarrow A_b = \frac{\pi(2.54)^2}{4} = 5.07 \text{ cm}^2$$

$$R_{ut} \leq \phi R_{nt}$$

$$\phi R_{nt} = \phi \frac{F_u A_b}{6} = \frac{150 \text{ ton}}{6} = 25 \text{ ton}$$

مقاومت کششی فولاد پیچ A490 برابر  $F_u = 10 \frac{\text{ksi}}{\text{in}^2}$  می‌باشد.

$$\phi_{490} \rightarrow \phi_{nt} = 10 \frac{\text{ksi}}{\text{in}^2}$$

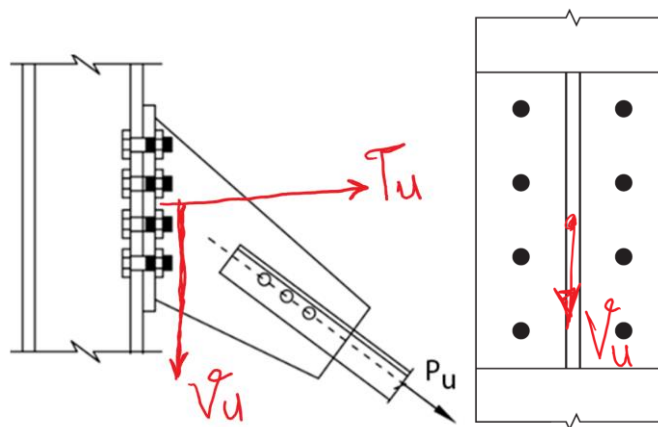
$$f_{nt} = 0.75 f_{ub} = 0.75 * 10.0 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} = 7.5 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2}$$

$$R_{nt} = f_{nt} A_b = 7.5 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} * 5.07 \text{cm}^2 = 38.0 \text{ ton}$$

$$R_{ut} = 25 \text{ ton} \leq \phi R_{nt} = 0.75 * 38.0 \text{ ton} = 28.5 \text{ ton} \rightarrow O.K.$$

## ۱۰-۹ اتصالات پیچی تحت اثر توأم کشش و برش

در اتصالات پیچی سازه‌های فولادی موارد متعددی وجود دارد که مجموعه پیچ‌ها تحت اثر هم زمان نیروی برشی و نیروی کششی قرار دارند. در شکل ۱۰-۳۴ امتداد نیروی نهایی  $P_u$  از مرکز ثقل پیچ‌ها می‌گذرد در نتیجه لنگری به مجموعه پیچ‌ها اعمال نمی‌شود. نیروی کششی نهایی اتصال ( $P_u$ ) دارای دو مؤلفه است. مؤلفه برشی نیرو ( $V_u$ ) باعث ایجاد برش در اتصال می‌شود که در شکل در راستای قائم قرار می‌گیرد. مؤلفه کششی نیرو ( $T_u$ ) باعث ایجاد کشش در اتصال می‌شود که در شکل، در راستای افقی قرار می‌گیرد.

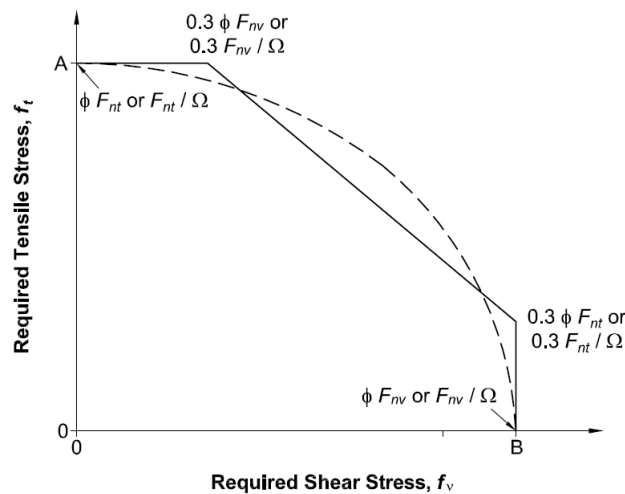


شکل ۱۰-۳۴ اتصال تحت اثر هم زمان برش و کشش

### ۱۰-۹-۱ مقاومت کششی ( $R'_{nt}$ ) و مقاومت برشی ( $R'_{nv}$ ) پیچ در اتصالات اتکایی با اثر اندرکنش

نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که مقاومت کششی و برشی پیچ تحت اثر بارگذاری توأم کششی و برشی، از نمودار زیر تبعیت می‌کند که بر حسب تنش برشی و تنش کششی پیچ ترسیم شده است.





شکل ۱۰-۳۵ اثر هم زمان برش و کشش

منحنی شکل فوق بخشی از بیضی است که با سه خط مستقیم قابل تقریب است. معادلات زیر بیان‌کننده منحنی و خط مایل شکل فوق می‌باشد.

$$\left(\frac{f_{ut}}{\phi f_{nt}}\right)^2 + \left(\frac{f_{uv}}{\phi f_{nv}}\right)^2 = 1 \rightarrow \left(\frac{f_{ut}}{\phi f_{nt}}\right) + \left(\frac{f_{uv}}{\phi f_{nv}}\right) = 1.3$$

محاسبه مقاومت اسمی برشی ( $f'_{nv}$ ) بر حسب نیاز کششی ( $f_{ut}$ ) با بازنویسی معادله فوق امکان‌پذیر است.

$$f'_{nv} = f_{nv} \left(1.3 - \frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}}\right)$$

با تعریف ضریب  $K_{bv}$  برای اثر اندرکنش نیروی کششی بر مقاومت برشی، روابط بر حسب مقاومت اسمی برشی خالص ( $R_{nv}$ ) و مقاومت اسمی برشی اصلاح شده ( $R'_{nv}$ ) بازنویسی شده و روابط زیر حاصل می‌شوند.

$$K_{bv} = 1.3 - \frac{f_{ut}}{\phi f_{nt}} \times \frac{A_b}{A_b} = 1.3 - \frac{R_{ut}}{\phi R_{nt}}$$

$$f'_{nv} = f_{nv} \left(1.3 - \frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}}\right) \leq 1 \rightarrow R'_{nv} = R_{nv} \left(1.3 - \frac{R_{ut}}{\phi R_{nt}}\right) = K_{bv} R_{nv}$$

برای آنکه مقاومت اصلاح شده از مقاومت اولیه بیشتر نشود، لازم است  $K_{bv} \leq 1$  باشد. از این رو در مواردی که نیروی کششی نهایی ( $R_{ut}$ ) کمتر از ۳۰٪ مقاومت کششی طراحی ( $\phi R_{nt}$ ) باشد، مقدار  $K_{bv} = 1$  شده و نیروی کششی اثر کاهنده بر مقاومت برشی ندارد.

به صورت مشابه در مواردی که نیروی برشی نهایی ( $R_{uv}$ ) کمتر از ۳۰٪ مقاومت برشی طراحی ( $\phi R_{nv}$ ) باشد، می‌توان اثر اندرکنش نیروی برشی را بر مقاومت کششی نادیده گرفت.

مقاومت طراحی پیچ تحت اثر ترکیب نیروی کششی و برشی در اتصالات اتکایی بر اساس حالت‌های حدی گسیختگی کششی و برشی مطابق روابط زیر تعیین می‌گردد.

$$\phi R'_{nv} = \phi f'_{nv} A_b$$

که در آن تنش برشی اسمی اصلاح شده ( $f'_{nv}$ ) با در نظر گرفتن اثر اندرکنش نیروی برشی و کششی، طبق رابطه زیر محاسبه

می‌شود.

$$f'_{nv} = f_{nv} \left( 1.3 - \frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}} \right) \leq f_{nv}$$

بدین ترتیب کنترل مقاومت کششی پیچ در اتصال اتکایی با اثر اندرکنش، توسط روابط زیر انجام می‌شود.

$$R_{uv} \leq \phi R'_{nv} = \phi K_{bv} R_{nv}$$

$$R_{uv} \leq (\phi = 0.75) \left( K_{bv} = 1.3 - \frac{R_{ut}}{\phi R_{nt}} \leq 1 \right) (R_{nv} = (0.45 \text{ or } 0.55) f_{ub} A_b)$$

در آیین‌نامه‌ها تنش کششی اسمی اصلاح شده ( $f'_{nt}$ ) نیز به صورت مشابه، ارائه شده است که مبنای محاسبات آن، با تنش برشی

اسمی اصلاح شده یکسان است.

$$f'_{nt} = f_{nt} \left( 1.3 - \frac{f_{uv}}{\phi f_{nv}} \right) \leq f_{nt}$$

لازم به ذکر است رابطه فوق، بیانی دیگر از رابطه  $f'_{nv}$  بوده و لزومی به کنترل هر دو رابطه در مسائل اندرکنش تنش کششی و

برشی نیست.

## ۱۰-۹-۲ مقاومت برشی ( $R'_{nv}$ ) پیچ در اتصالات اصطکاکی با اثر اندرکنش نیروی کششی

در اتصالات اصطکاکی مقاومت طراحی پیچ تحت اثر ترکیب تنش‌های کششی و برشی، بر اساس حالت‌های حدی گسیختگی

کششی و برشی تعیین می‌گردد. در حالت حضور هم‌زمان تنش‌های کششی و برشی، نیروی نهایی اتصال ( $P_u$ ) دارای دو مؤلفه است.

مؤلفه برشی نیرو ( $V_u$ ) باعث ایجاد برش در اتصال می‌شود و مؤلفه کششی نیرو ( $T_u$ ) باعث ایجاد کشش در اتصال و کاهش نیروی

اصطکاک متوسط پیچ‌ها می‌شود. اثر کاهش نیروی اصطکاک با اعمال ضریب کاهش  $K_{sc}$  در مقاومت برشی اسمی ( $R_{nv}$ ) اتصال در

نظر گرفته می‌شود. مقدار این ضریب بر حسب سهم کشش هر پیچ  $\left(\frac{T_u}{n_b}\right)$  و مقدار متوسط نیروی پیش‌تنیدگی ( $D_u T_b$ ) تعریف

می‌شود. مقاومت برشی اتصال اصطکاکی با اثر اندرکنش نیروی کششی اتصال، از روابط زیر کنترل می‌شود.

$$R'_{nv} = K_{sc} R_{nv}$$

$$K_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} \leq 1$$

بدین ترتیب کنترل مقاومت کششی و برشی پیچ در اتصال اصطکاکی با اثر اندرکنش، توسط روابط زیر انجام می‌شود.

$$R_{uv} \leq \phi R'_{nv} = \phi K_{sc} R_{nv}$$

$$R_{uv} \leq (\phi = 0.7 | 0.85 | 1.0) \left( K_{sc} = \min \left( 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b}, 1 \right) \right) (R_{nv} = \mu D_u h_f T_b n_s)$$

روند استفاده از رابطه فوق در مثال‌های بعدی تشریح شده است.

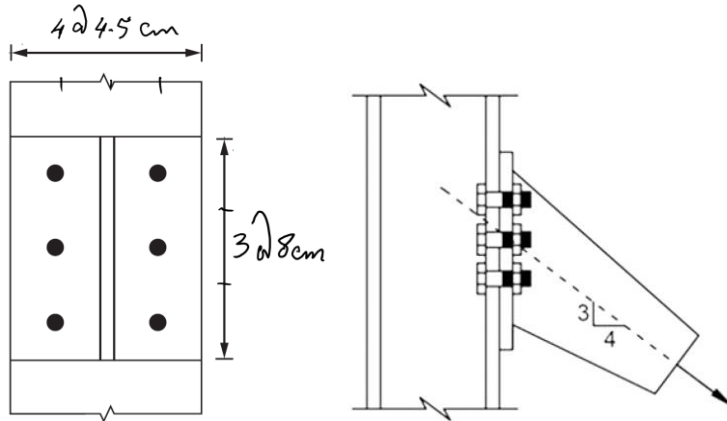
### مثال ۱۰-۸

در اتصال شکل زیر تحت نیروی نهایی  $P_u = 40 \text{ ton}$  قرار دارد. پیچ‌ها از نوع A490 و به قطر  $\frac{1}{4}$  اینچ هستند.

پیچ‌های اتصال را در دو حالت زیر کنترل نمایید:

الف) کنترل مقاومت کششی و مقاومت برشی اتصال با رفتار اتکایی

ب) کنترل مقاومت برشی اتصال با رفتار اصطکاکی



حل:

محاسبات گام‌های اولیه، برای هر دو نوع اتصال اتکایی و اصطکاکی مشترک است. در این مسئله برای اتصال اتکایی، موقعیت سطح دندانه‌دار پیچ مشخص نشده است. بنابراین وضعیت بحرانی‌تر (A490N) در نظر گرفته می‌شود.

$$d_b = \frac{3}{4} \text{ inch} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1.0 \text{ inch}} = 1.9 \text{ cm} \rightarrow A_b = \frac{\pi d_b^2}{4} = \frac{\pi (1.9)^2}{4} = 2.85 \text{ cm}^2$$

$$A490 \rightarrow F_u = 10 \frac{F_u}{A_b}$$

گام ۱- محاسبه مؤلفه کششی ( $T_u$ ) و مؤلفه برشی ( $V_u$ ) بار نهایی اتصال

بار نهایی وارد بر اتصال با زاویه  $\theta = \tan^{-1} \left( \frac{3}{4} \right)$  نسبت به راستای افقی قرار دارد.

$$V_u = P_u \sin(\theta) = 40 \times \frac{3}{5} = 24 \text{ ton}$$

$$T_u = P_u \cos(\theta) = 40 \times \frac{4}{5} = 32 \text{ ton}$$

گام ۲- نیروی برشی ( $R_{uv}$ ) و نیروی کششی ( $R_{ut}$ ) مقطع پیچ

$$R_{uv} = \frac{V_u}{n_b} = \frac{24 \text{ ton}}{6} = 4 \text{ ton}$$

$$R_{ut} = \frac{T_u}{n_b} = \frac{32 \text{ ton}}{6} = 5.33 \text{ ton}$$

گام ۳- کنترل مقاومت برشی ( $R'_{nv}$ ) و مقاومت کششی ( $R'_{nt}$ ) با اثر اندرکنش - اتصال اتکایی

مقاومت برشی ( $R_{nv}$ ) و مقاومت کششی ( $R_{nt}$ ) بدون اثر اندرکنش

$$R_{nt} = f_{nt}A_b = 0.75f_{ub}A_b = 0.75 * 10 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} * 2.85\text{cm}^2 = 21.37 \text{ ton}$$

$$R_{nv} = f_{nv}A_b = 0.45f_{ub}A_b = 0.45 * 10 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} * 2.85\text{cm}^2 = 12.82 \text{ ton}$$

