فصل ۱۲

اتصالات پیچی

۱-۱۲ مقدمه

سالیان متمادی پرچ وسیله مناسب اتصال قطعات فولادی بوده است ولی در چند دهه گذشته اتصالات پیچی و جوشی مناسبترین و رایج‌ترین وسیله برای سازه‌های فولادی شمرده شده و تقریباً از پرچ استفاده‌ای نشده است. در این فصل و فصل بعد عمدتاً به بحث در مورد اتصالات پیچی پرداخته خواهد شد و تنها در انتهای آن مختصری از پرچ سخن گفته خواهد شد.

اتصال با پیچ سریعترین روش نصب سازه به شمار می‌رود که در آن نیازی به کارگر ماهر نظیر اجرای اتصالات پرچی و جوشی نیست. لذا در محلهایی که سرعت و ارزانی کارگر مطرح باشد بهترین روش نصب به شمار می‌رود. گرچه قیمت پیچهای پرمقاومت پایین نیست ولی در مقایسه با پرچ که نیاز به کارگر ماهر و تجهیزات گران‌قیمت دارد ارزانتر تمام می‌شود مخصوصاً به دلیل بالا بودن مقاومت پیچ نسبت به پرچ تعداد پیچها نیز کمتر خواهد بود.

۲-۱۲ انواع پیچها

از چندین نوع پیچ در سازه‌های فولادی استفاده می‌شود که انواع آنها ذیلاً شرح داده می‌شود:

پیچهای خام Unfinished bolts: به این پیچها، پیچ معمولی نیز گفته می‌شود. برطبق ASTM این نوع پیچها A 307 نامیده می‌شوند و فولاد آنها مشابه فولاد کربنی نرم است. ضوابط سازه‌های فولادی ایران نیز مشابه آنرا معرفی می‌کند.

این پیچها معمولاً با سر مربعی شکل و گاهی شش ضلعی هستند. انواع شش ضلعی به راحتی باز و بست می‌شوند و ظاهر مناسبتری نیز دارند. چون انحراف ساخت در این پیچها بالا است لذا از پرچ و یا پیچ پرمقاومت هم قطر خود استحکام کمتری دارند. از این پیچها در اتصالات درجه دوم و سازه‌های سبک و

تحت بارهای استاتیک استفاده می‌شود.

اگر در جایی که استفاده از پیچ خام ممکن است از پیچهای پرمقاومت استفاده شود جنبه اقتصادی و منطقی عمل رعایت نشده است. طراحی و محاسبه پیچهای خام مشابه پرچ می‌باشد و تنها تنش مجاز در آنها متفاوت است.

پیچهای پرمقاومت High-Strength bolts: این پیچها از فولاد باکربن متوسط و عملیات حرارتی و فولاد آلیاژی ساخته می‌شوند و مقاومت کششی آنها دو یا چند برابر مقاومت فولاد متعارف است. دو نوع پیچ پرمقاومت وجود دارد، نوع اول پیچهای A 325 است که از فولاد باکربن متوسط و عملیات حرارتی تهیه می‌شود و نوع دوم پیچهای A 490 است که از فولاد آلیاژی و عملیات حرارتی تهیه می‌گردد. ضوابط سازه‌های فولادی ایران نیز از این پیچها و مشابه آن سخن می‌گوید. از پیچهای پرمقاومت در انواع سازه‌های فولادی کوچک، آسمان خراش و پل استفاده می‌شود. در پیچهای پرمقاومت ضعف پرچها برطرف شده است زیرا در تنه پرچها کشش قابل توجهی به وجود نمی‌آید و نمی‌تواند تحت بارهای بزرگ و متناوب استقامت نشان دهد و در اثر این‌گونه بارها لق شده و می‌باید جایگزین گردند. پیچهای پرمقاومت را می‌توان آنچنان محکم نمود که صفحات بین سرپیچ و مهره آن کاملاً به یکدیگر فشرده شده و انتقال نیرو از طریق نیروی اصطکاک بین صفحات انجام گیرد.

گاهی پیچهای پرمقاومت از فولاد A 449 آمریکایی و در قطرهایی بزرگتر از $1\frac{1}{2}$ in ساخته می‌شود، از این پیچها نیز در موارد مختلف استفاده می‌شود.

پیچ پر مقاومت

۱۲-۳ تاریخچه پیچهای پرمقاومت

اتصالاتی که در آنها از پیچهای پرمقاومت استفاده شده است از نظر کارایی و صرفه‌جویی بر اتصالات پرچی ارجحیت داشته و عملاً بهترین نوع اتصال قطعات مختلف فولادی به یکدیگر است، در سال ۱۹۴۷ میلادی مؤسسه (RCRBSJEF) تحقیقات در اتصالات پرچی و پیچی سازه‌ها تأسیس شد و اولین مجله این مؤسسه در سال ۱۹۵۱ منتشر شده و در آن پیچهای پرمقاومت برای استفاده در ساختمان و پل و تحت اثر بارهای استاتیک و دینامیک توصیه گردید به‌زودی نه تنها از اتصالات پیچی به عنوان بهترین نوع اتصالات نصب قطعات در کارگاه استفاده شد بلکه برای اتصال قطعات در کارخانه نیز کاربرد فراوانی پیدا کرد، در

اجرای پل مکی‌ناک میشیگان (Mackinuc) بیش از یک میلیون پیچ پرمقاومت به‌کار گرفته شد.

اتصالاتی که قبلاً توسط پیچهای معمولی اجرا می‌شد تحت بارهای متناوب عملکرد مناسبی نداشت زیراکه این پیچها معمولاً باز و لق می‌شدند و طی سالیان دراز مسأله فوق گریبانگیر مهندسین بود و از وسایل قفل کننده مهره استفاده می‌کردند تا اینکه استفاده از پیچهای پرمقاومت راه‌حل نهایی را ارائه داد.

۱۲-۴ مزایای پیچهای پرمقاومت

از بین مزایای متعدد پیچهای پرمقاومت می‌توان به مزایای اصلی آن در ذیل اشاره کرد:

۱- در مقایسه با پرچ به گروه نصاب کوچکی نیاز است. دو گروه دونفری نصاب به‌راحتی می‌توانند بسیار بیشتر از گروه استاندارد چهارنفری پرچ پیچ نصب کند و در نتیجه سرعت نصب سازه بالا خواهد رفت.

۲- در مقایسه با پرچ برای رسیدن به استحکام برابر به تعداد پیچ کمتری نیاز است.

۳- ایجاد اتصال مناسب پیچی نیاز به تجربه زیادی ندارد در حالی که ایجاد اتصال صحیح جوشی و یا پرچی توسط افراد با تجربه زیاد لازم است. برای آموزش افراد در اتصال پیچی چند ساعت آموزش کفایت خواهد کرد.

۴- مانند اتصالات جوشی نیاز به پیچهای نصب موقت نمی‌باشد.

۵- از نظر ایجاد صدا انجام یک اتصال پیچی ابداً با انجام یک اتصال پرچی قابل مقایسه نیست.

۶- برای انجام یک اتصال پیچی تجهیزات کم هزینه‌ای لازم است.

۷- مانند اتصالات پرچی خطر آتش‌گیری و یا پرتاب پرچ داغ وجود ندارد.

۸- آزمایشات انجام شده روی اتصال پرچی و اتصال با پیچ پرمقاومت پیش تنیده نشان داده است که استحکام خستگی پیچ پرمقاومت کاملاً بالاتر است و حتی استحکام خستگی پیچهای پرمقاومت عملاً بیشتر و یا حداقل برابر با اتصال حاصل از جوش است.

۹- هرگاه جداسازی یک سازهٔ فولادی موردنیاز باشد واضح است در اتصالات پیچی سهولت عمل بسیار چشم‌گیر است.

۱۲-۵ پیچهای پیش‌تنیده و غیرپیش‌تنیده

برطبق ضوابط LRFD نیاز به پیش‌تنیدگی کامل کلیهٔ پیچهای پرمقاومت نیست. زیرا پیش‌تنیدگی کلیه پیچها هزینه‌بر است و به این جهت پیچهایی که پیش‌تنیدگی آنها الزامی است، باید روی نقشه‌ها معین شوند. پیچهایی که تحت کشش مستقیم قرار دارند و یا لغزش اتصال آنها مسأله برانگیز است از جمله پیچهایی

هستند که الزام به پیش‌تنیدگی دارند. اتصالات تحت اثر بارهای خستگی‌آور نیز از این نوع پیچها هستند. ضوابط LRFD اتصالاتی را که پیش‌تنیدگی پیچها در آنها الزامی است معین کرده است از آن جمله می‌توان به اتصالات تکیه گاهی ماشین‌آلات متحرک و یا تیرهای حمال آنها و تکیه گاه هر نوع بار زنده‌ای که ایجاد تنش ضربه‌ای و یا نوسانی می‌کند و وصله ستونهای ساختمانهای مرتفع‌تر از ۶۰ متر و اتصال کلیه تیرها و شاه‌تیرها به ستونها و یا سایر تیرها و شاه‌تیرها هرگاه ستونها دارای بادبند باشند و سازه ارتفاعی بلندتر از ۴۰ متر باشد اشاره کرد.

لازم نیست که سایر پیچها تا پیش‌تنیدگی کامل محکم شوند. در حالت متعارف کلیه صفحات مورد اتصال کاملاً به یکدیگر فشرده می‌شوند حالت متعارف زمانی حاصل می‌شود که یک کارگر با نیروی کامل خود به کمک یک آچار متعارف پیچ را محکم کند و یا به کمک آچار بادی چندین ضربه به پیچ وارد نماید. بدیهی است در یک چنین حالتی میزان محکم‌شدن پیچها با حالت پیش‌تنیدگی متفاوت خواهد بود و به این جهت پیچهای با چنین محکم‌شدنی باید روی نقشه‌های طراحی و نصب معین شوند.