مقاومت برشی با اثر اندرکنش ( $R'_{nv}$ )

$$K_{bv} = 1.3 - \frac{R_{ut}}{\phi R_{nt}} = 1.3 - \frac{5.33 \text{ ton}}{0.75 * 21.37 \text{ ton}} = 1.3 - 0.332 = 0.968 \leq 1$$

$$R'_{nv} = K_{bv}R_{nv} = 0.968 * 12.82 \text{ ton} = 12.41 \text{ ton}$$

کنترل مقاومت برشی با اثر اندرکنش

$$R_{uv} = 4 \text{ ton} \leq \phi R'_{nv} = 0.75 * 12.41 \text{ ton} = 9.31 \text{ ton} \rightarrow O.K.$$

#### گام ۴ - کنترل مقاومت برشی ( $R'_{nv}$ ) با اثر اندرکنش - اتصال اصطکاکی

مقاومت برشی ( $R_{nv}$ ) بدون اثر اندرکنش

$$T_b = 0.55f_uA_b = 0.55 * 10 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} * 2.85\text{cm}^2 = 15.67 \text{ ton}$$

$$R_{nv} = \mu D_u h_f T_b n_s = 0.5 * 1.13 * 1 * 15.67 \text{ ton} * 1 = 8.86 \text{ ton}$$

مقاومت برشی ( $R'_{nv}$ ) با اثر اندرکنش

$$K_{sc} = 1 - \frac{P_{ut}}{D_u T_b n_b} = 1 - \frac{22.4 \text{ ton}}{1.13 * 15.67 \text{ ton} * 6} = 0.789 \leq 1$$

$$R'_{nv} = K_{sc}R_{nv} = 0.789 * 8.86 \text{ ton} = 6.99 \text{ ton}$$

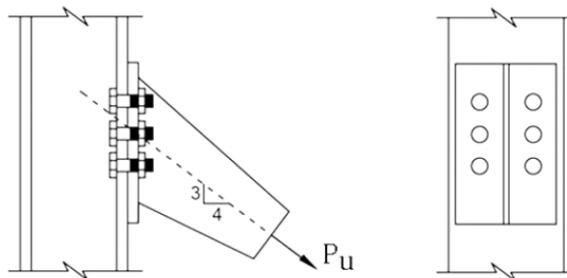
کنترل مقاومت برشی

$$R_{uv} = 4 \text{ ton} \leq \phi R'_{nv} = 1 * 6.99 \text{ ton} = 6.99 \text{ ton} \rightarrow O.K.$$

#### تمرین ۱-۱۰

در اتصال شکل زیر تحت نیروی نهایی  $P_u = 40 \text{ ton}$  قرار دارد. پیچ‌ها از نوع A490 و به قطر ۳/۴ اینچ هستند.

مقاومت کششی و مقاومت برشی پیچ‌های اتصال را در دو حالت زیر کنترل نمایید:



الف) اتصال با رفتار اتکایی

ب) اتصال با رفتار اصطکاکی

پاسخ:

الف) اتصال اتکایی

$$R'_{nv} = 0.968 * 12.82 \text{ ton} = 12.41 \text{ ton}$$

$$R'_{nt} = 0.884 * 21.37 \text{ ton} = 18.89 \text{ ton}$$

$$R_{uv} = 4 \text{ ton} \leq \phi R'_{nv} = 0.75 * 12.41 \text{ ton} = 9.31 \text{ ton} \rightarrow O.K.$$

$$R_{ut} = 5.33 \text{ ton} \leq \phi R'_{nt} = 0.75 * 18.89 \text{ ton} = 14.17 \text{ ton} \rightarrow O.K.$$

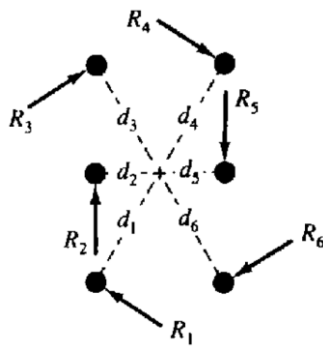
(ب) اتصال اصطکاکی

$$R'_{nv} = 0.789 \times 8.86 \text{ ton} = 6.99 \text{ ton}$$

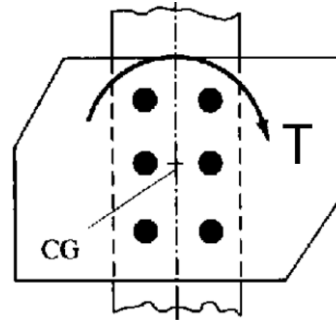
$$R_{uv} = 5.33 \text{ ton} \leq \phi R'_{nv} = 1 * 6.99 \text{ ton} = 6.99 \text{ ton} \rightarrow O. K.$$

### ۱۰-۱۰ اتصالات پیچی تحت اثر پیچش

با اعمال لنگر پیچشی بر اتصال، نیروی ایجاد شده در مقطع هر پیچ از نوع برشی بوده و با فاصله پیچ تا مرکز پیچش اتصال، متناسب است. مقدار نیروی هر پیچ با استفاده از روابط مقاومت مصالح و با استفاده از روش بردار الاستیک به دست می‌آید. بدین منظور اتصال شکل زیر در نظر گرفته می‌شود که تحت بار پیچشی ( $T_u$ ) قرار گرفته است. با دوران صفحه اتصال، تغییر شکل هر پیچ در راستای عمود بر خط واصل پیچ به مرکز اتصال است. از آنجاکه زاویه دوران صفحه برای همه پیچ‌ها یکسان است، کرنش برشی ایجاد شده در پیچ‌ها یکسان است.



(ب) نیروهای برشی ایجاد شده در پیچ‌ها



(الف) اتصال تحت تأثیر بارگذاری پیچشی

شکل ۱۰-۳۶ اتصال تحت اثر لنگر پیچشی

در شکل فوق فاصله مرکز پیچ از مرکز اتصال، شعاع هندسی نامیده شده و با نماد ( $d_i$ ) نمایش داده می‌شود. به دلیل رفتار خطی مصالح، تنش برشی هر پیچ ( $\tau_i$ ) متناسب با شعاع هندسی ( $d_i$ ) هر پیچ می‌باشد. نیروی برشی هر پیچ ( $R_i$ ) با شعاع هندسی پیچ متناسب است، به عبارت دیگر

$$\frac{R_1}{d_1} = \frac{R_2}{d_2} = \dots = \frac{R_i}{d_i} \rightarrow R_1 = \frac{R_1 d_1}{d_1}; R_2 = \frac{R_1 d_2}{d_1}; R_i = \frac{R_1 d_i}{d_1}$$

توجه شود که تنش برشی هر پیچ ( $\tau_i$ ) و نیروی برشی هر پیچ ( $R_i$ ) که ناشی از اعمال لنگر پیچشی هستند، همواره بر راستای شعاع هندسی پیچ، عمود می‌باشند.

بدین ترتیب نیروی برشی هر پیچ ( $R_i$ ) بر حسب نیروی برشی فرضی شماره ۱ یعنی ( $R_1$ ) بیان شده است. لنگر پیچشی بار اعمال شده ( $T_u$ ) با لنگر پیچشی ایجاد شده توسط نیروهای  $R_i$  برابر است. بدین ترتیب:

$$T_u = R_1 d_1 + R_2 d_2 + \dots$$

با جایگذاری مقادیر ( $R_i$ ) بر حسب مقدار ( $R_1$ ) داریم:

$$T_u = \frac{R_1 d_1^2}{d_1} + \frac{R_1 d_2^2}{d_1} + \dots$$

$$T_u = \frac{R_1}{d_1} \Sigma(d_1^2 + d_2^2 + \dots) = \frac{R_1}{d_1} \Sigma d^2$$

از این رو نیروی پیچ شماره ۱ برابر است با:

$$R_1 = \frac{T_u d_1}{\Sigma d^2}$$

و به روش مشابه داریم:

$$R_2 = \frac{T_u d_2}{\Sigma d^2}; R_3 = \frac{T_u d_3}{\Sigma d^2}; R_i = \frac{T_u d_i}{\Sigma d^2}$$

توجه شود که چنانچه محاسبه تنش برشی مدنظر باشد، با در نظر گرفتن آنکه نیروی برشی هر پیچ ( $R_i$ ) از حاصل ضرب تنش برشی و سطح مقطع پیچ محاسبه می‌شود ( $R_i = \tau_i A_i$ ) روابط فوق بازنویسی شده و رابطه زیر بدست خواهد آمد که مشابه رابطه پیچش مقاومت مصالح است.

$$\tau_i = \frac{T_u d_i}{\Sigma A d^2} = \frac{T_u r}{J}$$

که در آن  $J = \Sigma A d^2$  لنگر اینرسی قطبی مجموعه پیچ‌ها است.

برای جمع آثار نیروهای برشی پیچ ناشی از بارگذاری‌های مختلف برشی و پیچشی، پیچ بحرانی که دارای مختصات  $(x_{cr}, y_{cr})$  است به نحوی انتخاب می‌گردد که بیشترین فاصله را با مرکز اتصال داشته باشد. نیروی برشی پیچ بحرانی را با ضرب در سینوس و کسینوس زاویه یعنی نسبت‌های  $\left(\frac{x_{cr}}{d}\right)$  و یا  $\left(\frac{y_{cr}}{d}\right)$  به مؤلفه‌های عمودی و افقی تجزیه می‌شود. با بیان نیروی برشی نهایی پیچ بحرانی ( $R_u$ ) بر حسب لنگر پیچشی نهایی ( $T_u$ ) خواهیم داشت:

$$R_{uvx}^T = \frac{T_u y_{cr}}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2}; R_{uvy}^T = \frac{T_u x_{cr}}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2}$$

در صورت عدم حضور نیروهای برشی دیگر، می‌توان مقدار نیروی برشی نهایی پیچ ( $R_{uv}$ ) را از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$R_{uv} = \sqrt{R_{uvx}^2 + R_{uvy}^2}$$

در صورت وجود بارگذاری برشی، نیروی برشی هر یک از مؤلفه‌های ( $R_{uvx}$ ) و ( $R_{uvy}$ ) تحت تأثیر بارگذاری تغییر می‌کنند. لذا لازم است مؤلفه‌های عمودی و افقی نیروی برشی پیچ، محاسبه شده و مقدار نیروی برشی نهایی هر پیچ باتوجه به همه نیروها محاسبه گردد که در بخش‌های بعدی به آن پرداخته شده است.

کنترل مقاومت برشی ناشی از پیچش در پیچ، با در نظر گرفتن مقدار لنگر پیچشی نهایی ( $T_u$ ) و محاسبه نیروی برشی نهایی پیچ ( $R_{uv}$ ) و مقایسه با مقاومت برشی طراحی پیچ  $\phi R_{nv}$  انجام می‌گیرد. برای کاهش حجم محاسبات، کنترل مقاومت برشی تنها برای پیچ‌های بحرانی انجام می‌شود و نیازی به کنترل مقاومت همه پیچ‌ها نیست.

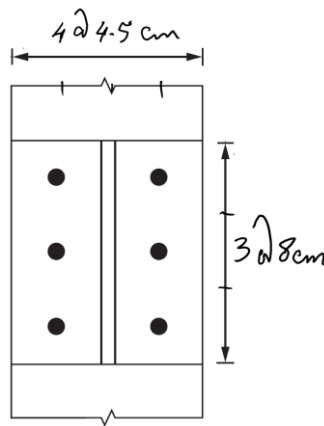
البته لازم است پیچ‌های بحرانی به درستی تشخیص داده شوند. پیچ بحرانی، پیچی است که فاصله آن از مرکز اتصال بیشتر باشد. در اتصالات تحت پیچش خالص مانند شکل قبل، پیچ‌های واقع در چهار گوشه اتصال، دارای بیشترین فاصله از مرکز اتصال بوده و باتوجه به یکسان بودن مساحت پیچ‌ها، هر چهار پیچ اشاره شده بحرانی محسوب می‌شوند. این موضوع در مثال‌های این بخش بررسی شده است.

## مثال ۹-۱۰

اتصال شکل زیر تحت بار پیچشی نهایی  $T_u = 5 \text{ ton.m}$  در مرکز اتصال قرار گرفته است. پیچ‌های اتصال M22 از نوع A490X می‌باشند. مقاومت برشی پیچ‌های اتصال را در دو حالت زیر کنترل نمایید:

الف) اتصال با رفتار اتکایی A490X

ب) اتصال با رفتار اصطکاکی A490SC



حل:

توجه شود که بارگذاری مسئله به صورت «نهایی» است. بدین معنی که اثر ترکیب بارهای موردنظر، در مقدار آن منظور گردیده است. محاسبات گام‌های اولیه، برای هر دو نوع اتصال اتکایی و اصطکاکی مشترک است. ابتدا مقدار لنگر پیچشی به واحدهای مورد استفاده در محاسبات، تبدیل می‌شود.

$$T_u = 5 \text{ ton.m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 500 \text{ ton.cm}$$

$$A490 \rightarrow \phi_{\text{pitch}} = 10 \frac{\phi_{\text{pitch}}}{\phi_{\text{pitch}}^2}$$

$$d_b = 2.2 \text{ cm} \rightarrow A_b = \frac{\phi(2.2)^2}{4} = 3.80 \phi^2$$

گام ۱- مؤلفه‌های نیروی برشی ( $R_{uvx}, R_{uvy}$ ) حاصل از پیچش

در این اتصال، پیچ‌های گوشه دارای بیشترین فاصله از مرکز اتصال هستند و هر یک از آنها را می‌توان به عنوان پیچ بحرانی انتخاب نمود. توجه شود که تنها بار وارد بر اتصال، بار پیچشی است و لذا وضعیت چهار پیچ گوشه اتصال، یکسان است.

$$\Sigma(\phi^2 + \phi^2) = 6(4.5 \text{ cm})^2 + 4(8 \text{ cm})^2 = 121.5 \phi^2 + 256.0 \phi^2 = 377.5 \phi^2$$

مختصات پیچ بحرانی نسبت به مرکز اتصال:

$$x_{cr} = 4.5 \text{ cm}; y_{cr} = 8 \text{ cm}$$

مؤلفه‌های افقی و قائم نیروی برشی حاصل از لنگر پیچشی اتصال:

$$P_{uvx} = \frac{P_u P_{ux}}{\Sigma(P_u^2 + P_{ux}^2)} = \frac{(500.0)(8.00)}{377.5} = 10.6$$

$$P_{uyy} = \frac{P_u P_{uy}}{\Sigma(P_u^2 + P_{uy}^2)} = \frac{(500.0)(4.50)}{377.5} = 6.0$$

گام ۲- نیروی برشی نهایی پیچ ( $R_{uv}$ )

$$R_{uvx} = R_{uvx}^T = 10.6_{\text{ton}}$$

$$P_{uyy} = P_{uyy}^T = 6.0_{\text{ton}}$$

$$P_{uv} = \sqrt{P_{uvx}^2 + P_{uyy}^2} = \sqrt{10.6^2 + 6.0^2} = 12.2_{\text{ton}}$$

گام ۳- کنترل مقاومت برشی پیچ - اتصال اتکایی

$$f_{nv} = 0.55f_{ub} = (0.55)(10.0_{\text{ton/cm}^2}) = 5.5_{\text{ton/cm}^2}$$

$$R_{nv} = f_{nv}A_b = (5.5_{\text{ton/cm}^2})(3.80_{\text{cm}^2}) = 20.9_{\text{ton}}$$

$$R_{uv} = 12.2_{\text{ton}} \leq \phi R_{nv} = (0.75)(20.9_{\text{ton}}) = 15.7_{\text{ton}} \rightarrow O.K.$$

گام ۴- کنترل مقاومت برشی پیچ - اتصال اصطکاکی

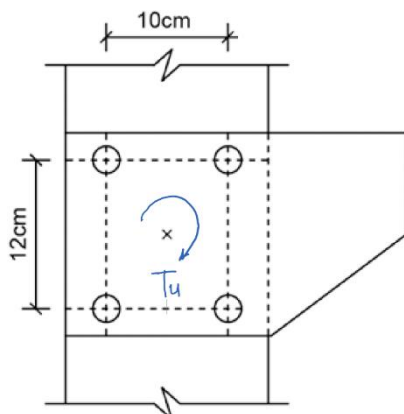
$$P_u = 0.55P_u A_b = (0.55)(10.0_{\text{ton/cm}^2})(3.80_{\text{cm}^2}) = 20.9_{\text{ton}}$$

$$P_{ux} = \mu P_u P_{ux} = (0.5)(1.13)(1)(20.9_{\text{ton}})(1) = 11.8_{\text{ton}}$$

$$P_{uv} = 12.2_{\text{ton}} \leq \phi P_{ux} = (1.00)(11.8_{\text{ton}}) = 11.8_{\text{ton}} \rightarrow \text{Not O.K.}$$

مشاهده می‌شود که اتصال در حالت اصطکاکی پاسخگوی نیاز پیچشی نیست. توجه شود که در حالت اتکایی، مقاومت برشی مقطع پیچ در برابر بار برشی مقاومت می‌کند ولی در حالت اصطکاکی، جداره پیچ با ورق در تماس نبوده و اصطکاک بین ورق‌ها، در برابر بار برشی مقاومت می‌کند.

تمرین ۲-۱۰



اتصال شکل زیر تحت بار پیچشی نهایی  $T_u = 1.6 \text{ ton.m}$  در مرکز اتصال قرار گرفته است. سطح برش خارج از ناحیه دندانه شده قرار گرفته است. پیچ‌های اتصال M22 از نوع A490SC می‌باشد. مقاومت برشی پیچ‌های اتصال را در دو حالت زیر کنترل نمایید:

(الف) اتصال با رفتار اتکایی

(ب) اتصال با رفتار اصطکاکی

پاسخ:



$$R_{uv} = \sqrt{R_{ux}^2 + R_{uy}^2} = \sqrt{3.93^2 + 3.28^2} = 5.12 \text{ ton}$$

الف) اتصال اتکایی

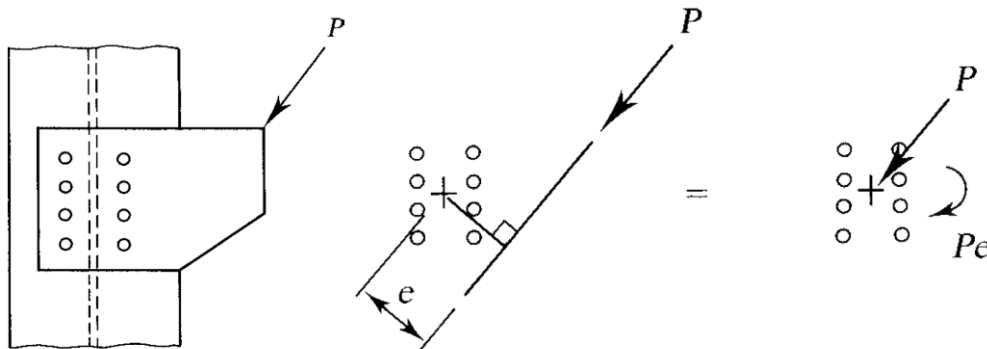
$$R_{uv} = 5.12 \text{ ton} \leq \phi R_{nv} = 0.75 \times 20.91 \text{ ton} = 15.68 \text{ ton} \rightarrow O.K.$$

ب) اتصال اصطکاکی

$$R_{uv} = 5.12 \text{ ton} \leq \phi R_{nv} = 1.0 \times 11.81 \text{ ton} = 11.81 \text{ ton} \rightarrow O.K.$$

### ۱۰-۱۱ اتصالات پیچی تحت اثر برش و پیچش

هرگاه راستای اثر بار متمرکز اتصال ( $P_u$ ) از مرکز ثقل مجموعه پیچ‌ها نگذرد، دارای خروج از مرکزیت برابر  $e$  خواهد بود. در این حالت مطابق شکل زیر می‌توان بار متمرکز را معادل مجموع یک نیروی متمرکز ( $V_u$ ) که از مرکز ثقل پیچ‌ها می‌گذرد و یک لنگر پیچشی ( $T_u = P_u e$ ) است در نظر گرفت. چون هم نیرو و هم لنگر هر دو باعث برش در پیچ‌ها می‌گردند، چنین وضعیتی را برش با خروج از مرکزیت نیز می‌گویند.



شکل ۱۰-۳۷ ترکیبی از برش و لنگر پیچشی در اتصالات

نیروی برشی  $V_u$  در مقاطع پیچ‌ها، نیروی برشی ایجاد می‌کند که با راستای بارگذاری هم‌جهت است. در حالت کلی، نیروی برشی ایجاد شده با سطح مقطع پیچ‌ها متناسب است، ولی در صورت یکسان بودن مقطع پیچ‌ها، نیروی برشی ایجاد شده برابر است با:

$$R_{uv} = \frac{V_u}{n_p \cdot n_b}$$

نیروی برشی ناشی از بار ( $V_u$ ) در پیچ، با نماد ( $R_{uv}^V$ ) و نیروی برشی ناشی از لنگر پیچشی ( $T_u$ ) با نماد  $R_{uv}^T$  نمایش داده می‌شود. در حالت کلی نیروی برشی  $V_u$  موازی با یک راستای اصلی نیست و در هر دو راستای  $X$  و  $Y$  دارای مؤلفه است. در این حالت مؤلفه‌های نیروی  $V_u$  در دو راستای  $X$  و  $Y$  با نمادهای ( $R_{uvx}^V, R_{uvy}^V$ ) برای مؤلفه‌های لنگر پیچشی  $T_u$  در دو راستای  $X$  و  $Y$  با نمادهای ( $R_{uvx}^T, R_{uvy}^T$ ) برای تعریف می‌شوند. بدین ترتیب مجموع نیروهای راستای  $X$  و  $Y$  از روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$R_{uvx} = R_{uvx}^V + R_{uvx}^T = \frac{V_{ux}}{n_p \cdot n_b} + \frac{T_u y_{cr}}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2}$$

$$R_{uvy} = R_{uvy}^V + R_{uvy}^T = \frac{V_{uy}}{n_p \cdot n_b} + \frac{T_u x_{cr}}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2}$$

برای محاسبه مقدار نیروی برشی برابند، از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$R_{uv} = \sqrt{(R_{uvx}^T + R_{uvx}^V)^2 + (R_{uvy}^T + R_{uvy}^V)^2}$$

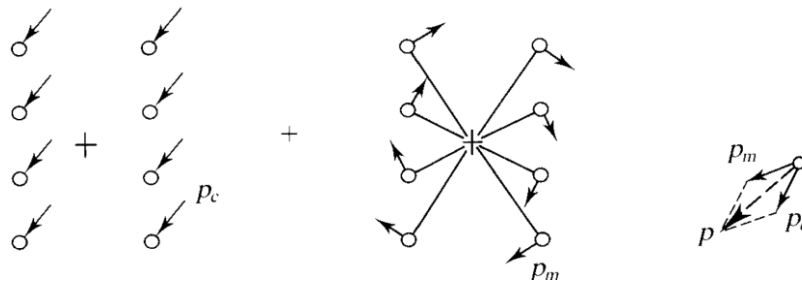
کنترل مقدار نیروی برشی از طریق رابطه زیر انجام می‌شود که در آن،  $R_{nv}$  مقاومت اسمی برشی معرفی شده در بخش‌های قبلی است.

$$R_{uv} \leq \phi R_{nv}$$

لازم به ذکر است نیروی حاصل از بار برشی در همه پیچ‌ها یکسان است ولی نیروی حاصل از لنگر پیچشی، در پیچ‌های بیرونی

بیشتر از پیچ‌های داخلی است. این موضوع همراه با نیروی حاصل در پیچ بحرانی، در شکل زیر مشاهده می‌شود که در آن نیروی برش

ناشی از پیچش در راستای عمود بر شعاع هندسی و نیروی برشی ناشی از بارگذاری برشی در راستای اعمال بار، هم جهت می‌باشند



شکل ۱۰-۳۸ ترکیبی از برش و لنگر پیچشی در اتصالات

استفاده از روابط فوق در مثال‌های بعدی تشریح شده است.

#### مثال ۱۰-۱۰

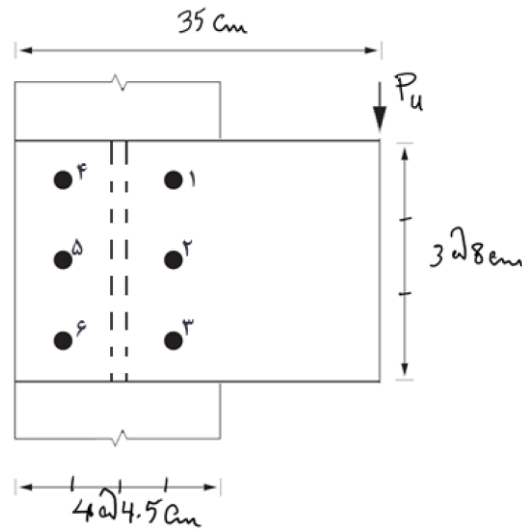
اتصال شکل زیر تحت بار مرده قائم  $P_D = 10 \text{ ton}$  قرار گرفته است. سطح برش خارج از ناحیه دندانه شده قرار

گرفته است. پیچ‌های اتصال M22 از نوع A490 می‌باشد. از ترکیب بار  $1.2D + 1.6L$  استفاده شود. مقاومت برشی

پیچ‌های اتصال را در دو حالت زیر کنترل نمایید:

الف) اتصال با رفتار اتکایی

ب) اتصال با رفتار اصطکاکی



حل:

این اتصال تحت بار پیچشی خالص، در مثال قبل حل شده است. در این مثال، تأثیر هم‌زمان نیروی برشی و لنگر پیچشی بررسی می‌شود. محاسبات گام‌های اولیه، برای هر دو نوع اتصال اتکایی و اصطکاکی مشترک است.

$$490 \rightarrow \phi_{\text{ت}} = 10 \frac{\phi_{\text{ت}}}{\phi_{\text{ت}}^2}$$

$$d_b = 2.2 \text{ cm} \rightarrow A_b = \frac{\phi(2.2)^2}{4} = 3.80 \phi^2$$

گام ۱- محاسبه بار برشی نهایی ( $V_u$ ) و لنگر پیچشی نهایی ( $T_u$ )

$$V_u = P_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2(10) + 1.6(0) = 12.0 \text{ ton}$$

$$e_x = 35 \text{ cm} - 9 \text{ cm} = 26 \text{ cm}$$

$$T_u = P_u e_x = 12.0 \text{ ton} \times 26 \text{ cm} = 312.0 \text{ ton.cm}$$

گام ۲- نیروی برشی ( $R_{uv}^V$ ) ناشی از بار برشی نهایی ( $V_u$ )

بار  $V_u$  در راستای قائم بوده و تنها دارای مؤلفه  $y$  است. سهم همه پیچ‌ها از بار برشی یکسان است. لذا:

$$\phi_{\text{ت}} = 0.0 \phi_{\text{ت}}$$

$$\phi_{\text{ت}} = \frac{\phi_{\text{ت}}}{\phi_{\text{ت}}^2} = \frac{12.0 \phi_{\text{ت}}}{(6)(1)} = 2.0 \phi_{\text{ت}}$$

گام ۳- نیروی برشی ( $R_{uv}^T$ ) ناشی از لنگر پیچشی ( $T_u$ ) در پیچ بحرانی

در این اتصال، فواصل افقی و عمودی همه پیچ‌ها از مرکز اتصال یکسان است. در پیچ‌های سمت راست، مؤلفه قائم نیروها به جهت پایین بوده و هم‌راستا هستند ولی در پیچ‌های سمت چپ، مؤلفه‌های قائم در دو جهت بالا و پایین بوده که بر برابری آنها اثری کاهنده دارند؛ لذا پیچ شماره ۱ به‌عنوان پیچ بحرانی انتخاب می‌شود.

$$\Sigma(\phi^2 + \phi^2) = 6(4.5 \text{ cm})^2 + 4(8 \text{ cm})^2 = 121.5 \phi^2 + 256 \phi^2 = 377.5 \phi^2$$

$$x_{cr} = 4.5 \text{ cm}$$

$$y_{cr} = 8.0 \text{ cm}$$

$$x_{\text{eff}} = \frac{I_{yy}}{\Sigma(I_x^2 + I_y^2)} = \frac{(312.0 \text{ cm}^4)(8.0 \text{ cm})}{377.5 \text{ cm}^2} = 6.6 \text{ cm}$$

$$R_{uvy}^T = \frac{T_u x_{cr}}{\Sigma(x^2 + y^2)} = \frac{(312.0 \text{ ton.cm})(4.5 \text{ cm})}{377.5 \text{ cm}^2} = 3.7 \text{ ton}$$