در جدول (۱۲-۱) نیروی لازم پیش‌تنیدگی که بار دوام آنها گفته می‌شود و برای پیچهای اصطکاکی و پیچهایی که مستقیماً تحت اثر کشش قرار دارند الزامی است ذکر شده است. در این حالت کلیه پیچهای A325 و A490 تا ۷۰ درصد استحکام کششی حداقل فولاد پیچها پیش‌تنیده می‌شوند.

چون کیفیت پیچهای A449 مانند پیچهای A490 و A325 نیست لذا از پیچهای A449 برای اتصالات اصطکاکی استفاده نخواهد شد.

جدول ۱۲-۱ بار دوام پیچها که برای اتصالات اصطکاکی و کششی لازم است.

قطر پیچ به اینچ	پیچهای A325	پیچهای A490
$\frac{1}{2}$	۵۳kN	۶۷kN
$\frac{5}{8}$	۸۵	۱۰۷
$\frac{3}{4}$	۱۲۵	۱۵۶
$\frac{7}{8}$	۱۷۳	۲۱۸
۱	۲۲۷	۲۸۵
$1\frac{1}{8}$	۲۴۹	۳۵۶
$1\frac{1}{4}$	۳۱۶	۴۵۴
$1\frac{3}{8}$	۳۷۸	۵۳۸
$1\frac{1}{2}$	۴۵۸	۶۵۸

گرچه تصور برخی از مهندسین این است که در مقایسه با پرچ اتصالات پیچهای پرمقاومت اندکی لغزش خواهند داشت؛ آزمایشات نشان می‌دهد که میزان لغزندگی در اتصالات با پیچهای پرمقاومت تحت بار مشابه کمتر از لغزش در اتصالات پرچی است.

ذکر این مطلب جالب است که بدانیم برای جلوگیری از شل‌شدن مهره در پیچهای پرمقاومت پیش‌تنیده نیازی به پیش‌بینی خاصی نیست. اگر با پیچاندن لازم مهره پیش‌تنیدگی کامل در پیچ ایجاد شود، هرگز مهرهٔ پیچ تمایلی به شل‌شدن نخواهد داشت. در هر صورت ممکن است اگر ارتعاش نیرو بالا باشد مهره پیچ شل شود در این صورت، گاهی با استفاده از دو مهره بجای یک مهره و گاهی با جوش مهره به پیچ مشکل را حل می‌کنند باید گفت در هر دو راه‌حل فوق نتیجه به دست آمده موفقیت‌آمیز است.

۱۲-۶ روشهای پیش‌تنیدگی کامل پیچها

قبلاً روش پیچاندن متعارف پیچهای پرمقاومت را ذکر کردیم. برای اینکه بتوان به پیش‌تنیدگی کامل پیچ رسید ضوابط LRFD روشهای زیر را مجاز می‌داند.

روش پیچاندن اضافی: در این روش ابتدا پیچ را به صورت متعارف محکم می‌کنند (snug-tight condition) سپس با توجه به طول تنهٔ پیچ و شیب سطوح خارجی قطعات مورد اتصال با کمک اهرم مهرهٔ پیچ را از $\frac{1}{3}$ تا یک دور کامل اضافه‌تر می‌پیچانند.

روش آچار مدرج: در این روش آچار طوری تنظیم شده است که لنگر پیچشی مشخصی را جهت ایجاد پیش‌تنیدگی لازم در پیچ بوجود می‌آورد. آچار باید بطور روزانه تنظیم شده و از واشرهای سخت شده استفاده شود. پیچها باید در کارگاه در مقابل گردوخاک و رطوبت حفاظت شوند.

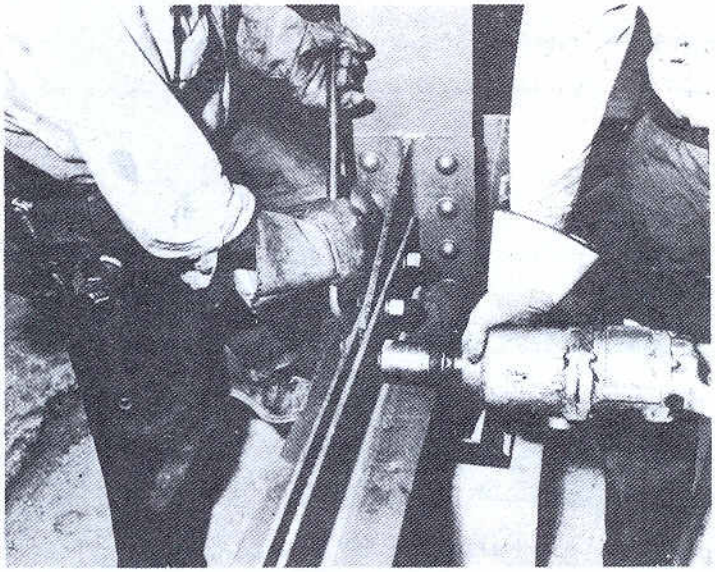
روش واشر نشان‌دهنده: در این روش از واشری که یک سطح آن دارای تضرسی به صورت قوسهای کوچک است استفاده می‌شود. هرگاه پیش‌تنیدگی لازم در پیچ ایجاد شود تضرس خارجی مهره کم می‌شود. میزان صاف شدن سطح واشر نشان دهندهٔ نیروی درون تنهٔ پیچ است. در زمان پیش‌تنیدگی کامل پیچ سطح واشر باید دارای تضرسی حدود 0.4mm و یا کمتر باشد.

برای هیچ یک از روشهای فوق بارکششی حداکثر پیچ معین نشده است. لذا می‌توان تا زمانی که پیچ نبریده باشد به آن نیرو وارد کرد. اگر احیاناً پیچ ببرد، کافی است که از پیچ دیگری استفاده شود. باید توجه شود که استحکام مهره بالاتر از استحکام نهایی پیچ است به این دلیل همواره قبل از هرزشدن مهره پیچ خواهد برید.

هرگاه بار وارد بر اتصال از نوع بار خستگی‌آور باشد، باید از اتصال اصطکاکی پیچ‌ها استفاده شود. در این حالت مقدار نیروی وارده بر اتصال کمتر از نیروی اصطکاکی بوجود آمده است لذا صفحات روی یکدیگر نخواهند لغزید و چون نیرویی بر پیچها وارد نمی‌شود چگونه می‌توان انتظار داشت که پیچها در اثر

خستگی گسیخته شوند. مقاومت اصطکاکی اتصالات یک حالت حدی بهره‌برداری براساس بارهای کاربردی‌است. در این اتصالات بارهای مجاز وارده بر اتصال نباید بیشتر از نیروی اصطکاکی بین قطعات گردد.

وضعیت دیگری که استفاده از اتصالات اصطکاکی ارجحیت دارد، زمانی است که سوراخ پیچ بزرگتر از اندازه تنهٔ پیچ است (نظیر سوراخهای لوبیایی) و یا اتصال تحت بارهای نوسانی شدید قرار دارد و یا پیچ و جوش به صورت مشترک تحمل نیرو خواهند کرد.



نصب پیچ پرمقاومت

۱۲-۷ اتصالات اصطکاکی و اتصالات اتکایی (برشی)

هرگاه پیچهای پرمقاومت به پیش‌تنیدگی کامل برسند، قطعات اتصال یافته را بیکدیگر خواهند فشرد و در نتیجه نیروی قابل ملاحظه‌ای برای لغزش قطعات روی یکدیگر لازم خواهد بود. نیروی مقاوم به‌لغزندگی در اتصال برابر با حاصل‌ضرب نیروی پیش‌تنیدگی پیچها در ضریب اصطکاک اتصال خواهد بود.

اگر مقدار بار وارده از مقدار نیروی مجاز اصطکاک کمتر باشد، اتصال بدون لغزش باقی خواهد ماند و اگر مقدار بار از نیروی اصطکاک بیشتر شود، قطعات روی یکدیگر لغزیده مانند شکل (۱۲-۱) تمایل به‌برش پیچها خواهند داشت.

سطوح اتصال و محل استقرار پیچها باید عاری از هرگونه آلودگی، روغن، زنگ‌زدگی و نظیر آن باشد تا بتوان از اتصال کامل قطعات به یکدیگر مطمئن بود. سطوح خارجی قطعات مورد اتصال، نباید نسبت به‌هم شیبی بیشتر از ۱ به ۲۰ داشته باشند مگر این‌که از واشرهای گوه‌ای استفاده شود.

اگر سطوح در تماس گالوانیزه شده باشند، ضریب اصطکاک به حدود $\frac{1}{2}$ ضریب اصطکاک سطوح فولادی لخت تقلیل خواهد یافت. مقدار ضریب اصطکاک را می‌توان با برس‌زدن سطوح مورد تماس و بهتر از آن با تمیزکردن سطوح توسط دستگاه ماسه‌پاش بهبود بخشید.

برطبق ضوابط AASHTO - 83 اگر قرار باشد سطوح گالوانیزه شده قبل از نصب با برس سیمی و یا دستگاه ماسه‌پاش تمیز شوند باید عمق گالوانیزه شدن بالا باشد.

ضوابط ASTM گالوانیزه کردن پیچهای پرمقاومت A490 را مجاز نمی‌داند زیرا تصور می‌رود که خطر تردشکنی برخی از انواع آنها پس از گالوانیزه شدن وجود داشته باشد.

اگر از تمیزکاری خاص جهت بالا بردن ضریب اصطکاک سطوح در تماس استفاده شود می‌توان برطبق ضوابط LRFD میزان ضریب اصطکاک اتصال را بالا برد.

۱۲-۸ اتصالات مختلط

پیچها را می‌توان در برخی از موارد بهمراه جوش و یا پرچ به‌کار برد. در ضوابط LRFD برای این حالات قواعدی ذکر شده است.

اختلاط جوش و پیچ: در کارهای جدید اگر از پیچهای متعارف نظیر A 307 و یا از پیچهای پرمقاومت ولی به منظور اتصال اتکایی (برشی) استفاده شده باشد، این نوع اتصالها را نمی‌توان با جوش مخلوط کرد. زیرا قبل از اینکه اتصال به بارنهایی خود برسد لغزش در پیچها باعث خواهد شد قسمت‌اعظم بار به جوش وارد شود. در این صورت جوش را باید برای ظرفیت باربری کامل اتصال طراحی نمود.