گام ۴- نیروی برشی نهایی مقطع پیچ  $(R_{uv})$

$$x_{\text{eff}} = x_{\text{eff}} + x_{\text{eff}} = 6.6 \text{ cm} + 0.0 \text{ cm} = 6.6 \text{ cm}$$

$$y_{\text{eff}} = y_{\text{eff}} + y_{\text{eff}} = 3.7 \text{ cm} + 2.0 \text{ cm} = 5.7 \text{ cm}$$

$$R_{uv} = \sqrt{x_{\text{eff}}^2 + y_{\text{eff}}^2} = \sqrt{6.6^2 + 5.7^2} = 8.7 \text{ cm}$$

گام ۵- کنترل مقاومت برشی پیچ  $(R_{nv})$  در اتصال اتکایی

$$R_{nv} = 0.55 R_{nv} = (0.55)(10.0 \text{ ton/cm}^2) = 5.5 \text{ ton/cm}^2$$

$$R_{nv} = f_{nv} A_b = (5.5 \text{ ton/cm}^2)(3.80 \text{ cm}^2) = 20.9 \text{ ton}$$

$$R_{uv} = 8.7 \text{ ton} \leq \phi R_{nv} = (0.75)(20.9 \text{ ton}) = 15.7 \text{ ton} \rightarrow O.K.$$

گام ۶- کنترل مقاومت برشی پیچ  $(R_{nv})$  در اتصال اصطکاکی

$$R_{nv} = 0.55 R_{nv} = (0.55)(10.0 \text{ ton/cm}^2)(3.80 \text{ cm}^2) = 20.9 \text{ ton}$$

$$R_{nv} = \mu R_{nv} = (0.5)(1.13)(1)(20.9 \text{ ton})(1) = 11.8 \text{ ton}$$

$$R_{uv} = 8.7 \text{ ton} \leq \phi R_{nv} = (1.00)(11.8 \text{ ton}) = 11.8 \text{ ton} \rightarrow O.K.$$

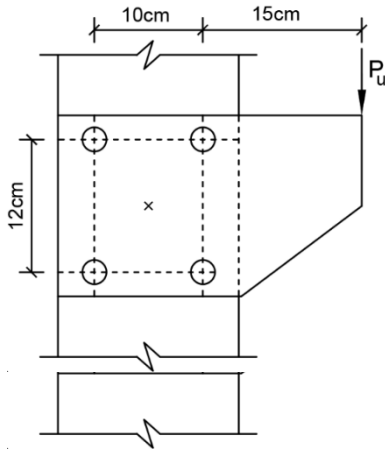
تمرین ۱۰-۳

مطلوب است محاسبه نیروی برشی  $R_u$  ناشی از ترکیب بارهای برش و پیچش در پیچ‌های شماره ۲ و ۴ و ۵ و ۶ از

مثال ۱۰-۱۰

## تمرین ۴-۱۰

اتصال شکل زیر تحت بار مرده قائم  $P_D = 8\text{ton}$  قرار گرفته است. سطح برش خارج از ناحیه دندانه شده قرار گرفته



است. پیچ‌های اتصال M22 از نوع A490 می‌باشد. از ترکیب بار  $1.2D + 1.6L$  استفاده شود. مقاومت برشی پیچ‌های اتصال را در دو حالت زیر کنترل نمایید:

الف) اتصال با رفتار اتکایی

ب) اتصال با رفتار اصطکاکی

پاسخ:

$$V_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2(6.5) + 1.6(0) = 7.8\text{ton}$$

$$T_u = P_u e_x = 7.8\text{ton} \times 20\text{cm} = 156\text{ton.cm}$$

$$R_{uv}^T = \sqrt{(R_{ux}^T)^2 + (R_{uy}^T)^2} = \sqrt{3.93^2 + 3.28^2} = 5.12\text{ton}$$

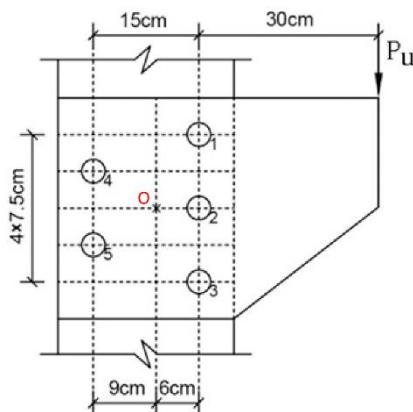
$$R_{uv} = \sqrt{(R_{ux}^T)^2 + (R_{uy}^T + R_{uy}^V)^2} = \sqrt{3.93^2 + (3.28 + 1.95)^2} = 6.54\text{ton}$$

$$R_{uv} = 6.54\text{ton} \leq \phi R_{nv} = 0.75 \times 20.91\text{ton} = 15.68\text{ton} \rightarrow O.K.$$

$$R_{uv} = 6.54\text{ton} \leq \phi R_{nv} = 1 \times 11.81\text{ton} = 11.81\text{ton} \rightarrow O.K.$$

## تمرین ۵-۱۰

در اتصال شکل زیر، پیچ‌های اتصال از نوع A325 و به قطر  $\frac{3}{4}$  اینچ هستند. رزوه پیچ خارج از صفحه برش قرار دارد.



حداکثر بار  $P$  را در دو حالت زیر تعیین کنید:

الف) اتصال با رفتار اتکایی (کنکور کارشناسی ارشد)

ب) اتصال با رفتار اصطکاکی

پاسخ:

$$T_u = P_{ux} e_y + P_{uy} e_x = 0 + P_u \times 36\text{cm} = P_u \times 36\text{cm}$$

$$R_{uv} = \sqrt{(R_{ux}^T)^2 + (R_{uy}^T + R_{uy}^V)^2}$$

$$= \sqrt{0.65P_u^2 + (0.26P_u + 0.2P_u)^2} = 0.8P_u$$

$$R_{uv} = 0.8P_u\text{ton} \leq \phi R_{nv} = 0.75 \times 22.22\text{ton} = 7.70\text{ton} \rightarrow P_u \leq 9.62\text{ton}$$

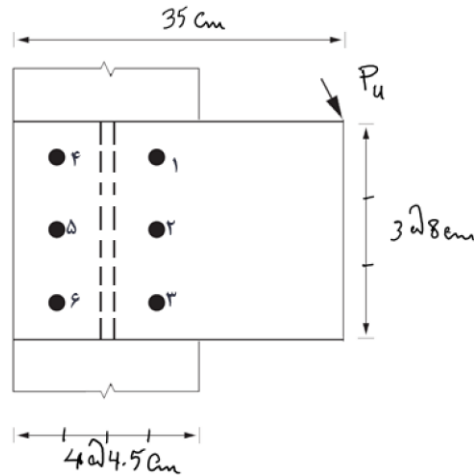
$$R_{uv} = 0.8P_u \leq \phi R_{nv} = 1 \times 22.22\text{ton} = 7.09\text{ton} \rightarrow P_u \leq 8.86\text{ton}$$

## مثال ۱۱-۱۰

در اتصال شکل زیر، زاویه بار با راستای افق برابر ۶۰ درجه است. پیچ‌های اتصال M22 از نوع A490 می‌باشند. سطح برش از قسمت دندان‌دار پیچ می‌گذرد. حداکثر بار P را در دو حالت زیر تعیین کنید:

الف) اتصال با رفتار اتکایی

ب) اتصال با رفتار اصطکاکی



حل:

این اتصال با بار قائم معلوم در مثال قبل حل شده است.

محاسبات گام‌های اولیه، برای هر دو نوع اتصال اتکایی و اصطکاکی مشترک است.

Bolt M22 →  $d_b: 2.2\text{ cm}, d_h: 2.4\text{ cm}, D: 2.6\text{ cm}, A_b: 3.80\text{ cm}^2, A490N \rightarrow f_{ub}: 10.0\text{ ton/cm}^2$

مقدار نیروی نهایی  $P_u$  مجهول است.

$$P_{ux} = P_u \cos(60) = 0.5P_u$$

$$P_{uy} = P_u \sin(60) = 0.866P_u$$

$$e_x = 35\text{ cm} - 9\text{ cm} = 26\text{ cm}$$

$$e_y = 12\text{ cm}$$

$$T_u = P_{uy}e_x + P_{ux}e_y = (0.866P_u)(26\text{ cm}) + (0.5P_u)(12\text{ cm}) = 28.52P_u$$

گام ۱- نیروی برشی ناشی از بار ( $R_{uv}^V$ )

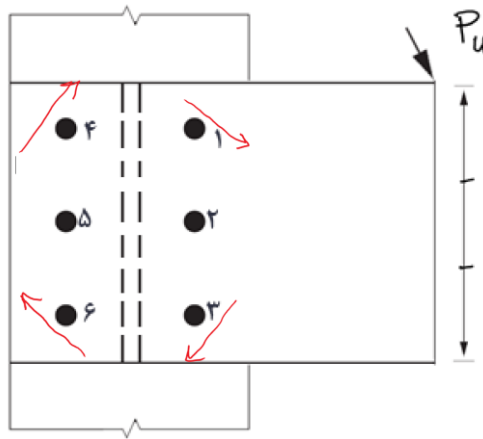
$$\phi R_{uv}^V = \frac{\phi R_{uv}}{\phi R_{uv}} = \frac{0.5P_u}{(6)(1)} = 0.083\phi P_u$$

$$\phi R_{uv}^V = \frac{\phi R_{uv}}{\phi R_{uv}} = \frac{0.866P_u}{(6)(1)} = 0.144\phi P_u$$

گام ۲- نیروی برشی ناشی از لنگر پیچشی ( $R_{uv}^T$ ) در پیچ بحرانی

$$\Sigma(x^2 + y^2) = 6(4.5\text{cm})^2 + 4(8\text{cm})^2 = 121.5\text{cm}^2 + 256.0\text{cm}^2 = 377.5\text{cm}^2$$

در محاسبات مربوط به برش، وضعیت کلیه پیچ‌ها یکسان است ولی در محاسبات مربوط به پیچش، سهم برشی هر پیچ متفاوت است. در این مثال پیچ‌های شماره ۱ و ۳ و ۴ و ۶ بیشترین فاصله را تا مرکز پیچش اتصال دارند. از میان آنها، نیروی برشی ناشی از پیچش در پیچ شماره ۱ با راستای نیروی برشی اعمال شده بر اتصال، بیشترین انطباق را دارد و در ترکیب اثر برش و پیچش، بحرانی‌تر خواهد بود. این موضوع در شکل زیر قابل مشاهده است.



$$x_{cr} = 4.5\text{cm}$$

$$y_{cr} = 8.0\text{cm}$$

$$P_{uv} = \frac{P_u y_{cr}}{\Sigma(x^2 + y^2)} = \frac{28.52 P_u (8.00)}{377.5} = 0.60 P_u$$

$$P_{uv} = \frac{P_u x_{cr}}{\Sigma(x^2 + y^2)} = \frac{28.52 P_u (4.50)}{377.5} = 0.34 P_u$$

گام ۳- نیروی برشی نهایی مقطع پیچ ( $R_{uv}$ )

$$P_{uv} = P_{uv} + P_{uv} = 0.60 P_u + 0.083 P_u = 0.683 P_u$$

$$P_{uv} = P_{uv} + P_{uv} = 0.34 P_u + 0.144 P_u = 0.484 P_u$$

$$P_{uv} = \sqrt{P_{uv}^2 + P_{uv}^2} = \sqrt{0.683^2 + 0.484^2} P_u = 0.837 P_u$$

گام ۴- کنترل مقاومت برشی پیچ ( $R_{nv}$ ) در اتصال اتکایی

$$P_{nv} = 0.45 P_{nv} = (0.45)(10.0) = 4.5$$

$$P_{nv} = P_{nv} P_{nv} = (4.5)(3.80) = 17.1$$

$$P_{nv} = 0.837 P_u \leq \phi P_{nv} = (0.75)(17.1) = 12.8 \rightarrow P_u \leq \frac{12.8}{0.837} = 15.3\text{ton}$$

گام ۵- کنترل مقاومت برشی پیچ ( $R_{nv}$ ) در اتصال اصطکاکی

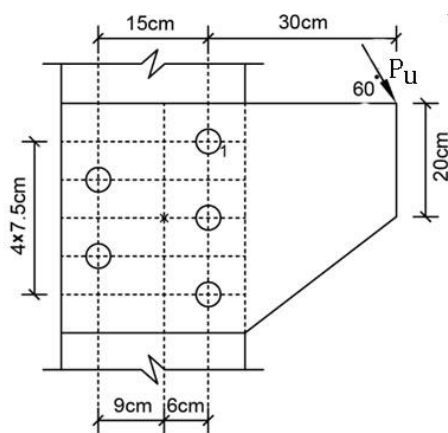
$$F_u = 0.55 F_u A_s = (0.55)(10.0 \text{ cm}^2)(3.80 \text{ cm}^2) = 20.9 \text{ cm}^2$$

$$F_v = \mu F_u A_s = (0.5)(1.13)(1)(20.9 \text{ cm}^2)(1) = 11.8 \text{ cm}^2$$

$$F_v = 0.837 F_v \leq \phi F_v = (1.00)(11.8 \text{ cm}^2) = 11.8 \text{ cm}^2 \rightarrow P_u \leq \frac{11.8}{0.837} = 14.1 \text{ ton}$$

## تمرین ۶-۱۰

در اتصال شکل زیر، زاویه بار با راستای افق برابر ۶۰ درجه است. پیچ‌های اتصال از نوع A325 و به قطر ۳/۴ اینچ



هستند. سطح برش از قسمت دندانه‌دار پیچ می‌گذرد. حداکثر بار  $P$  را

در دو حالت زیر تعیین کنید:

الف) اتصال با رفتار اتکایی

ب) اتصال با رفتار اصطکاکی

پاسخ:

$$F_u = F_u A_s = 2.22 \text{ cm}^2$$

$$F_v = F_v A_s = 2.22 \text{ cm}^2$$

$$F_v = \sqrt{(F_u^2 + F_v^2)^2 + (F_u^2 + F_v^2)^2}$$

$$= F_v \times \sqrt{(2.22 + 2.22)^2 + (2.22 + 2.22)^2} = 2.22 \text{ cm}^2$$

$$F_v = 2.22 \text{ cm}^2 \leq \phi F_v = 0.75 \times 2.22 \text{ cm}^2 = 1.67 \text{ cm}^2 \rightarrow P_u \leq 1.67 \text{ ton}$$

$$R_{uv} = 0.866 P_u \leq \phi R_{nv} = 1 \times 5.32 \text{ ton} \rightarrow P_u \leq 8.18 \text{ ton}$$

## ۱۰-۱۲ اتصالات پیچی تحت اثر خمش

چنانچه به اتصالات پیچی بار خارج از صفحه اتصال و خارج از مرکز اعمال شود، اتصال تحت اثر لنگر خمشی قرار می‌گیرد. رفتار

اتصالات پیچی تحت اثر لنگر خمشی، به دو روش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۱۰-۱۲-۱ روش اول - روش توزیع خطی تنش

چنانچه اتصال تحت برش و خمش باشد، در این روش پیچ‌های بالاتر از تار خنثی الاستیک تحت تأثیر نیروی برشی، نیروی کششی

و اثر اهرمی هستند ولی پیچ‌های پایین تار خنثی تنها تحت تأثیر نیروی برشی قرار می‌گیرند.