اختلاط پیچهای پرمقاومت و پرچ: پیچهای پرمقاومت را می‌توان در باربری مشترک اتصالات جدید پرچی و یا قدیم پرچی دخالت داد (به دلیل شکل‌پذیری پرچها امکان عملکرد توأم آنها با یکدیگر ممکن است).

۱۲-۹ اندازه سوراخ پیچها و پرچها

علاوه بر سوراخهای استاندارد برای پیچها و پرچها که عملاً 1.5mm بزرگتر از قطر پیچها یا پرچها گرفته می‌شود، سه نوع دیگر سوراخ که سوراخهای بزرگ شده، سوراخهای لوبیایی کوتاه و سوراخهای لوبیایی بلند نامیده می‌شوند نیز توسط کتاب راهنمای LRFD معرفی شده است که در جدول ۱۲-۲ ذکر شده است.

جدول ۱۲-۲ ابعاد اسمی سوراخها

قطر پیچ	ابعاد سوراخ (mm)			
mm	قطر استاندارد	قطر بزرگ شده	لوبیایی کوتاه (طول×عرض)	لوبیایی بلند (طول×عرض)
	d+1.5	d+7	(d+1.5)(d+10)	(d+1.5)(2.5d)

موارد استفاده از سوراخهای مختلف ذیلاً ذکر می‌شود.

سوراخهای بزرگ شده: از این سوراخها در اتصالات اصطکاکی استفاده خواهد شد. استفاده از آنها در نوع اتکایی (یا برشی) مجاز نیست. باید از واشرهای تغییر شکل‌پذیر که در سطح خارجی ورقهای مورد اتصال قرار می‌گیرد خودداری شود.

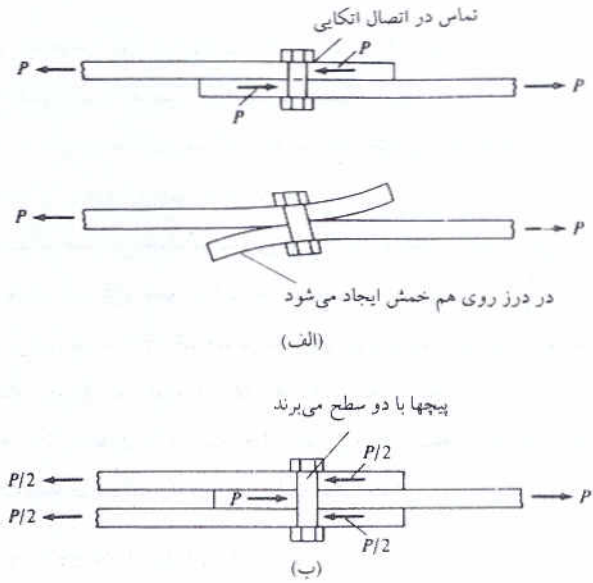
سوراخهای لوبیایی کوتاه: در حالتی که اتصال به صورت اصطکاکی باشد (امکان لغزش قطعات مورد اتصال وجود نداشته باشد) می‌توان در هر جهت به اتصال نیرو وارد کرد ولی استفاده از آن به صورت اتصال اتکایی زمانی ممکن است که امتداد نیرو در حدود عمود بر قطر بلند سوراخ قرار داشته باشد.

سوراخهای لوبیایی بلند: استفاده از آن فقط در یکی از صفحات اتصال مجاز است. مانند حالت قبل اعمال نیرو در اتصال اصطکاکی در هر جهتی ممکن است ولی اعمال نیرو به سوراخ در حالت اتکایی تنها در جهت عمود بر امتداد قطر بزرگ سوراخ مجاز می‌باشد. اگر سوراخ لوبیایی در قطعه بیرونی باشد، در هردو نوع سوراخ لوبیایی کاربرد واشری که سوراخ را پر کند و تغییر شکل ندهد الزامی است. اگر واشر از نوع فولاد ساختمانی باشد نباید دارای ضخامتی کمتر از 8mm باشد.

۱۲-۱۰ انتقال نیرو و انواع درزها

با توجه به شکل (۱۲-۱ الف) فرض می‌شود که در این اتصال از چند پیچ که به صورت متعارف محکم شده‌اند (یعنی نیروی پیش‌تنیدگی لازم در تنهٔ پیچها به وجود نیامده است) استفاده شده باشد. چون نیروی اصطکاک کمی بین ورقها ایجاد خواهد شد. ورقهای مورد اتصال با اعمال نیرو خواهند لغزید و نیروی اعمال شده تمایل به بریدن پیچها در امتداد سطح تماس ورقها خواهد داشت. در این حالت اتصال از نوع اتکایی است و پیچها باید استحکام مناسب در مقابل نیروی اعمالی را داشته باشند و قطعات نیز استحکام لازم جهت جلوگیری از پارگی از محل اتصال را از خود نشان دهند.

اگر به‌جای پیچها از پرچ استفاده شود وضعیت متفاوت خواهد شد زیرا پرچ داغ پس از سردشدن سبب فشردگی قطعات به یکدیگر خواهد شد و به آن دلیل نیروی اصطکاک قابل توجهی بین قطعات مورد اتصال به‌وجود خواهد آمد. لذا بخش عمده انتقال نیرو بین قطعات توسط نیروی اصطکاکی خواهد بود. البته باید ذکر



شکل ۱۲-۱ (الف) درز رویهم، (ب) درز لب

شودکه ضوابط طراحی از نیروی اصطکاک حاصل از فشردگی قطعات پرچ شده صرف‌نظر می‌کنند و پرچها را به شکل اتکایی مورد محاسبه قرار می‌دهند. با پیچهای خام (مشابه A 307) نیز برخوردی نظیر پرچها انجام می‌گیرد زیرا که این پیچها نیز تا حدی که پیش‌تنیدگی قابل ملاحظه در تنهٔ آنها ایجاد شود محکم نمی‌شوند.

پیچهای پرمقاومت با پیش‌تنیدگی کامل عملکرد متفاوتی دارند. با اعمال پیش‌تنیدگی کامل در پیچها به‌نحوی که قبلاً ذکر شد در اثر کشش قابل ملاحظه در تنه پیچها نیروی فشردگی قابل ملاحظه‌ای بین قطعات مورد اتصال ایجاد می‌شود که در اثر آن نیروی اصطکاک بالایی بین قطعات به وجود خواهد آمد. تا زمانی که مقدار نیروی اعمال بر اتصال بیشتر از نیروی اصطکاک بین قطعات نشود هیچ نوع لغزشی بین قطعات ایجادنشده و تماسی بین تنه پیچها و سوراخ به‌وجود نخواهد آمد تاسبب بریدن پیچها شود. اگر نیروی اعمالی بیشتر از نیروی اصطکاک فوق باشد در اثر لغزش قطعات پیچها در موقعیت برش قرار خواهند گرفت.

درز روی‌هم

درز نشان داده شده در شکل (۱۲-۱ الف) درز رویهم است، عیب این نوع درز در آن است که مرکز ثقل نیرو در یک قطعه بر مرکز ثقل نیرو در قطعه دیگر منطبق نیست. لذا در این اتصال لنگر نامطلوبی مطابق آنچه در شکل نشان داده شده است، ایجاد می‌شود. به این جهت از درز رویهم که از آن در اتصالات درجه دوم استفاده می‌شود باید حداقل از دو پیچ در امتداد طولی قطعه استفاده شود تا از گسیختگی خمشی تا حدامکان بکاهد.

درز لب

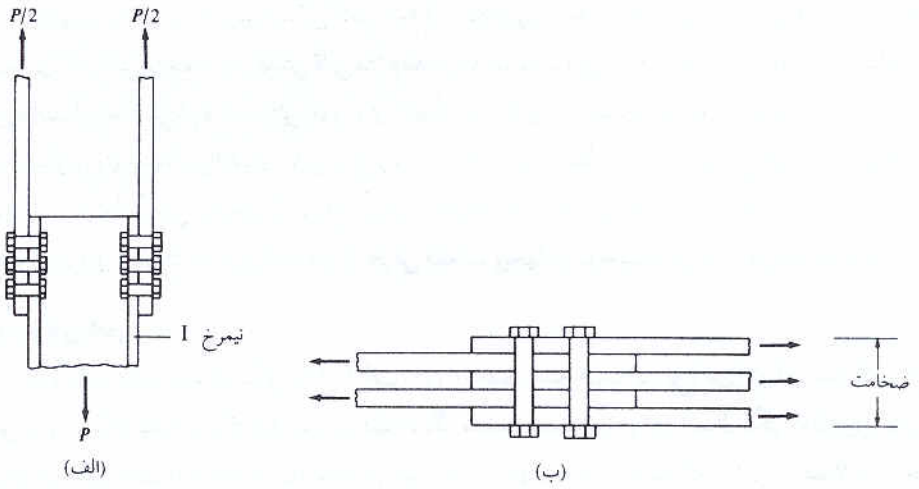
درز لب زمانی ایجاد می‌شود که قطعات مطابق شکل (۱۲-۱ ب) به هم متصل شده باشند. اگر نیروی اصطکاکی در این اتصال کم باشد سبب می‌شود که پیچها به صورت برشی در دو سطح برش و به صورت همزمان گسیخته شوند. در این حالت پیچها به بدنهٔ سوراخ تکیه کرده و در حالت برش زوج قرار گیرند. درز لب به دو دلیل عمدهٔ زیر بر درز رویهم برتری دارد:

۱- آرایش پیچها به صورتی است که نیروی مؤثر P به دو قسمت تقسیم می‌شود تا در دو سطح برش پیچها را تحت تأثیر قرار دهد. لذا در هر سطح برش نیرویی برابر با $\frac{1}{2}$ آنچه اگر به صورت درز رویهم عمل می‌نمود ایجاد خواهد کرد. از نظر نیرو و انتقال بار نیز باید گفت که به صورت نظری قابلیت انتقال نیروی دو برابر را در مقایسه با همان تعداد پیچ در درز رویهم دارد.

۲- انتقال نیرو شکل متقارن دارد (البته حالت تقارن زمانی صحت خواهد داشت که صفحات بیرونی دارای یک ضخامت باشند که در این حالت لنگر خمشی درز رویهم وجود نخواهد داشت).

اتصال زوج Double-plane Connections

در این اتصال پیچها در یک سطح بریده می‌شوند ولی از ایجاد خمش در اتصال جلوگیری می‌شود. در این اتصال که در شکل (۱۲-۲ الف) نشان داده شده است. پیچها در یک سطح ولی در دو صفحه متفاوت تحت برش قرار خواهند گرفت.



شکل ۱۲-۲ (الف) اتصالات زوج، (ب) پیچها در چند سطح برش

سایر موارد

اتصالات پیچی یا به صورت رویهم و یا به صورت لب است ولی امکان دارد حالات دیگری نیز وجود داشته باشد. مثلاً مطابق شکل (۱۲-۲ ب). ممکن است که چندین صفحه روی‌هم قرار داشته باشند و پیچها در چندین سطح برش بریده شوند. معمولاً پیچها را در بیش از دو سطح برش محاسبه نمی‌کنند. زیرا عملاً امکان بریده شدن پیچها به صورت همزمان در بیش از دو سطح برش وجود ندارد. موارد دیگری از اتصال پیچی از جمله حالتی که پیچها تحت کشش قرار داشته باشند و یا تحت برش و کشش قرار داشته باشند در این فصل مورد بحث قرار خواهند گرفت.

۱۲-۱۱ گسیختگی در اتصالات پیچی

در شکل (۱۲-۳) انواع گسیختگیهای ممکن در اتصالات پیچی نشان داده شده است. یک‌طرح خوب زمانی ممکن خواهد بود که انواع گسیختگیهای نشان داده شده در نظر گرفته شوند. این گسیختگیها به شرح زیر می‌باشند:

۱- امکان گسیختگی در درز رویهم بر اثر برش پیچ در امتداد سطح تماس دو ورق، مانند (۱۲-۳الف).

۲- امکان گسیختگی ورق مشابه شکل (۱۲-۳ب) در امتداد برشی که از سوراخ پیچ نیز می‌گذرد.

۳- امکان گسیختگی ورق یا پیچ در اثر فشار وارده از یکی به دیگری (شکل ۱۲-۳ ج).

۴- در شکل (۱۲-۳د) صورت دیگری از گسیختگی برشی قطعه نشان داده شده است.

۵- در درز لب (شکل ۱۲-۳ هـ) امکان برش پیچها در دو سطح برش ممکن است.

۱۲-۱۲ فواصل پیچها از یکدیگر و از لبهٔ قطعه

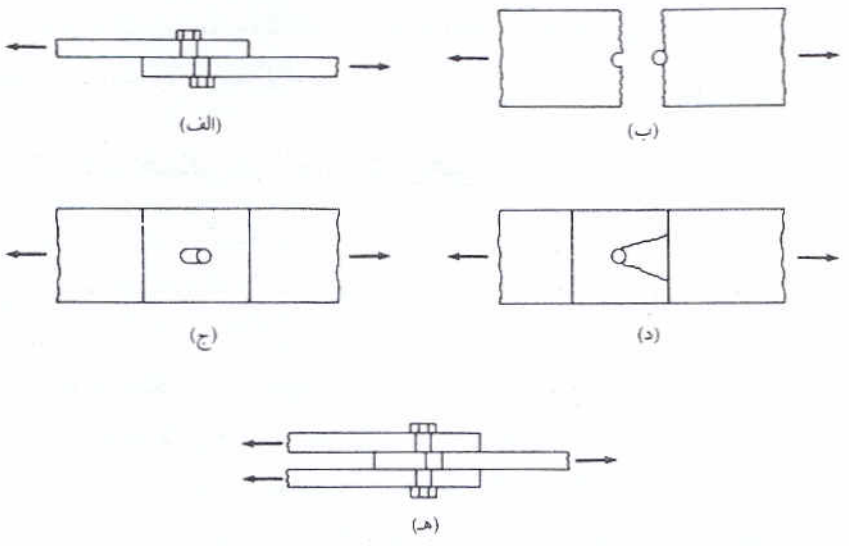
در شکل (۱۲-۴) فواصل پیچها راکه در یک امتداد با p و در امتداد دیگر با g نشان داده شده است نمایش داده‌ایم.

حداقل فواصل

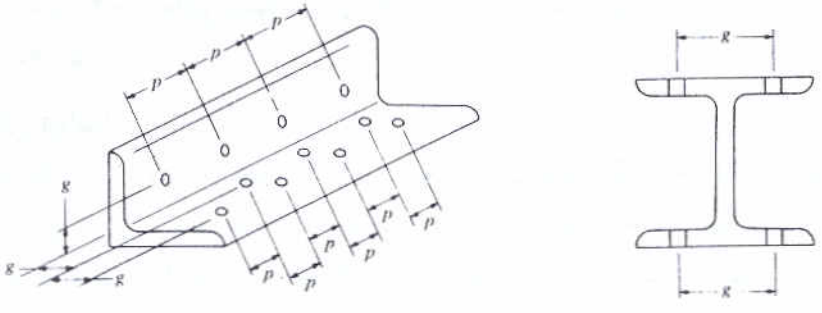
حداقل فواصل پیچها، فاصله‌ای است که امکان نصب آسان پیچ را ممکن ساخته و امکان گسیختگی کششی ورق را از بین ببرد. ضوابط LRFD این میزان حداقل را برای کلیه انواع سوراخها (استاندارد، بزرگ شده، لوبیایی) برابر با $2\frac{2}{3}$ قطر پیچ (ترجیحاً ۳ برابر قطر) معین می‌کند. اگر فواصل پیچها در امتداد نیرو موردنظر باشد، مقدار فاصله باید افزایش یابد. در این حالت فاصله در صورتی که استحکام تماسی R_n توسط یکی از دو رابطه $2.4\ dt\ F_u$ یا $2.0\ dt\ F_u$ محاسبه شود نباید کمتر از 3d گرفته شود، ضمناً فواصل حداقل مرکز به مرکز سوراخهای استاندارد باید از طریق رابطه زیر معین شود که در آن P

نیروی مورد انتقال توسط یک پیچ است. مقدار ϕ برابر با ۰/۷۵ ضخامت حداقل اتصال t و قطر سوراخ استاندارد d_h است:

$$\text{حداقل فاصله مرکز به مرکز سوراخ} = \frac{P}{\phi F_u t} + \frac{d_h}{2}$$



شکل ۱۲-۳ (الف) گسیختگی پیچ در یک سطح برش، (ب) گسیختگی کششی ورق، (ج) لهیدگی قطعه در اثر فشار پیچ، (د) گسیختگی برشی قطعه در پشت پیچ، (هـ) برش در دو سطح برش پیچ در اتصال لب.



شکل ۱۲-۴

حداقل فاصله پیچ تا لبهٔ قطعه

پیچها نباید نزدیک لبهٔ قطعه قرار گیرند زیرا در این صورت ممکن است اولاً تعبیه سوراخ پیچ سبب ترک‌خوردن قطعه شده و ثانیاً امکان دارد پیچ سبب بریدن سوراخ گردد. معمولاً پیچ را در قطعاتی که استحکام برشی فولاد آنها حداقل برابر با استحکام برشی پیچها باشد، به فاصله ۱/۵ تا ۲ برابر قطر پیچ از لبهٔ قطعه قرار می‌دهند. برطبق ضوابط LRFD حداقل فاصله مرکز پیچ از لبهٔ قطعه باید از مقادیر جدول (۱۲-۴) تبعیت کند و همچنین از مقدار محاسباتی زیر کمتر نشود.

در امتداد اثر نیرو، هرگاه مقدار استحکام تماسی R_n به کمک یکی از دو مقدار $2.4dt\ F_u$ یا $2.0dt\ F_u$ معین شود فاصله سوراخ از لبهٔ قطعه نباید از $1\frac{1}{2}\ d$ کمتر باشد. ضمناً حداقل فاصله سوراخ از لبهٔ ورق نباید کمتر از مقدار زیر باشد.

$$\text{حداقل فاصله سوراخ از لبهٔ ورق در امتداد نیرو} = \frac{P}{\phi\ F_u t} \qquad (\phi = 0.75)$$

برای سوراخهای بزرگ شده و لوبیایی بهتر است به متن ضوابط LRFD مراجعه شود.

جدول ۱۲-۴ حداقل لبهٔ سوراخ از مرکز پیچ در سوراخهای استاندارد

در لبه‌های نوردشده یا بریده‌شده توسط گاز*	در لبه‌های بریده‌شده	قطر اسمی پیچ یا پرچ
$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{2}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{5}{8}$
1	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$
$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{2}\ c$	$\frac{7}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{4}\ c$	1
$1\frac{1}{2}$	2	$1\frac{1}{8}$
$1\frac{5}{8}$	$2\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$
قطر $\times 1\frac{1}{4}$	قطر $\times 1\frac{3}{4}$	$> 1\frac{1}{4}$

* اگر تنش در محل سوراخ کمتر از ۲۵ درصد استحکام طراحی باشد مقادیر این ستون را باید 3mm تقلیل داد.

حداکثر فاصله پیچ تا لبهٔ قطعه

برطبق ضوابط LRFD حداکثر فاصله پیچ از لبهٔ ورق برابر با ۱۲ برابر ضخامت قطعه است به شرطی که بیشتر از 15cm نباشد. اگر فاصله پیچ از لبهٔ ورق بالا رود، ممکن است دو قطعه در آن قسمت از هم جدا شوند. حداکثر فاصله بین پیچها را می‌توان در قطعات فشاری براساس عدم‌امکان کمانش قطعه در حد فاصل پیچها نیز معین کرد.