در این روش، موقعیت تار خنثی مجهول بوده و با سعی و خطا حاصل می‌شود. برای انطباق محاسبات با رفتار واقعی اتصال، سهمی

از عرض ورق (و نه تمام آن) در فشار سهمی فرض می‌شود که عرض موثر ( $b_{eff}$ ) ورق نام دارد. مقدار عرض موثر از رابطه زیر تعیین

می‌شود.

$$b_{eff} = 8t_f \leq b_f$$



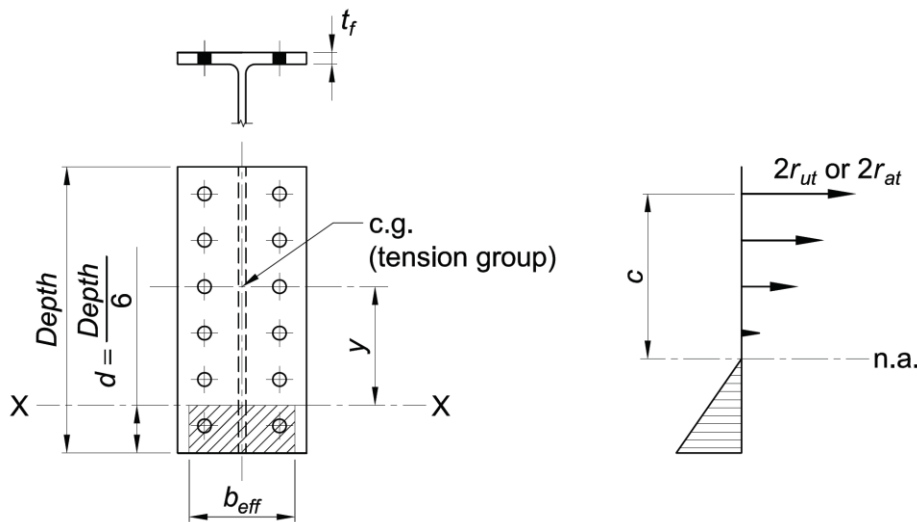
با فرض توزیع خطی تنش فشاری در مقطع اتصال و تعیین مقدار اولیه موقعیت تار خنثی ( $d$ ) معادله تعادل زیر باتوجه به تساوی لنگر استاتیکی سطح مقطع ناحیه کششی پیچ‌ها ( $Q_{top}$ ) و لنگر استاتیکی سطح مقطع ناحیه فشاری معادل صفحه اتصال ( $Q_{bot}$ ) حاصل می‌شود. در ناحیه کششی، پیچ‌های بالاتر از تار خنثی ( $\Sigma A_b$ ) و در ناحیه فشاری، سطح فشاری موثر ورق ( $b_{eff} \times d$ ) تعیین کننده می‌باشند و موقعیت تار خنثی تا رسیدن به پاسخ قابل قبول، به روش سعی و خطا تغییر می‌نماید.

$$(\Sigma A_b)y = b_{eff}d\left(\frac{d}{2}\right)$$

پس از محاسبه موقعیت تار خنثی، نیروی کششی پیچ دورترین تار کششی مقطع از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

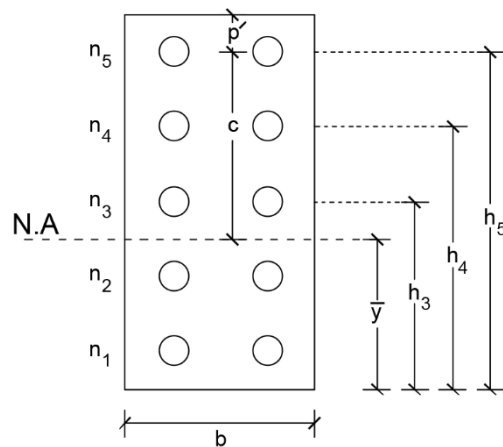
$$R_{ut} = \left(\frac{M_u c}{I_x}\right) A_b$$

که در آن  $I$  لنگر اینرسی سطح فشاری موثر و پیچ‌های کششی و  $c$  فاصله بالاترین پیچ تا تار خنثی است. مشخصات استفاده شده در محاسبات، در شکل زیر مشاهده می‌شوند.



شکل ۱۰-۳۹ روش توزیع تنش الاستیک

جهت محاسبه در این روش، ابتدا موقعیت تار خنثی حدود یک ششم ارتفاع کل مقطع حدس زده می‌شود و سپس از تساوی لنگر اول سطح نیمه فوقانی و نیمه تحتانی مقطع، موقعیت دقیق تار خنثی تعیین می‌شود.



شکل ۱۰-۴۰ مقطع اتصال تحت اثر خمش

$$\frac{b_{eff}\bar{y}^2}{2} = n_3A_3(h_3 - \bar{y}) + n_4A_4(h_4 - \bar{y}) + \dots$$

تعداد پیچ‌ها در ردیف $i$ ام	$n_i$
ارتفاع محور خنثی	$\bar{y}$ or $d$
فاصله ردیف‌های پیچ در بالای تار خنثی تا دورترین تار فشاری مقطع	$h_i$
مساحت پیچ در ردیف $i$ ام	$A_i$
عرض موثر مقطع	$b_{eff}$

در صورتی که تار خنثی محاسبه شده با تار خنثی فرض شده متفاوت باشد و موقعیت تار خنثی تغییر پیدا کند، به کمک رابطه قبل و با استفاده از تار خنثی به دست آمده از مرحله قبل محاسبات تکرار می‌شود. با تعیین موقعیت تار خنثی، لنگر اینرسی مقطع از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$I = \frac{b_{eff}\bar{y}^3}{3} + n_3A_3(h_3 - \bar{y})^2 + n_4A_4(h_4 - \bar{y})^2 + \dots$$

فاصله از تار خنثی تا دورترین تار کششی مقطع نیز عبارت است از:

$$c = h_5 - \bar{y}$$

پس از محاسبه موقعیت تار خنثی، تنش کششی پیچ دورترین تار کششی مقطع ( $f_{ut}^M$ ) و نیروی کششی پیچ ( $R_{ut}^M$ ) ناشی از

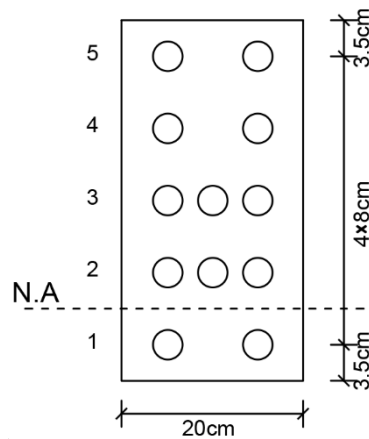
لنگر  $M$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$f_{ut}^M = \frac{M_u c}{I_x}$$

$$R_{ut}^M = f_{ut}^M A_b$$

مثال ۱۰-۱۲

در اتصال شکل ۱۰-۲۸ در ردیف‌های ۲ و ۳ از پیچ‌های A490 به قطر 18mm استفاده شده است و بقیه پیچ‌ها دارای قطر 20mm هستند. سطح برش نیز از قسمت دندانه دار می‌گذرد. نیروی کششی پیچ بحرانی را برای لنگر اتصال  $M_u = 10 \text{ ton.m}$  تعیین کنید. ضخامت ورق ۳۰ میلی‌متر فرض می‌شود.



حل:

$$b_{eff} = \min(8t_f, b_f) = \min(8 \times 3\text{cm}, 20\text{cm}) = b_f = 20\text{cm}$$

$$y = \frac{1}{6}h = \frac{1}{6} \times 39 = 6.5\text{cm}$$

تار خنثی بین ردیف اول و دوم از پایین حدس زده می‌شود.

$$A_2 = A_3 = 2.54\text{cm}^2$$

$$A_1 = A_4 = A_5 = 3.14\text{cm}^2$$

$$\frac{20\bar{y}^2}{2} = 3 \times 2.54(11.5 - \bar{y}) + 3 \times 2.54(19.5 - \bar{y}) + 2 \times 3.14(27.5 - \bar{y}) + 2 \times 3.14(35.5 - \bar{y})$$

$$\rightarrow \bar{y} = 6.68\text{cm}$$

موقعیت تار خنثی در بین ردیف اول و دوم پیچ از پایین مقطع است؛ بنابراین باتوجه به اینکه موقعیت تار خنثی تغییر پیدا نکرده، محاسبات ادامه می‌یابد.

$$I = \frac{20 \times 6.68^3}{3} + 3[2.54(11.5 - 6.68)^2] + 3[2.54(19.5 - 6.68)^2]$$

$$+ 2[3.14(27.5 - 6.68)^2] + 2[3.14(35.5 - 6.68)^2]$$

$$\rightarrow I = 11354.9\text{cm}^4$$

$$c = 35.5 - 6.68 = 28.82\text{cm}$$

$$M_u = 10 \text{ kNm} = 1000 \text{ Nm}$$

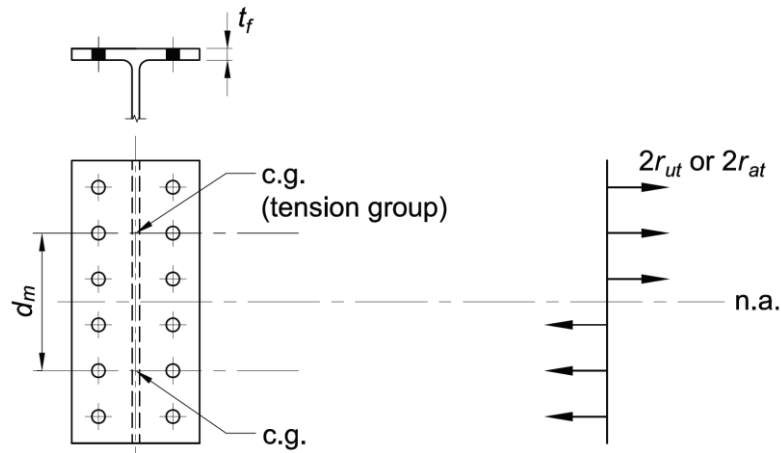
$$f_{ut}^M = \frac{M_u c}{I_x} = \frac{1000 \times 28.82}{11354.9} = 2.54 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2}$$

$$R_{ut} = f_{ut}^M A_b = 2.54 \times \frac{\pi \times 2^2}{4} = 8.0 \text{ ton}$$

## ۱۰-۱۲-۲ روش دوم - روش توزیع تنش پلاستیک

این روش که روند محاسبات ساده‌تری دارد، نسبت به روش اول محافظه‌کارانه‌تر است. در این روش مطابق شکل زیر موقعیت تار خنثی در مرکز پیچ‌های اتصال فرض می‌شود. تحت خمش منفی، پیچ‌های بالاتر از تار خنثی تحت کشش و پیچ‌های پایینی تحت فشار قرار می‌گیرند. به دلیل تقارن اتصال، تعویض جهت خمش اتصال تفاوتی در محاسبات ایجاد نمی‌نماید. نیروی فشاری میان ورق‌های

اتصال برابر نیروی کششی پیچ‌ها است. با فرض آنکه نیروی کششی پیچ‌ها در حالت توزیع تنش پلاستیک برابر با نیروی قابل تحمل پیچ باشد، نیروی فشاری متناظر با هر پیچ کششی، می‌تواند در موقعیت قرینه آن (یعنی پیچ فشاری) فرض شود. به عبارت دیگر فشار میان ورق‌ها با نیروی فشاری پیچ‌های پایینی جایگزین می‌شود.



شکل ۱۰-۴۱ روش توزیع تنش پلاستیک

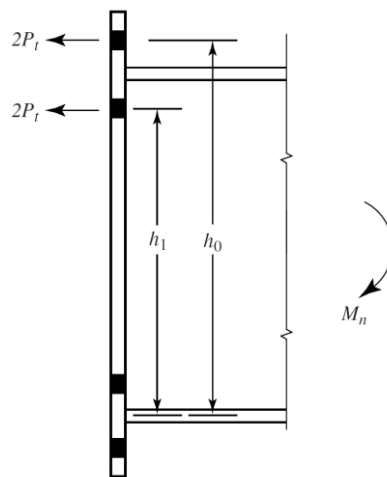
در این روش نیروی کششی و فشاری پیچ‌ها یکسان است که مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$R_{ut} = \frac{M_u}{n' d_m}$$

که در آن  $d'$  بازوی لنگر میان برایندهای کششی و برایندهای فشاری است و  $n'$  تعداد پیچ‌های بالای تار خنثی (برابر نصف تعداد کل پیچ‌ها) می‌باشد.

چنانچه اتصال تحت برش و خمش باشد، در این روش نیز پیچ‌های بالاتر از تار خنثی تحت نیروی برشی، کششی و اثر اهرمی قرار دارند ولی پیچ‌های پایین‌تر از تار خنثی، تنها تحت اثر نیروی برشی قرار دارند.

در طراحی لرزه‌ای اتصالات دارای ورق انتهایی، مانند اتصالات فلنجی ۴ پیچ و ۸ پیچ، مرسوم است که موقعیت تار خنثی را در مرکز پیچ‌های پایینی اتصال فرض می‌نمایند. روش محاسبات بر اساس توزیع تنش پلاستیک است که لازم است برای جزئیات بیشتر، به راهنمای طراحی لرزه‌ای آیین‌نامه‌ها و یا کتاب‌های مرتبط مراجعه شود.



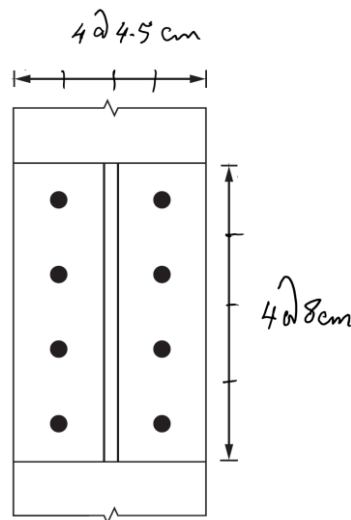
شکل ۱۰-۴۲ خمش در اتصال ورق انتهایی

## مثال ۱۰-۱۳

اتصال شکل زیر، تحت لنگر نهایی  $M_{ux} = 8 \text{ ton.m}$  حول محور افقی (x) قرار گرفته است. پیچ‌ها M20 و از نوع A325X می‌باشند. ضخامت ورق اتصال  $t_f = 2 \text{ cm}$  می‌باشد. مقاومت اتصال را با دو روش زیر کنترل نمایید.