سوراخهای پیچ را نمی‌توان در نزدیکی محل اتصال بال و جان نیمرخها بدون استفاده از مته و به کمک دستگاه سوراخ‌زن ایجاد نمود. حتی اگر سوراخها به کمک مته در آن محلها ایجاد شود محکم کردن آنها با اشکال انجام خواهد گرفت.

۱۳-۱۲ اتصالات اتکایی - امتداد نیرو از مرکز ثقل اتصال می‌گذرد

استحکام برشی: در اتصالات اتکایی فرض بر این است که بار وارده بر نیروی اصطکاک بین قطعات غلبه می‌کند. لذا قطعات با لغزش اندکی روی یکدیگر پیچها را در وضعیت برش قرار می‌دهند. استحکام طراحی پیچی که با یک سطح برش در معرض برش قرار دارد برابر با حاصل‌ضرب ϕ در استحکام اسمی برشی پیچ است که در سطح مقطع آن ضرب شده است. برطبق ضوابط LRFD مقدار ϕ برای پیچهای پرمقاومت و پرچها برابر با ۰/۶۵ و برای پیچهای سیاه (از نوع مشابه A 307) ۰/۶ معین شده است.

ضوابط LRFD استحکام اسمی برشی پیچهای A325 را اگر سطح برش از قسمت دندانه‌دار بگذرد برابر با $3700\ (kg/cm^2)$ و اگر سطح برش از قسمت دندانه‌دار نگذرد برابر با $5000(kg/cm^2)$ معین می‌کند برای پیچهای A 490 این مقادیر به ترتیب برابر با $4600\ kg/cm^2$ و $6200\ kg/cm^2$ است. اگر پیچی با دو سطح برش عمل کند این مقادیر برای پیچ در دو ضرب خواهد شد.

اگر از پیچهای متعارف پرمقاومت استفاده شود و قطعات نیز دارای ضخامت متعارف باشند معمولاً سطح برش خارج از قسمت دندانه‌دار واقع خواهد شد.

استحکام تماسی Bearing Strength: استحکام طراحی پیچ در حالت تماسی برابر است با حاصل‌ضرب ϕ در استحکام اسمی تماسی پیچ در قطر پیچ و در ضخامت قطعه در محل تماس. اگر فاصله L از لبهٔ ورق و در امتداد اثر نیرو کمتر از $1\frac{1}{2}$ قطر پیچ نباشد و اگر فاصله دو پیچ در امتداد اثر نیرو کمتر از $3d$ نباشد (در پیچهای متعارف و با قطر بزرگ شده) و در اتصال از دو پیچ یا بیشتر در خط موازی با امتداد نیرو استفاده شده باشد استحکام تماسی پیچ برابر با مقادیر زیر خواهد بود:

$\phi = 0.75$ $\phi R_n = \phi\ 2.4\ dt\ F_u$ = برای سوراخهای استاندارد و یا لوبیایی کوتاه.

$\phi = 0.75$ $\phi R_n = \phi\ 2.0 dt\ F_u$ = برای سوراخهای لوبیایی بلند هرگاه نیرو در امتداد عمود بر قطر بزرگ سوراخ است.

استحکام تماسی طراحی یک پیچ که به فاصله کمی از لبه قطعه قرار دارد کمتر از مقدار متعارف است لذا اگر این فاصله کمتر از $1\frac{1}{2}\ d$ باشد استحکام طراحی پیچ از رابطهٔ زیر معین می‌شود:

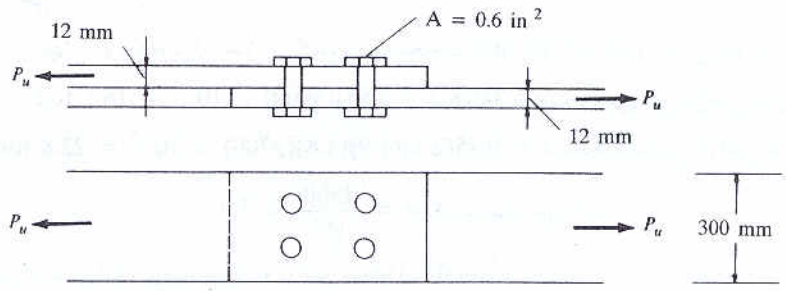
$$\phi\ R_n = \phi\ Lt\ F_u \qquad \phi = 0.75$$

آزمایشها نشان می‌دهند که هیچ یک از پیچها و قطعات در اثر تنش تماسی گسیخته نمی‌شوند ولی کارایی اتصال به مقدار تنش تماسی بستگی دارد. مقادیر ذکر شدهٔ فوق برطبق نظر LRFD مقادیری هستند که اگر مقدار موجود بیش از آنها شود کارایی اتصال لطمه خواهد دید. زیرا سوراخها تغییرشکل داده و سبب معیوب‌شدن اتصال خواهد شد.

حداقل استحکام اتصال: برطبق ضوابط LRFD حداقل استحکام طراحی یک اتصال 4.5ton برای بارهای ضریب‌دار است. اتصال بادبندها، میل مهار سقف و اتصال تیرهای جانبی قابها مستثنی هستند.

مثال ۱۲-۱

در اتصال زیر استحکام طراحی P_u اتصال اتکایی را معین کنید. نوع فولاد نرمه و نوع پیچ A 325 به قطر $\frac{7}{8}''$ است. سطح برش بر قسمت دندانه‌دار نمی‌گذرد و فاصله پیچها از لبهٔ ورق بزرگتر از $1\frac{1}{2}\ d$ و فاصله مرکز به مرکز سوراخ از یکدیگر بزرگتر از $3d$ است.



شکل ۱۲-۵

حل: استحکام طراحی ورقها

$$A_g = 1.2 \times 30 = 36\ \text{cm}^2$$

$$A_u = 36 - 2(1.2)(2.2 + 0.3) = 30\ \text{cm}^2$$

$$P_u = \phi_t\ F_y\ A_g = 0.9(2333)(36) \times 10^{-3} = 75.6\ \text{ton}$$

$$P_u = \phi_t\ F_u\ A_e = 0.75(3700)(30) \times 10^{-3} = 83.2\ \text{ton}$$

استحکام پیچها با یک سطح برش و تماس با ورق به ضخامت ۱۲ mm

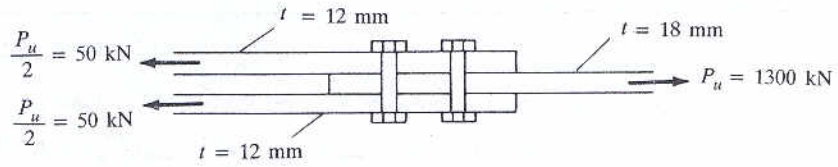
$$P_u = \phi(3.88)(5000)(4) = 0.65(3.88)(5000)(4) \times 10^{-3} = 50.4 \text{ ton}$$

$$P_u = \phi\ 2.4\ dt\ F_u = 0.75(2.4)(2.2)(1.2)(3700)(4) \times 10^{-3} = 70.3 \text{ ton}$$

طراحی $P_u = 50.4$ ton

مثال ۱۲-۲

در اتصال زیر تعداد پیچهای لازم معین شود، نوع پیچها A 325 قطر آنها $\frac{3}{4}$ in و شکل سوراخها استاندارد است سطح برش خارج از قسمت دندانه‌دار پیچ واقع می‌شود و فاصله سوراخ پیچ تا لبهٔ ورق بزرگتر از $1\frac{1}{2}\ d$ و فاصله مرکز به مرکز پیچها بزرگتر از $3d$ است. نوع فولاد اتصال نرمه است.



شکل ۱۲-۶

حل:

پیچها با دو سطح برش عمل می‌کنند و در ضخامت 18 mm با ورق در تماس هستند.

استحکام برشی طراحی هر پیچ $= 0.65(2 \times 2.85)(5000) \times 10^{-3} = 18.5$ ton

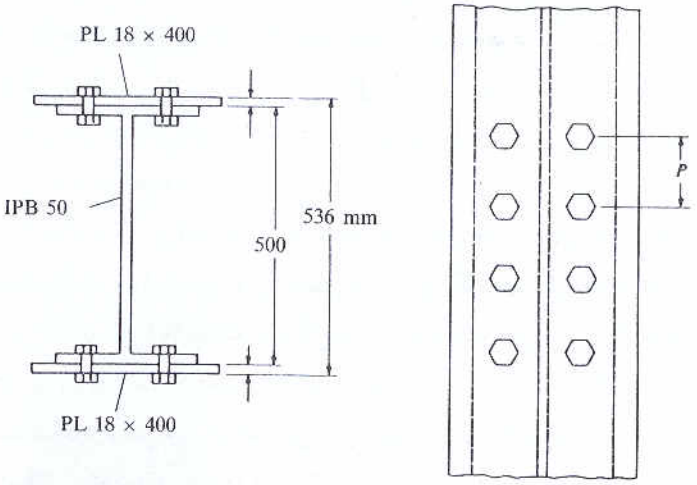
استحکام تماسی طراحی هر پیچ $= 0.75(2.4)(1.9)(1.8)(3700) \times 10^{-3} = 22.8$ ton

$$\text{تعداد پیچهای موردنیاز} = \frac{1300}{185} = 7.03$$

بهتر است از ۸ یا ۹ پیچ با توجه به آرایش پیچها استفاده شود.

هرگاه تیر I شکلی توسط تسمه تقویت شود، پیچهای اتصال باید قادر به تحمل برش موجود بین ورق و بال تیر باشند. با مراجعه به شکل (۱۲-۷) تنش برشی در سطح تماس ورق و نیمرخ از رابطه $f_v = \frac{VQ}{Ib}$ محاسبه خواهد شد که به ازاء واحد طول تیر برابر با $b \times 1 \times \frac{VQ}{Ib} = \frac{VQ}{I}$ می‌شود.

برطبق ضوابط LRFD فواصل پیچها در ورقهای تقویت نیمرخ نباید از حاصل‌ضرب کمترین ضخامت ورق در $1050/\sqrt{F_y}$ و یا 30 cm بیشتر باشد. در شکل (۱۲-۷) فاصله پیچها را می‌توان از حاصل تقسیم استحکام طراحی دو پیچ و نیروی برشی در هر واحد طول تیر معین کرد.



شکل ۱۲-۷

مثال ۱۲-۳

در یک مقطع مطابق شکل (۱۲-۷) برش با ضریب V_u برابر با 120 ton است اگر پیچهای به کار رفته به‌قطر $\frac{7}{8}$ in و از نوع A 325 باشد. و اتصال را از نوع اتکایی بگیریم فواصل پیچها را از یکدیگر معین کنید فرض می‌شود فاصله پیچها از لبه ورق بزرگتر از $1\frac{1}{2}\,d$ و از یکدیگر بزرگتر از $3d$ باشد. سطح برش خارج قسمت دندانه‌دار پیچ است.

حل:

$$I_x = 107180 + 2(40 \times 1.8)(25.9)^2 = 203776 \text{ cm}^4$$

$$\text{برش با ضریب در واحد طول} = \frac{VQ}{I} = \frac{120000(40 \times 1.8 \times 25.9)}{203776} = 1098 \text{ kg/cm}$$

پیچها با یک سطح برش و در تماس با ضخامت ۱۸ mm

$$\text{استحکام برشی طراحی برای دو پیچ} = 2(0.65)(3.88)(5000) \times 10^{-3} = 25.2 \text{ ton}$$

$$\text{استحکام تماسی طراحی برای دو پیچ} = 2(0.75)(2.4)(2.2)(1.8)(3700) \times 10^{-3} = 52.7 \text{ ton}$$

$$p = \frac{252}{10.98} = 22.95 \text{ cm} \quad \text{یا} \quad 22 \text{ cm}$$

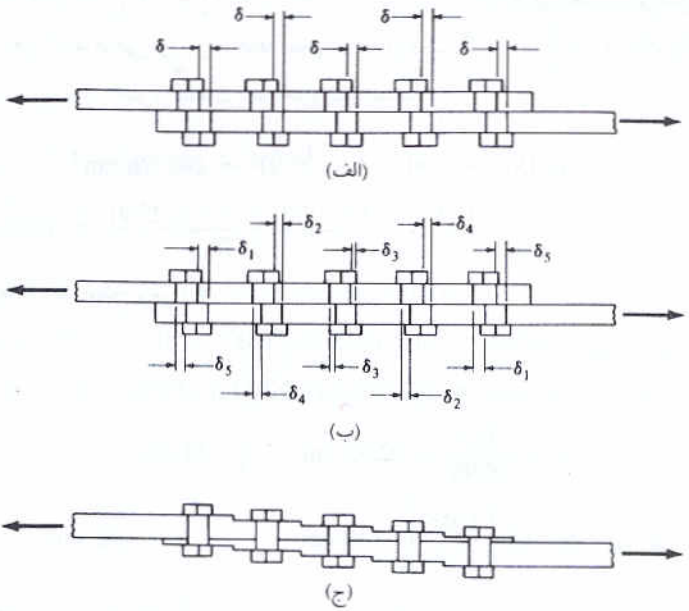
$$\text{حداکثر} \quad p = 1.8\left(\frac{1050}{\sqrt{F_y}}\right) = 39 \text{ cm} \quad , \quad 30 \text{ cm.}$$

لذا فاصله پیچها از یکدیگر برابر با $p = 22$ cm انتخاب می‌شود.

در اتصالات اتکایی فرض می‌شود که سهم باربری پیچها با یکدیگر برابر است. این فرض در صورتی صحت دارد که اولاً قطعات مورد اتصال کاملاً صلب بوده و ثانیاً پیچها کاملاً ارتجاعی باشند. در عمل قطعات نیز ارتجاعی هستند و در نتیجه دارای تغییر شکل لازم خواهند بود که این تغییرشکل مقدار تنش مؤثر بر پیچها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد اگر تغییرشکل ارتجاعی قطعات را نیز در نظر بگیریم توزیع نیرو بین پیچها شکل بسیار پیچیده‌ای خواهد گرفت.

اگر قطعات کاملاً صلب و غیرقابل تغییرشکل باشند؛ کلیه پیچها مانند شکل (۱۲-۸الف) به یک مقدار تغییرشکل خواهند داد. در عمل بار وارده بر پیچهای واقع روی یک خط اگر تعداد آنها از دو بیشتر باشد یکسان نخواهد بود. اگر فرض شود که قطعات شکل‌پذیر باشند به دلیل تغییر تنش در قطعات در طول اتصال مقدار تغییرشکل آنها از یک سمت به سمت دیگر اتصال تغییر خواهد یافت (شکل ۱۲-۸ب). به‌عبارت‌دیگر پرتنش‌ترین قسمت قطعه فوقانی در برابر کم تنش‌ترین قسمت ورق تحتانی قرار خواهد گرفت و برعکس. و یا لغزش در دو کنار اتصال بیشترین و در وسط اتصال کمترین مقدار خود را خواهد داشت. لذا پیچهای واقع در کنار اتصال بیشتر از پیچهای واقع در وسط اتصال تحت نیرو قرار خواهند گرفت.

هر قدر فاصله پیچها از یکدیگر بیشتر باشد اختلاف تغییرشکل ورقها در آن ناحیه بیشتر شده و اختلاف تنش در پیچها افزایش خواهد یافت. لذا توصیه می‌شود که تا حدامکان از آرایش فشرده پیچها



شکل ۱۲-۸

به‌منظور تقلیل اختلاف تنش در پیچها استفاده شود. اگر به صورت نظری بخواهیم اختلاف تغییرشکل ورقها را از بین ببریم باید از ورقهایی با تغییر ضخامت پله‌ای مطابق شکل (۱۲-۸ ج) استفاده شود.

دخالت اختلاف تغییرشکل ورقها در سهم باربری پیچها محاسبه‌ای خسته کننده دارد و لذا از آن در دفاتر طراحی استفاده نمی‌شود. از طرف دیگر طراحی خمیری پیچها بسیار ساده است. در این تحلیل فرض می‌شود که پیچ انتهایی به تنش تسلیم برسد و لذا در برابر تغییرشکل بیشتر بدون افزایش تنش تغییرشکل دهد و اجازه دهد پیچهای دیگر تا حد تنش تسلیم اضافه بار را تحمل کنند و به این طریق زمانی خواهد رسید که کلیه پیچها به تنش تسلیم و یا باربری یکسان خواهند رسید.

هرگاه تعداد پیچهای واقع روی یک خط اتصال اندک باشد، توزیع نیرو مطابق تئوری خمیری به‌درستی انجام می‌گیرد. ولی اگر تعداد پیچها بالا باشد آزمایشها نشان می‌دهد که وضعیت متفاوت است و پیچهای کناری قبل از توزیع کامل نیرو گسیخته می‌شوند.

ضوابط طراحی معمولاً تعداد حداقل دو یا سه پیچ را برای یک اتصال لازم می‌دانند زیرا معتقدند یک پیچ ممکن است به دلیل نصب غیرفنی، ضعف مصالح و نظیر آن تحت نیروی کمتر از طراحی گسیخته شود. ولی اگر از چند پیچ استفاده شود چنین ضعفی برای کلیه آنها ممکن نخواهد بود.

۱۲-۱۴ اتصالات اصطکاکی - امتداد نیرو از مرکز ثقل اتصال می‌گذرد

حالاتی که استفاده از پیچهای اصطکاکی برای آنها مناسب می‌باشد، در بند ۱۲-۵ ذکر شد. باید گفت که این نوع اتصال عمدتاً برای حالت بارگذاری خستگی‌آور که حاصل از نوسان مداوم شدت بار است بسیار مناسب است. اتصالات اصطکاکی باید تحت بار کاربردی و بار ضریبدار کنترل شوند.

(۱) مقاومت طراحی به لغزش باید حداقل برابر با نیروی لغزش حاصل از بارهای کاربردی باشد.

(۲) استحکام اتکایی اتصال باید حداقل برابر با نیروی ضریبدار وارده بر اتصال باشد.

اگر پیچها را با حد مناسب برای اتصال اصطکاکی محکم کنیم امکان این‌که پیچها به صورت تماس با ورقهای مورد اتصال، نیرو مبادله کنند بسیار کم است. آزمایشها نشان می‌دهد که امکان لغزش اتصال بسیار کم است مگر اینکه نیروی برشی وارده حداقل ۵۰ درصد نیروی پیش‌تنیدگی پیچها شود و این به آن معناست که در اتصال اصطکاکی هیچ‌یک از پیچها به برش نمی‌افتند. با وجود این ضوابط LRFD در این نوع اتصال نیز استحکام مجاز برشی (که در حقیقت نیروی اصطکاکی مجاز در سطوح تماس هستند) معین می‌کند تا طراح دقیقاً محاسبات را مشابه اتصالات اتکایی انجام دهد. ضوابط LRFD فرض می‌کند که این‌گونه پیچها به برش عمل می‌کنند ولی به تنش تماسی عمل نمی‌کنند استحکام برشی اسمی پیچهای پرمقاومت در جدول ۱۲-۶ ذکر شده است. مقدار $\phi = 1$ است و در سوراخهای لوبیایی که امتداد نیرو در امتداد قطر بزرگ است $\phi = 0.85$ گرفته خواهد شد.

جدول ۱۲-۶ استحکام برشی اسمی در اتصال اصطکاکی پیچهای پرمقاومت (bar یا kg/cm^2)

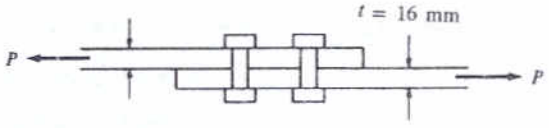
نوع پیچ	استحکام برشی اسمی		
	سوراخ استاندارد	سوراخ بزرگ‌شده‌ولوییایی‌کوتاه	سوراخ لوییایی‌بلند*
A325 و مشابه	۱۱۷۰	۱۰۳۰	۸۲۰
A490 و مشابه	۱۴۵۰	۱۲۴۰	۱۰۳۰

* حالت ذکر شده برای زمانی است که امتداد اثر نیرو عمود بر قطر بزرگ سوراخ باشد در غیراین‌صورت مقدار ذکر شده باید از ۰/۸۵ ضرب شود.