الف) روش توزیع تنش الاستیک

ب) روش توزیع تنش پلاستیک



حل

$$A325 \& \phi_b = 20 \text{ mm} \leq 24 \text{ mm} \rightarrow \phi_{\text{b}} = 8 \frac{\phi_{\text{b}}^2}{\phi_{\text{b}}^2}$$

$$d_b = 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm} \rightarrow A_b = \frac{\pi}{4} (2)^2 = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$M_u = 8 \text{ ton.m} = 800 \text{ ton.cm}$$

## گام ۱- روش توزیع تنش الاستیک

عرض مؤثر ناحیه فشاری

$$b_{eff} = 8t_f \leq b_f$$

$$b_{eff} = 8t_f = 8(2 \text{ cm}) = 16 \text{ cm} \leq b_f = 18 \text{ cm} \rightarrow O.K.$$

حدس اولیه موقعیت تار خنثی

$$D = 32 \text{ cm} \rightarrow d = \frac{D}{6} = \frac{32 \text{ cm}}{6} = 5.33 \text{ cm}$$

موقعیت تار خنثی در میان پیچ‌های ردیف اول و دوم قرار دارد.

سطح مقطع پیچ‌های بالای تار خنثی

$$\Sigma A_b = 6A_b = 6(3.14 \text{ cm}^2) = 18.84 \text{ cm}^2$$

محاسبه فاصله تار خنثی تا مرکز پیچ‌های کششی

$$y = \frac{D - d}{2} = \frac{32 \text{ cm} - 5.33 \text{ cm}}{2} = 13.34 \text{ cm}$$

کنترل لنگر استاتیک سطح (سعی و خطای اول)

$$(\Sigma A_b)y = b_{eff}d \left(\frac{d}{2}\right) \rightarrow d = \sqrt{\frac{2(\Sigma A_b)y}{b_{eff}}} = \sqrt{\frac{2(18.84 \text{ cm}^2)(13.34 \text{ cm})}{16 \text{ cm}}} = 5.60 \text{ cm}$$

اصلاح موقعیت تار خنثی

$$d = 5.60 \text{ cm}$$

موقعیت تار خنثی در میان پیچ‌های ردیف اول و دوم قرار دارد و لذا سطح مقطع پیچ‌های بالای تار خنثی تغییر نمی‌نماید.

اصلاح فاصله تار خنثی تا مرکز پیچ‌های کششی

$$y = \frac{D - d}{2} = \frac{32 \text{ cm} - 5.60 \text{ cm}}{2} = 13.20 \text{ cm}$$

کنترل لنگر استاتیک سطح (سعی و خطای دوم)

$$d = \sqrt{\frac{2(\Sigma A_b)y}{b_{eff}}} = \sqrt{\frac{2(18.84 \text{ cm}^2)(13.20 \text{ cm})}{16 \text{ cm}}} = 5.57 \text{ cm}$$

اختلاف مقادیر به دست آمده

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{|5.60 - 5.57|}{5.57} = 0.5\%$$

دقت قابل قبول است و نیازی به تکرار سعی و خطا نیست.

فاصله پیچ بحرانی تا تار خنثی

$$c = D - L_e - d$$

$$c = 32 \text{ cm} - 4 \text{ cm} - 5.57 \text{ cm} = 22.43 \text{ cm}$$

محاسبه لنگر اینرسی نواحی کششی و فشاری

$$I = \frac{b_{eff}d^3}{3} + \sum\{A_b(y_i - d)^2\}$$

$$I = \frac{(16cm)(5.57cm)^3}{3} + 2(3.14cm^2)\{(12 - 5.57)^2 + (20 - 5.57)^2 + (28 - 5.57)^2\} = 5648cm^4$$

محاسبه نیروی کششی پیچ بحرانی

$$R_{ut} = \left(\frac{M_u c}{I_x}\right) A_b$$

$$R_{ut} = \frac{(800ton.cm)(22.43cm)}{5648cm^4} (3.14cm^2) = 10.0ton$$

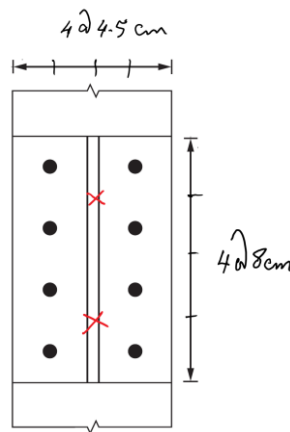
کنترل مقاومت کششی پیچ

$$R_{nt} = f_{nt}A_b = 0.75f_{ub}A_b = (0.75)\left(8\frac{222}{222}\right)(3.14\frac{222}{222}) = 18.84\frac{222}{222}$$

$$R_{ut} = 10.0ton \leq \phi R_{nt} = (0.75)(18.84\frac{222}{222}) = 14.13\frac{222}{222} \rightarrow O.K.$$

## گام ۲ - روش توزیع تنش پلاستیک

بازوی زوج نیروی فشاری و کششی، معمولاً برابر نصف ارتفاع ورق اتصال است.



$$d_m = \frac{D}{2} = \frac{32cm}{2} = 16cm$$

تعداد پیچ‌های بالای تار خنثی، نصف تعداد کل پیچ‌ها است.

$$n' = \frac{n_b}{2} = \frac{8}{2} = 4$$

محاسبه نیروی کششی و فشاری پیچ‌ها

$$R_{ut} = \frac{M_u}{n'd_m} = \frac{M_u}{\left(\frac{n_b}{2}\right)\left(\frac{D}{2}\right)} = \frac{4M_u}{n_b D}$$

$$R_{ut} = \frac{800ton.cm}{(4)(16cm)} = 12.5ton$$

کنترل مقاومت کششی پیچ

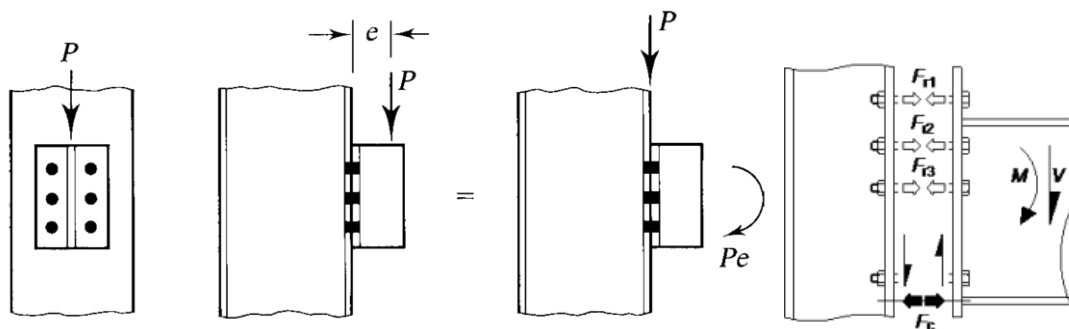
$$R_{nt} = f_{nt}A_b = 0.75f_{ub}A_b = (0.75)\left(8\frac{222}{222}\right)(3.14\frac{222}{222}) = 18.84\frac{222}{222}$$

$$R_{ut} = 12.5 \text{ ton} \leq \phi R_{nt} = (0.75)(18.84) = 14.13 \rightarrow O.K.$$

چنانچه مشاهده می‌شود محاسبات در این روش نسبت به روش اول، بسیار کوتاهتر است. همچنین نتیجه این روش محافظه‌کارانه‌تر بوده و مقدار نیروی کششی پیچ را نسبت به مقدار  $R_{ut} = 11.37 \text{ ton}$  روش قبل، اندکی بیشتر تعیین می‌کند.

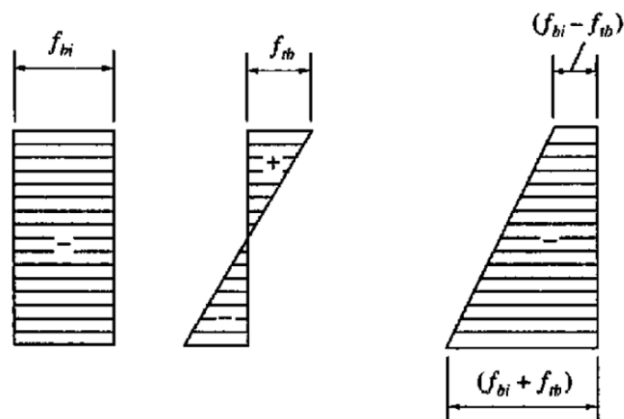
### ۱۰-۱۳ اتصال پیچی تحت نیروی برشی و لنگر خمشی

اثر ترکیبی نیروی برشی و لنگر خمشی در شکل زیر مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰-۴۳ اثر توأم نیروی برشی و لنگر خمشی

پیچ‌های اتصال تحت اثر نیروی برشی، سهم یکسانی دارند. اثر لنگر خمشی باعث ایجاد کشش در پیچ بحرانی (پیچ‌های بالایی) می‌شود. لازم به ذکر است به دلیل کاهش نیروی اصطکاک در بالای اتصال و افزایش آن در پایین اتصال، نیروی اصطکاک اتصال ثابت بوده و اثر اندرکنش نیروی برشی و کششی ( $k_{SC}$ ) در اتصال لحاظ نمی‌گردد. شکل زیر توزیع فشار را میان صفحات اتصال نمایش می‌دهد.



شکل ۱۰-۴۴ نیروی فشاری میان صفحات اتصال

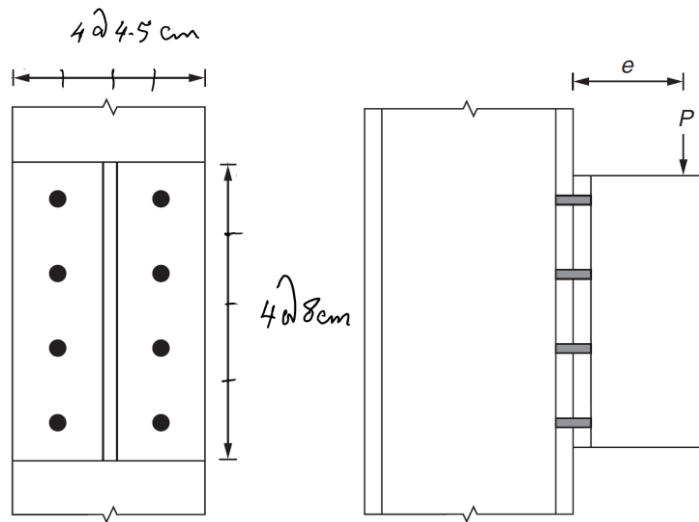


## مثال ۱۰-۱۴

در اتصال شکل زیر، بار مرده  $P_D = 10\text{ton}$  و بار زنده  $P_L = 5\text{ton}$  دارای خروج از مرکزیت ۸ سانتیمتر است. پیچ‌ها M20 و از نوع A325 می‌باشند. مقاومت اتصال را با استفاده از روش توزیع تنش پلاستیک، در دو حالت زیر بررسی نمایید.

الف) اتصال اتکایی (A325X)

ب) اتصال اصطکاکی (A325SC)



حل

$$A325 \text{ و } \phi_b = 20 \text{ mm} \leq 24 \text{ mm} \rightarrow \phi_b = 8 \frac{\phi_b^2}{\phi_b^2}$$

$$d_b = 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm} \rightarrow A_b = \frac{\pi}{4} (2)^2 = 3.14 \text{ cm}^2$$

گام ۱- محاسبه بارهای نهایی

$$V_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2 \times 10 + 1.6 \times 5 = 20 \text{ ton}$$

$$M_u = P_u e = 20 \text{ ton} \times 8 \text{ cm} = 160 \text{ ton.cm}$$

گام ۲- نیروی برشی ناشی از بار ثقلی ( $R_{uv}^V$ )

$$R_{uvx}^V = \frac{V_{ux}}{n_p n_b} = 0$$

$$R_{uvy}^V = \frac{V_{uy}}{n_p n_b} = \frac{20 \text{ ton}}{1 \times 8} = 2.5 \text{ ton}$$

گام ۳- نیروی کششی ناشی از لنگر خمشی ( $R_{ut}^M$ ) در پیچ بحرانی

$$R_{ut} = \frac{M_u}{n'd_m} = \frac{M_u}{\left(\frac{n_b}{2}\right)\left(\frac{D}{2}\right)} = \frac{4M_u}{n_b D}$$

$$R_{ut}^M = \frac{4M_u}{n_b D} = \frac{4(1600000 \cdot 200)}{(8)(3200)} = 2.5 \text{ ton}$$

گام ۴- محاسبه بار نهایی کششی و برشی پیچ بحرانی

$$R_{uv} = \sqrt{R_{uvx}^2 + R_{uvy}^2} = 2.5 \text{ ton}$$

$$R_{ut} = R_{ut}^M = 2.5 \text{ ton}$$

گام ۵- کنترل مقاومت برشی ( $R'_{nv}$ ) در اتصال اتکایی با اندرکنش

مقاومت برشی ( $R_{nv}$ ) و مقاومت کششی ( $R_{nt}$ )

$$A325X \rightarrow f_{nv} = 0.55f_{ub}$$

$$R_{nv} = f_{nv}A_b = 0.55f_{ub}A_b = 0.55 * 8 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} * 3.14 \text{ cm}^2 = 13.82 \text{ ton}$$

$$R_{nt} = f_{nt}A_b = 0.75f_{ub}A_b = 0.75 * 8 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} * 3.14 \text{ cm}^2 = 18.84 \text{ ton}$$

کنترل مقاومت برشی با اندرکنش

$$K_{bv} = 1.3 - \frac{R_{ut}}{\phi R_{nt}} = 1.3 - \frac{2.5 \text{ ton}}{0.75 \times 18.84 \text{ ton}} = 1.12 \not\leq 1 \rightarrow K_{bv} = 1$$

$$R_{uv} = 2.5 \text{ ton} \leq \phi R'_{nv} = \phi K_{bv} R_{nv} = 0.75 \times 1 \times 13.82 \text{ ton} = 10.36 \text{ ton} \rightarrow O.K.$$

گام ۶- کنترل مقاومت برشی ( $R_{nv}$ ) در اتصال اصطکاکی

ضریب  $K_{sc}$  در این مثال اعمال نمی‌گردد و مقاومت برشی ( $R_{nv}$ ) بدون اثر اندرکنش محاسبه می‌گردد.

$$T_b = 0.55f_u A_b = 0.55 \times 8 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} \times 3.14 \text{ cm}^2 = 13.82 \text{ ton}$$

$$R_{nv} = \mu D_u h_f T_b n_s = 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 13.82 \text{ ton} \times 1 = 7.81 \text{ ton}$$

کنترل مقاومت برشی

$$T_u = R_{ut}^M = 2.5 \text{ ton}$$

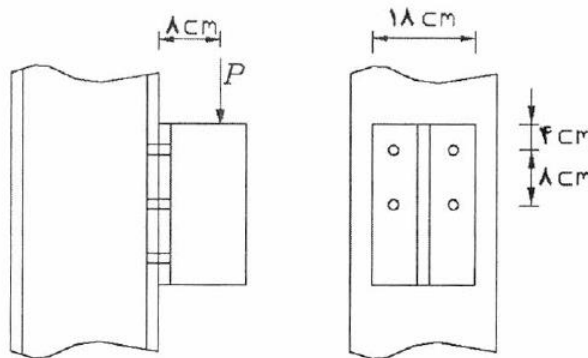
$$R_{uv} = 2.5 \text{ ton} \leq \phi R_{nv} = 1 \times 7.65 \text{ ton} = 7.65 \text{ ton} \rightarrow O.K.$$

## مثال ۱۰-۱۵

در اتصال شکل زیر، بار مرده  $P_D = 10\text{ton}$  و بار زنده  $P_L = 5\text{ton}$  است. پیچ‌ها M20 و از نوع A325 می‌باشند. با استفاده از روش توزیع تنش پلاستیک، تعداد پیچ‌های مورد نیاز اتصال را در دو حالت زیر محاسبه نمایید (پیچ‌ها در ردیف‌های دو تایی).