آنچه در مورد اتصال اصطکاکی گفته شد، همه جوانب این نوع اتصالها را نمی‌پوشاند. در عمل ممکن است پیچها هنگام نصب به دلیل وزن قطعات در تماس با بدنه سوراخ قرار گیرند. لذا پس از محکم شدن کامل هم در موقعیت برشی و فشار تماسی قرار گیرند.

مثال ۱۲-۴

تعداد پیچها را برای اتصال اصطکاکی زیر (شکل ۱۲-۹) معین کنید. در این اتصال بارهای کاربردی $P_D = 13\text{ton}$ و $P_L = 22\text{ ton}$ و پیچها از نوع A 325 به قطر 1 in هستند. سطح برش خارج از قسمت دندانه‌دار پیچ‌هاست و $L > 1\frac{1}{2}d$ بوده و فاصله مرکز به مرکز پیچها بزرگتر از $3d$ است.



شکل ۱۲-۹

حل:

طرح اصطکاکی (بارهای کاربردی)

پیچها با یک سطح برش هستند و تماسی بین پیچ و ورق وجود ندارد.

$$\text{استحکام یک پیچ } "SS" = \phi(5.07)(1170) = 1 \times 5.07 \times 1170 \times 10^{-3} = 5.93 \text{ ton}$$

$$\text{تعداد پیچ موردنیاز} = \frac{35}{5.93} = 5.9$$

طرح اتکایی با بارهای ضریبدار

$$P_u = 1.2 \times 13 + 1.6 \times 22 = 50.8 \text{ ton}$$

پیچها دارای یک سطح برش هستند و در ضخامت 16 mm در تماس با ورق می‌توانند باشند

$$\text{استحکام یک پیچ "}SS\text{"} = 0.65(5.07)(5000) \times 10^{-3} = 16.5 \text{ ton}$$

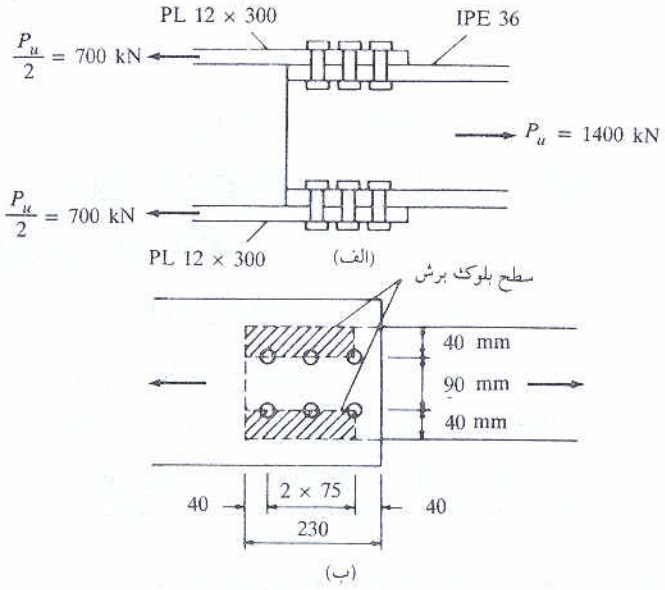
$$\text{استحکام تماسی یک پیچ} = 0.75(2.4)(2.54)(1.6)(3700) \times 10^{-3} = 27.0 \text{ ton}$$

$$\text{تعداد پیچ موردنیاز} = \frac{50.8}{16.5} = 3.08$$

۶ پیچ به‌کار رود.

مثال ۱۲-۵

در اتصال نشان داده شده شکل (۱۲-۱۰) از پیچهای A 325 به قطر $\frac{7}{8}$ in در نوع تماسی (اتکایی) استفاده شده است. اندازه سوراخها، استاندارد و سطح برش بر قسمت دندانه‌دار نمی‌گذرد. فولاد قطعات از نوع نرمه است. مطلوبست بررسی موارد زیر: (الف) استحکام کششی نیمرخ IPE 36 و ورقهای اتصال (ب) استحکام پیچها در برش و فشار تماسی (ج) استحکام برشی قسمت هاشورخورده از نیمرخ که در شکل (۱۲-۱۰ ب) نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۱۰

حل

الف ـ استحکام کششی نیمرخ IPE 36

$$P_u = \phi F_y A_g = 0.9(2333)(72.7) \times 10^{-3} = 152.6 \text{ ton} > 140.0 \text{ ton}$$

$$A_n = 72.7 - 4(2.2 + 0.3)(1.27) = 60 \text{ cm}^2$$

چون $b_f < \frac{2}{3} d$ $U = 0.85$

$$A_e = 0.85(60) = 51 \text{ cm}^2$$

$$P_u = \phi_t F_u A_e = 0.75(3700)(51) \times 10^{-3} = 141.5 > 140.0 \text{ ton}$$

استحکام کششی طراحی ورقهای اتصال

$$P_u = \phi_t F_y A_g = 0.9(2333)(1.2 \times 30)(2) \times 10^{-3} = 151.2 \text{ ton} > 140.0 \text{ OK.}$$

دو ورق $A_u = (1.2 \times 30 - 2 \times 2.5 \times 1.2)(2) = 60 \text{ cm}^2$

$$0.85 A_g = 0.85(1.2 \times 30)(2) = 61.2 > 60$$

$$P_u = \phi_t F_u A_u = 0.75(3700)(60) \times 10^{-3} = 166.5 \text{ ton} > 140.0$$

ب ـ پیچها با یک سطح برش و تماس در ضخامت 12 mm

استحکام برشی با یک سطح برش پیچها $= 0.65(3.88)(5000)(12) \times 10^{-3} = 151.3 \text{ ton} > 140.0$

استحکام تماسی طراحی پیچها $= 0.75(2.4)(2.2)(1.2)(3700)(12) \times 10^{-3} = 211.0 \text{ ton} > 140.0$

ج ـ استحکام برشی بلوک در نیمرخ IPE

گسیختگی کششی و جاری‌شدن برشی

$$P_{bs} = \phi[F_u A_{nt} + 0.6 F_y A_{vg}]$$

$$= 0.75[3700(1.27)\left(4 - \frac{1}{2} \times 2.5\right) + 0.6(2333)(1.27)(23 - 4)](4) \times 10^{-3} = 140.1 \text{ OK.}$$

گسیختگی برشی و جاری‌شدن کششی

$$P_{bs} = \phi[F_y A_{tg} + 0.6 F_u A_{ns}]$$

دقت شود که سطح برشی $2\frac{1}{2}$ سوراخ مطابق شکل (۱۲-۱۰ ب) قرار دارد.

$$= 0.75\{2333(4)(1.27) + 0.6(3700)[(23 - 4) - 2.5(2.5)] \times 1.27\}$$

$$\times (4) \times 10^{-3} = 143.4 > 140.0 \text{ ton OK.}$$

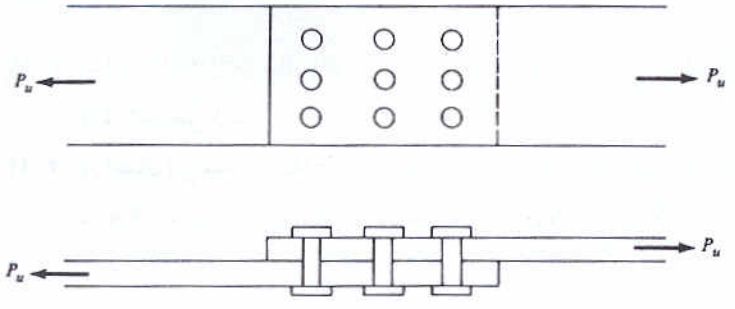
محاسبه اتصالات پرچی و یا پیچی از نوع پیچ متعارف مشابه A 307 دقیقاً مانند اتصالات اتکایی پیچهای پرمقاومت انجام می‌گیرد. تنها اختلاف در این است که مقدار استحکام برشی در این اتصالات

بسیار کمتر است و ضریب ϕ برای پیچهای A 307 بجای ۰/۶۵ برای پیچهای پرمقاومت و پرچ برابر با ۰/۶ است. برطبق ضوابط LRFD از پرچها و پیچهای متعارف نمی‌توان برای اتصال اصطکاکی استفاده کرد.

مسائل

در کلیهٔ مسائل زیر فرض می‌شود که موارد زیر برقرار است مگر غیر از آن در متن مسأله ذکر شود. (الف) از ضوابط LRFD استفاده می‌شود. (ب) سوراخها از نوع استاندارد است. (ج) سطح برش خارج‌قسمت دندانه‌دار پیچ است. (د) قطعات کاملاً صاف و بدون پوسته کارخانه‌اند. (هـ) فواصل سوراخ از لبهٔ ورق بزرگتر از $1\frac{1}{2}\ d$ و فاصله مرکز به مرکز سوراخها بزرگتر از $3\ d$ است.

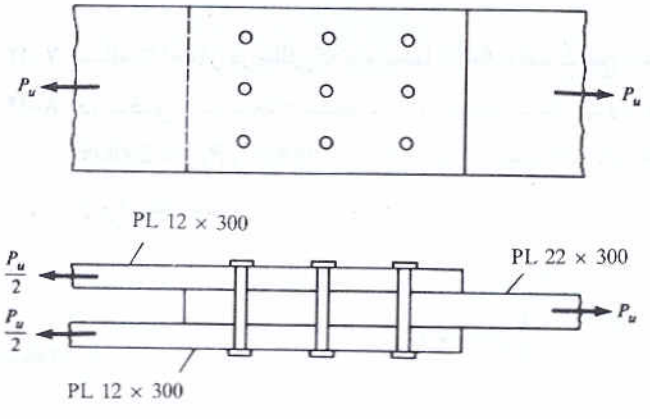
۱-۱۲ در اتصال رویهم زیر، ابعاد ورقها 300 mm × 12 است و نوع فولاد آنها نرمه است. اگر قطر پیچها $\frac{3}{4}$ اینچ و از نوع A325 باشند، مقدار P_u را در حالت اتصال اتکایی معین کنید.