الف) اتصال اتکایی (A325X)

ب) اتصال اصطکاکی (A325SC)



شکل ۱۰-۴۵ طراحی اتصال تحت اثر لنگر خمشی و برش مثال ۱۰-۱۳

## حل

این اتصال با ۸ عدد پیچ، در مثال قبل حل شده است. برای طراحی تعداد پیچ، ابتدا فرض می‌گردد که پیچ‌ها فقط تحت برش هستند. پس از تعیین تعداد پیچ، اثر لنگر خمشی نیز بررسی می‌شود.

$$F_{325} \& F_p = 20 \leq 24 \rightarrow F_p = 8 \frac{F_{325}}{F_p^2}$$

$$d_b = 20\text{mm} = 2\text{cm} \rightarrow A_b = \frac{\pi}{4} (2)^2 = 3.14\text{cm}^2$$

گام ۱- محاسبه بارهای نهایی

$$V_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2 \times 10 + 1.6 \times 5 = 20\text{ ton}$$

$$M_u = P_u e = 20\text{ton} \times 8\text{cm} = 160\text{ ton.cm}$$

گام ۲- نیروی برشی ناشی از بار ثقلی ( $R_{uv}^V$ ) و محاسبه تعداد پیچ بدون اثر لنگر خمشی در اتصال اتکایی

نیروی برشی

$$R_{uv} = R_{uv}^V = \frac{V_{uy}}{n_p n_b} = \frac{20}{1 \times n_b} = \frac{20\text{ton}}{n_b}$$

مقاومت برشی

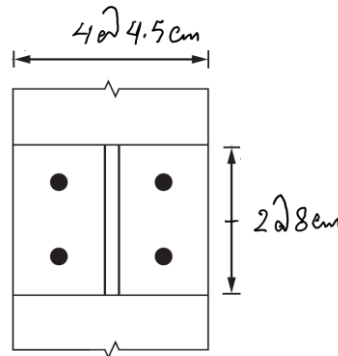
$$A325X \rightarrow f_{nv} = 0.55f_{ub}$$

$$R_{nv} = f_{nv}A_b = 0.55f_{ub}A_b = 0.55 * 8 \frac{222}{22^2} * 3.14cm^2 = 13.82 \frac{222}{22^2}$$

کنترل مقاومت برشی

$$R_{uv} = \frac{20ton}{n_b} \leq \phi R_{nv} = 0.75 * 13.82 ton = 10.36 ton \rightarrow n_b \geq 1.92 \rightarrow use n_b = 4$$

تعداد پیچ ۴ عدد (دو ردیف دوتایی) انتخاب می‌گردد.



$$R_{uv} = \frac{20ton}{4} = 5 ton$$

گام ۳- نیروی کششی ناشی از لنگر خمشی ( $R_{ut}^M$ ) در پیچ بحرانی در اتصال اتکایی

$$R_{ut}^M = \frac{4M_u}{n_b D} = \frac{4(160 \frac{222}{22^2} \cdot 22)}{(4)(16 \frac{22}{22})} = 10 \frac{222}{22^2}$$

گام ۴- محاسبه بار نهایی کششی و برشی پیچ بحرانی

$$R_{uv} = \sqrt{R_{uvx}^V{}^2 + R_{uvy}^V{}^2} = 5 ton$$

$$R_{ut} = R_{ut}^M = 10 \frac{222}{22^2}$$

گام ۵- کنترل مقاومت برشی ( $R_{nv}$ ) و مقاومت کششی ( $R_{nt}$ ) - اتصال اتکایی

$$A325X \rightarrow f_{nv} = 0.55f_{ub}$$

$$R_{nv} = f_{nv}A_b = 0.55f_{ub}A_b = 0.55 * 8 \frac{222}{22^2} * 3.14cm^2 = 13.82 \frac{222}{22^2}$$

$$R_{nt} = f_{nt}A_b = 0.75f_{ub}A_b = 0.75 * 8 \frac{ton}{cm^2} * 3.14cm^2 = 18.84 ton$$

کنترل مقاومت کششی و برشی

$$R_{uv} = 5ton \leq \phi R'_{nv} = 0.75 * 11.19 ton = 8.39 ton \rightarrow O.K.$$

$$R_{ut} = 10ton \leq \phi R'_{nt} = 0.75 * 15.45 ton = 11.59 ton \rightarrow O.K.$$

گام ۶- نیروی برشی ناشی از بار ثقلی ( $R_{uv}^V$ ) و محاسبه تعداد پیچ بدون اثر لنگر خمشی در اتصال اصطکاکی

نیروی برشی ناشی از بار ثقلی

$$R_{uy}^P = \frac{V_{uy}}{n_p n_b} = \frac{20}{1 \times n_b} = \frac{20 \text{ ton}}{n_b}$$

مقاومت برشی ( $R_{nv}$ )

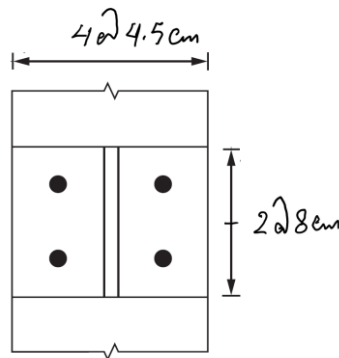
$$T_b = 0.55 f_u A_b = 0.55 \times 8 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} \times 3.14 \text{ cm}^2 = 13.82 \text{ ton}$$

$$R_{nv} = \mu D_u h_f T_b n_s = 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 13.82 \text{ ton} \times 1 = 7.81 \text{ ton}$$

کنترل مقاومت برشی

$$R_{uv} = \frac{20 \text{ ton}}{n_b} \leq \phi R_{nv} = 0.75 \times 7.81 \text{ ton} = 5.86 \text{ ton} \rightarrow n_b \geq 3.41 \rightarrow \text{use } n_b = 4$$

تعداد پیچ ۴ عدد (دو ردیف دوتایی) انتخاب می‌گردد.



$$R_{uv} = \frac{20 \text{ ton}}{4} = 5 \text{ ton}$$

گام ۷- نیروی کششی ناشی از لنگر خمشی ( $R_{ut}^M$ ) در پیچ بحرانی در اتصال اصطکاکی

$$R_{ut}^M = \frac{4M_u}{n_b D} = \frac{4(160 \text{ kNm} \cdot \text{m})}{(4)(16 \text{ cm})} = 10 \text{ kN}$$

گام ۸- کنترل مقاومت برشی ( $R_{nv}$ ) - اتصال اصطکاکی

$$T_b = 0.55 f_u A_b = 0.55 \times 8 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} \times 3.14 \text{ cm}^2 = 13.82 \text{ ton}$$

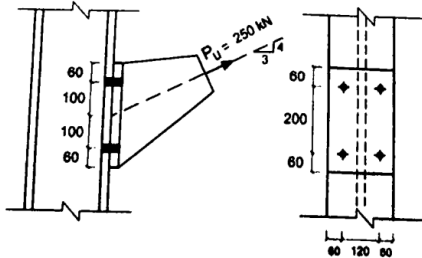
$$R_{nv} = \mu D_u h_f T_b n_s = 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 13.82 \text{ ton} \times 1 = 7.81 \text{ ton}$$

کنترل مقاومت کششی و برشی

$$R_{uv} = 5 \text{ ton} \leq \phi R_{nv} = 1 \times 6.87 \text{ ton} = 6.87 \text{ ton} \rightarrow O.K.$$



۳. در اتصال اتکایی شکل زیر قطر پیچ‌ها برابر ۲۰ میلیمتر است و پیچ‌ها از نوع ۸.۸ هستند. مقاومت کششی طراحی هر یک از پیچ‌ها بر حسب KN کدام است؟ سطح برش پیچ‌ها از قسمت دندانه شده می‌گذرد. (ار دیب هشت ۹۷)



(1) 85

(2) 190

(3) 140

(4) 100

گزینه د

۴. اگر در یک اتصال پیچی با عملکرد اتکایی پیچ‌ها تحت اثر برش و کشش باشد و در پیچ‌ها مقدار  $\frac{\phi F_{ut}}{F_{nt}} = 0.5$  و

$\frac{\phi F_{uv}}{F_{nv}} = 0.25$  باشد، آنگاه مقدار مقاومت برشی طراحی پیچ‌ها کدام است؟ (مهر ۹۶)

(1)  $0.3 F_{nv} A_{nb}$ (2)  $0.75 F_{nv} A_{nb}$ (3)  $0.4 F_{nv} A_{nb}$ (4)  $0.525 F_{nv} A_{nb}$ 

گزینه الف

۵. در یک اتصال پیچی با عملکرد اتکایی و با شش عدد پیچ M27 و از نوع 10.9 حداکثر نیروی نهایی قابل تحمل توسط اتصال فقط از منظر برش در پیچ‌ها بر حسب کیلو نیوتن به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ سطح برش پیچ‌ها از ناحیه دندانه شده نمی‌گذرد و فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو برابر ۵۰۰ میلی‌متر است. (شهریور ۹۵)

(1) 2800

(2) 2100

(3) 1400

(4) 700

گزینه ج

۶. فرض کنید برای اتصال ورق‌های وصله یک عضو فولادی از اتصال پیچی و به صورت برشی و با عملکرد اتکایی استفاده شده است. اگر در این اتصال ضخامت ورق‌های پرکننده برابر ۲۰ میلی‌متر باشد، برای آن که نیازی به ادامه دادن ورق‌های پرکننده از اطراف ورق اتصال نباشد، مقدار مقاومت برشی طراحی پیچ‌ها چقدر است؟ (سطح برش از قسمت دندان‌شده می‌گذرد و پیچ‌ها از نوع پرمقاومت است) (شهریور ۹۵)

0.35Fu (1)

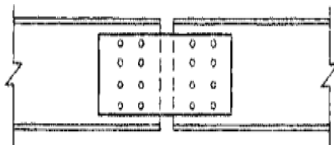
0.38Fu (2)

0.45Fu (3)

0.29Fu(4)

### گزینه د

۷. مطابق شکل زیر برای وصله یک عضو کششی با مقطع ناودانی تک از دو ورق اتصال جان استفاده شده است. سوراخ‌های ناودانی استاندارد و سوراخ‌های ورق وصله لوبیایی کوتاه با شیار عمود بر امتداد نیرو هستند. وضعیت سطوح تماس کلاس A بوده و از ورق پرکننده بین قطعات اتصال استفاده نشده است. در صورتی که عملکرد اتصال به صورت اصطکاکی در نظر گرفته شود و مقدار نیروی کششی محوری نیروی کششی محوری نهایی (ضریب دار) برابر ۵۰۰ کیلونیوتن باشد، فقط بر اساس کنترل لغزش بحرانی، برای این اتصال کلاً چند عدد پیچ M20 از نوع A325 لازم است؟ (شهریور ۹۵)



14(1)

12(2)

10(3)

8(4)

### گزینه د

۸. یک اتصال پیچی از نوع اتکایی با پیچ پرمقاومت طوریکه سطح برش پیچ‌ها از قسمت دندان‌شده نمی‌گذرد مفروض است. در صورتی که این اتصال تحت اثر مشترک کشش و برش باشد و تنش کششی موردنیاز یک پیچ ۰,۳۰ مقاومت کششی اسمی آن پیچ وقتی که نیروی کششی به‌تنهایی عمل کند، باشد، نسبت مقاومت برشی اسمی این پیچ به تنش کششی نهایی آن کدام است؟ (شهریور ۹۵)

۰,۵۵(۴)

۰,۵ (۳)

۰,۴۵ (۲)

۰,۴ (۱)

### گزینه ج



۹. برای اتصال دو تسمه با ضخامت یکسان تحت نیروی کششی، از پیچ M20 از نوع A325 با سوراخ استاندارد و نوع اتکایی استفاده خواهد شد. تسمه‌ها از فولاد با تنش تسلیم 240 MPa و تنش کششی نهایی 370 MPa می‌باشند. فاصله مرکز تا مرکز سوراخ‌ها ۸۰ میلی‌متر و فاصله مرکز سوراخ‌های کناری از لبه آزاد تسمه برابر ۶۰ میلی‌متر است. حداقل ضخامت هر تسمه بر حسب میلی‌متر چقدر باشد تا مقاومت طراحی اتکایی جدار سوراخ پیچ‌ها از مقاومت برشی طراحی پیچ‌ها کمتر باشد؟ (شهریور ۹۵)

۱۵ (۴)

۱۲ (۳)

۱۰ (۲)

۸ (۱)

گزینه الف

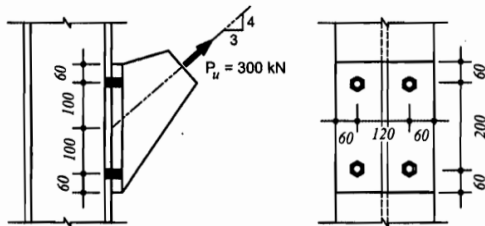
۱۰. در اتصال اتکایی شکل زیر قطر پیچ‌ها برابر ۲۰ میلی‌متر است و پیچ‌ها از نوع ۸.۸ است. مقاومت کششی طراحی هر یک از پیچ‌ها بر حسب کیلو نیوتن کدام است؟ سطح برش پیچ‌ها از قسمت دندانه شده می‌گذرد (بهمن ۹۴).

83.7 (1)

111.6 (2)

141.3 (3)

188.4 (4)



گزینه الف

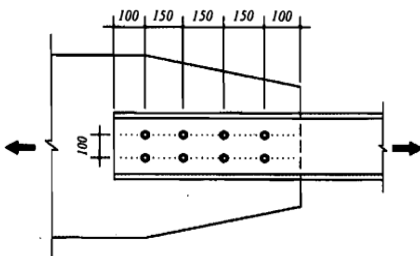
۱۱. ناودانی شکل زیر تحت کشش قرار دارد. پیچ‌ها از نوع پر مقاومت A490 با قطر 20mm می‌باشد و سطح برش از محل دندانه شده نمی‌گذرد. در صورتی که اتصال در حالت اتکایی باشد و با سفت کردن پیچ‌ها به حالت اصطکاکی در آوریم مقاومت برشی طراحی اتصال چقدر تغییر می‌یابد؟ (سوراخ از نوع استاندارد و وضعیت سطحی کلاس B است. از ورق پرکننده استفاده نمی‌شود).

22 درصد افزایش (1)

22 درصد کاهش (2)

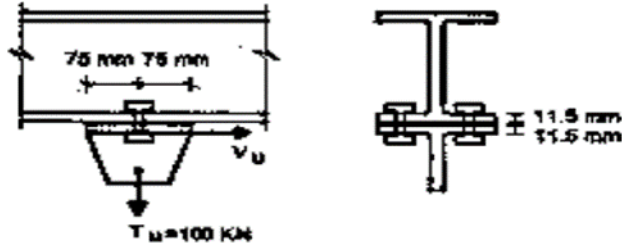
12 درصد افزایش (3)

12 درصد کاهش (4)



گزینه ب

۱۲. در اتصال پیچی اصطکاکی نشان داده شده در شکل، مقدار ظرفیت برشی طراحی به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک است؟ فولاد از نوع ST37 ( $F_u = 270 \text{ MPa}$  و  $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) پیچ‌ها M20 و از نوع A325 و سوراخ‌ها استاندارد می‌باشد و فواصل سوراخ‌ها از لبه به درستی تنظیم شده است. وضعیت سطحی اتصال، کلاس A فرض می‌شود. (محاسبات خرداد ۹۳)



48 kN(1)

98 kN (2)

33 kN(3)

66 kN(4)

گزینه د

۱۳. چنانچه در یک اتصال پیچی از نوع اتکایی، تنش برش ناشی از بارهای ضریب دار ۴۰ درصد تنش برش اسمی پیچ باشد، در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، حداکثر تنش کششی اسمی پیچ چقدر می‌تواند در نظر گرفته شود؟ پیچ از نوع پرمقاومت است؟ (آذر ۹۲)

۰.۷۸Fu (د)

۰.۷Fu (ج)

۰.۶Fu (ب)

Fu × ۰,۷۵ (الف)

گزینه ب

## ۱۰-۱۵ تمرین‌های فصل دهم

توجه:

- فولاد مصرفی پروفیل‌ها و ورق‌ها از نوع ST37 می‌باشد.
- پارامتر  $\kappa$  طبق مقادیر اعلام شده فرض می‌شود که در محدوده زیر قرار دارد:  

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

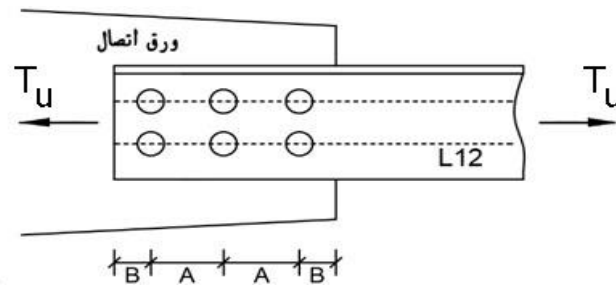
### تمرین ۱۰-۷

ظرفیت کششی اتصال شکل را در دو حالت زیر تعیین کنید. ضخامت ورق اتصال  $t_{pL}$  است.

الف) هرگاه این اتصال از نوع اصطکاکی باشد.

ب) هرگاه این اتصال از نوع اتکایی بوده و سطح برش خارج از قسمت دندانه‌دار پیچ‌ها واقع شده است. نوع پیچ‌ها A325 و به قطر  $\frac{3}{4}$  اینچ است. مقادیر A و B را تعیین کنید.

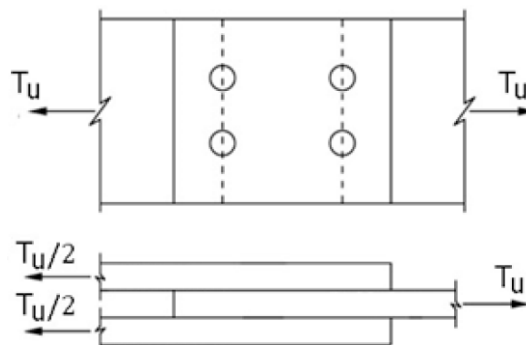
$$t_{pL} = \kappa(mm)$$



### تمرین ۱۰-۸

حداکثر ظرفیت کششی اتصال زیر را تعیین کنید، در صورتی که نوع پیچ‌ها A325 و به قطر ۲۰ میلیمتر است و سطح برش از قسمت دندانه‌دار پیچ‌ها می‌گذرد (اتصال اتکایی). عرض ورق‌ها  $b_{pl}$  است. ضخامت ورق‌های کناری  $t_{p1}$  و ضخامت ورق میانی  $t_{p12}$  می‌باشد.

$$b_{pl} = \kappa(cm), t_{p1} = 8mm, t_{p12} = 20mm$$



## تمرین ۹-۱۰

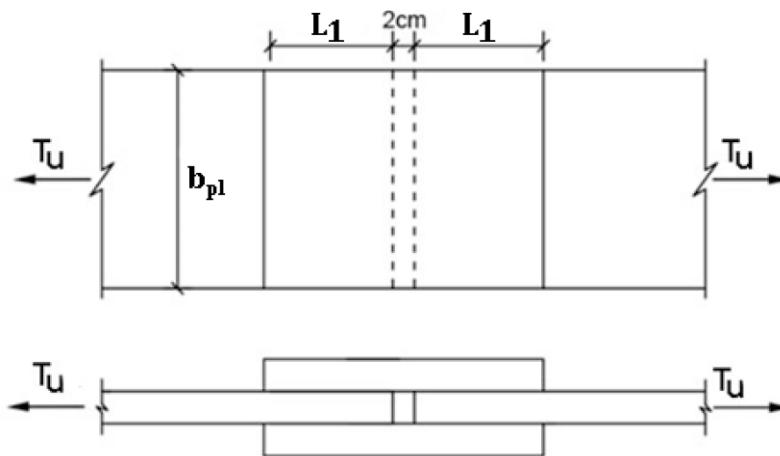
اتصال دو صفحه از طریق اتصال پیچی دو تسمه به شکل زیر برقرار شده است. چنانچه از پیچ‌های به قطر ۲۲ میلیمتر از نوع A325 با سطح برش خارج از قسمت دندانه‌دار پیچ‌ها استفاده شده باشد و اتصال اصطکاکی موردنظر باشد، مطلوب است:

الف) تعیین ضخامت مناسب برای صفحه و تسمه کششی اتصال.

ب) طراحی پیچ‌های اتصال.

ج) انجام کلیه کنترل‌های لازم در اتصال.

$$T_u = 2\kappa(\text{ton}), b_{pl} = \kappa(\text{cm}), L_1 = 13\text{cm}$$



## تمرین ۱۰-۱۰

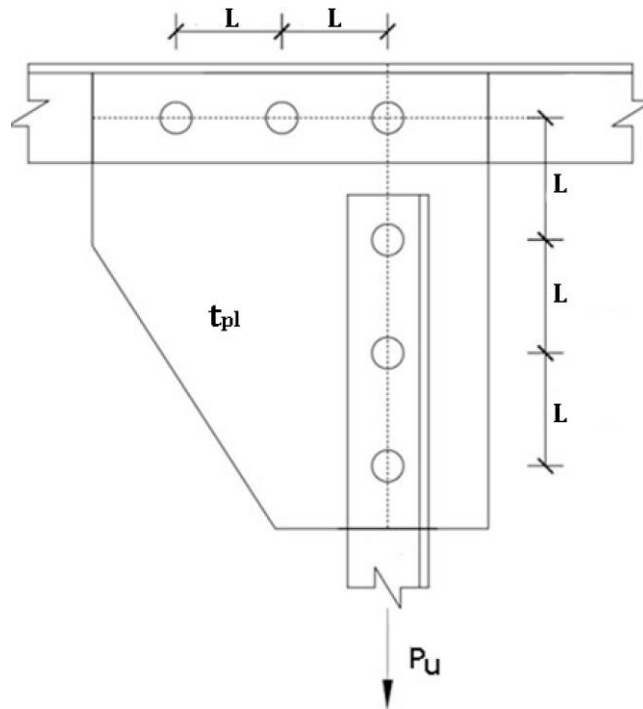
اتصال شکل زیر، دوپل نبشی قائم  $2L8 \times 8 \times 0.8\text{cm}$  توسط ورق با ضخامت  $t_{pl}$  به دوپل نبشی افقی  $2L12 \times 12 \times 1.2\text{cm}$  متصل شده است. پیچ‌های اتصال از نوع A490 هستند. چنانچه سطح برش خارج از قسمت دندانه‌دار فرض شود و اتصال اتکایی و ضوابط ایران موردنظر باشد، مطلوب است:

الف) محاسبه نیروی مجاز  $P_u$  بر اساس ظرفیت نبشی کششی (قطر سوراخ‌ها 18mm فرض می‌گردند).

ب) تعیین قطر پیچ‌های مورد استفاده در ردیف‌های افقی و قائم اتصال به نحوی که نیروی مجاز  $P_u$  از نبشی قائم به نبشی افقی انتقال یابد.

ج) انجام کلیه کنترل‌های لازم (لهیدگی، فواصل پیچ‌ها و ...)

$$t_{pl} = 10\text{mm}, L = 0.5\kappa(\text{cm})$$



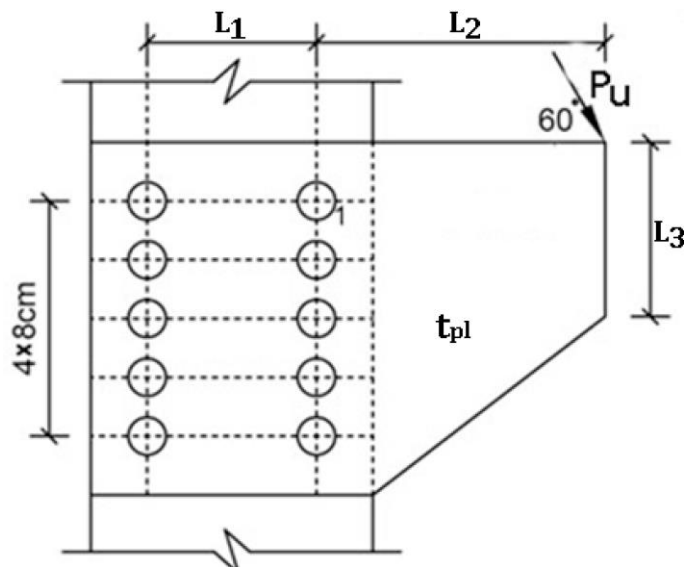
## تمرین ۱۰-۱۱

در شکل زیر نوع پیچ‌ها A325 و قطر آنها  $\frac{3}{4}$  اینچ است. مطلوبست تعیین مقدار مجاز نیروی  $P_u$  در دو حالت زیر:

(الف) اتصال اتکایی (سطح برش خارج از قسمت دندانه‌دار پیچ‌ها)

(ب) اتصال اصطکاکی

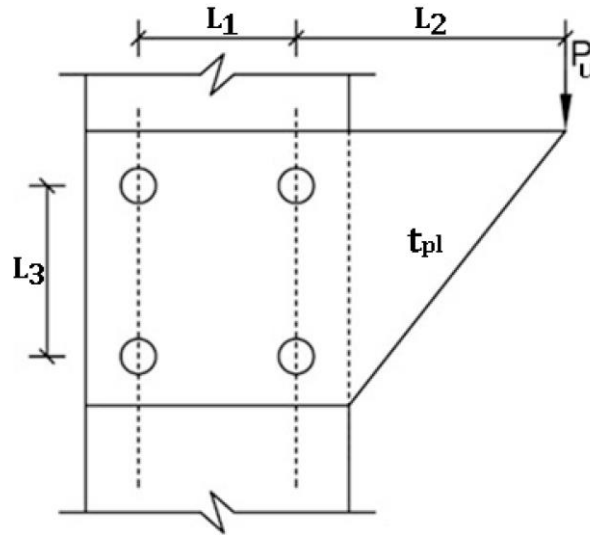
$$t_{pl} = 14\text{mm}, L_1 = 0.5\kappa(\text{cm}), L_2 = \kappa(\text{cm}), L_3 = 20\text{cm}$$



## تمرین ۱۰-۱۲

ورق اتصال در شکل زیر با ۴ پیچ A325 به ستون در اتصال نوع اتکایی وصل شده است. اندازه پیچ‌های موردنیاز اتصال را تعیین کنید. سطح برش خارج از قسمت دندانه‌دار پیچ واقع شده است.

$$P_u = 2\kappa(\text{ton}), L_1 = \kappa(\text{cm}), L_2 = 20\text{cm}, L_3 = 20\text{cm}$$



## تمرین ۱۰-۱۳

در اتصال شکل زیر، تعداد پیچ‌ها ۱۶ عدد است و پیچ‌ها از نوع A325 می‌باشند. مطلوبست محاسبه قطر پیچ در دو حالت زیر:

الف) اتصال، اتکایی در نظر گرفته می‌شود به طوری که سطح برش از قسمت دندانه‌دار نمی‌گذرد.

ب) اتصال اصطکاکی

$$P_u = \kappa(\text{ton}), L_1 = 7.5\text{cm}, L_2 = 25\text{cm}, L_3 = 25\text{cm}$$