مسأله ۱-۱۲

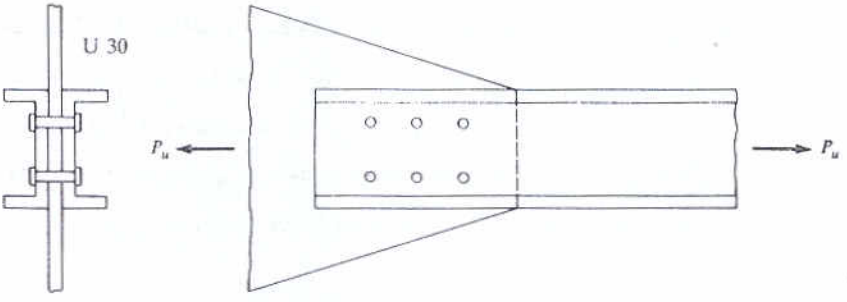
۲-۱۲ مسأله (۱۲-۱) را در حالتی که نوع پیچها A 490 و قطر آنها ۱ اینچ باشد حل کنید.

۳-۱۲ در شکل زیر اگر قطر پیچها $\frac{7}{8}$ اینچ و نوع آنها A 325 باشد و نوع اتصال نیز اتکایی فرض شود ظرفیت کششی طراحی آنرا معین کنید، نوع فولاد نرمه است.



مسأله ۳-۱۲

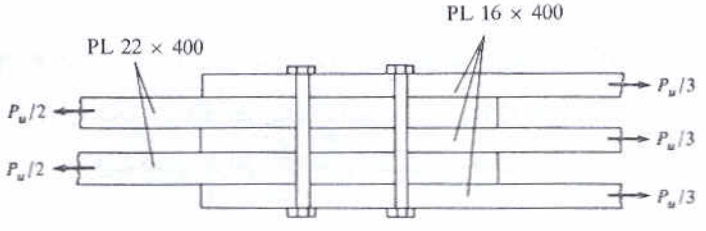
۴-۱۲ در شکل زیر که یک اتصال خرپایی را نشان می‌دهد. اگر نوع فولاد نرمه باشد و ضخامت صفحه ۲۴ میلی‌متر مطلوبست تعیین تعداد پیچهای A 325 به‌قطر $\frac{۷}{۸}$ اینچ که بتواند ظرفیت کششی طراحی نیمرخ را تأمین کند. نوع اتصال اتکایی است.



مسأله ۱۲-۴

۵-۱۲ مسأله (۱۲-۴) را در حالتی که نوع فولاد قطعات اعلا باشد و پیچ به کار گرفته شده A 490 به‌قطر 1in باشد حل کنید.

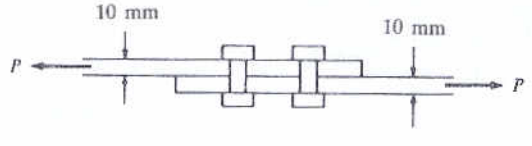
۶-۱۲ در اتصال زیر مقدار $P_u = 3000\text{kN}$ است. مطلوبست تعیین تعداد پیچهای A 325 به قطر 1in که با اتصال اتکایی قادر به انتقال بار خواهند بود. نوع فولاد را نرمه بگیرید.



مسأله ۱۲-۶

۷-۱۲ مسأله (۱۲-۶) را در حالتی که نوع پیچها A490 به قطر $\frac{۷}{۸}$ اینچ باشد بار دیگر حل کنید.

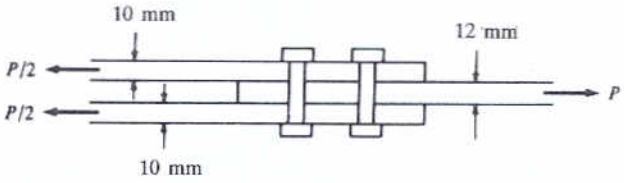
۸-۱۲ در شکل زیر تعداد پیچهای لازم جهت انتقال نیرو را معین کنید. بار سرویس وارده $P_D = 200\text{kN}$ و $P_L = 360\text{kN}$ است نوع پیچها A 325 به قطر $\frac{۷}{۸}$ اینچ است. فولاد به‌کار رفته از نوع نرمه است.



مسأله ۱۲-۸

۹-۱۲ مسأله (۱۲-۸) را در حالتی که سطح برش در قسمت دندانه‌دار واقع شده باشد حل کنید.

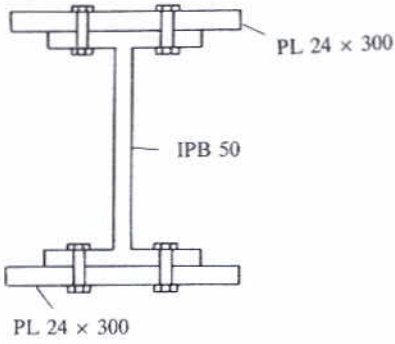
۱۰-۱۲ تعداد پیچهای A 325 به قطر $\frac{3}{4}$ اینچ لازم را برای اتصال اصطکاکی زیر معین کنید. $P_D = 400$ kN و $P_L = 320$ kN است. نوع فولاد مصرفی نرمه است.



مسأله ۱۲-۱۰

۱۱-۱۲ مسأله (۱۲-۶) را در حالتی که $P_D = 520$ kN و $P_L = 640$ kN بوده و نوع پیچها A 325 به قطر 1in و نوع اتصال اصطکاکی باشد، معین کنید. فولاد مصرفی نرمه است.

۱۲-۱۲ در نیمرخ زیر فواصل لازم پیچهای به قطر $\frac{7}{8}$ اینچ از نوع A 325 در مقطعی که در آن برش $V_u = 900$ kN است چیست؟ نوع اتصال را اتکایی بگیرید. فولاد مصرفی نرمه است.



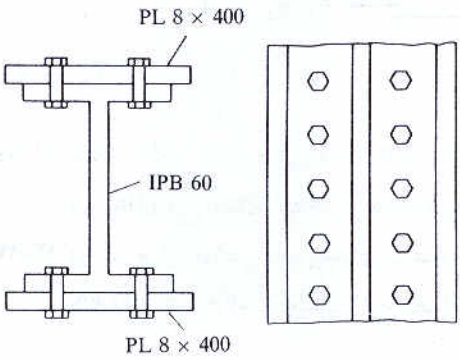
مسأله ۱۲-۱۲

۱۳-۱۲ تیر با تسمه تقویت زیر بارگسترده یکنواخت $W_D = 140$ kN/m که شامل وزن تیر نیز هست به همراه بارزنده یکنواخت $W_L = 200$ kN/m تحمل می‌کند. اگر از پیچهای A 325 به قطر $\frac{7}{8}$ in درنوع اصطکاکی آن استفاده نشده باشد، مقادیر فواصل پیچها را در کل دهانه معین کنید. نوع فولاد مصرفی نرمه است.

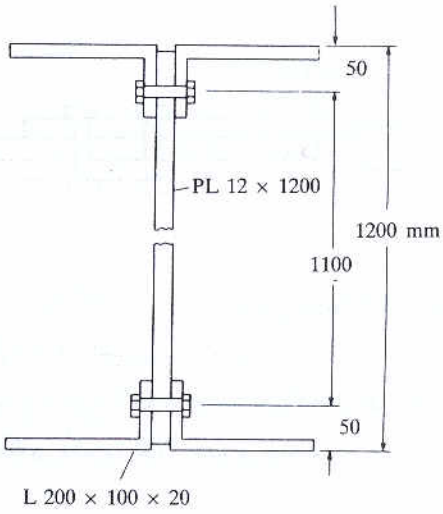
۱۴-۱۲ در شکل مقابل فواصل پیچهای A 490 به قطر $\frac{3}{4}$ in را معین کنید. نوع اتصال اصطکاکی است و فولاد به کار رفته اعلاست. نبشی‌ها را از تاکردن ورق ساخته‌اند.

۱۵-۱۲ در شکل زیر که یک نیمرخ مرکب است. فواصل پیچهای A 325 به قطر $\frac{3}{4}$ in را معین کنید. نوع

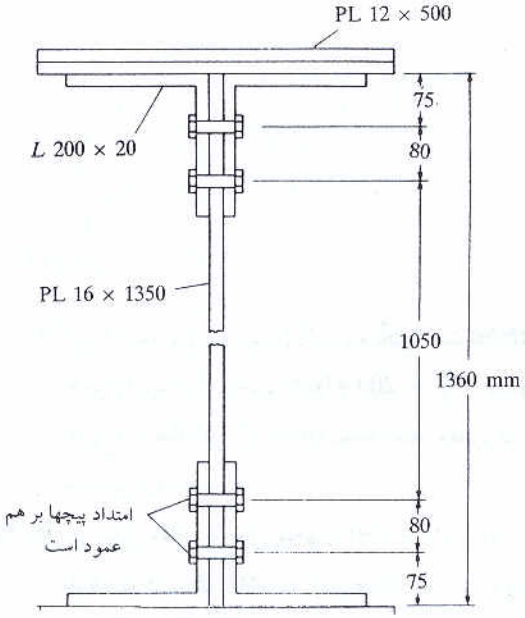
اتصال اتکایی و تلاش برشی وارده $V_u = 3600$ kN است. پیچها در جان نیمرخ مرکب واقع شده‌اند.



مسأله ۱۲-۱۳



مسأله ۱۲-۱۴



مسأله ۱۲-۱۵

فصل ۱۳

اتصالات پیچی (ادامه)

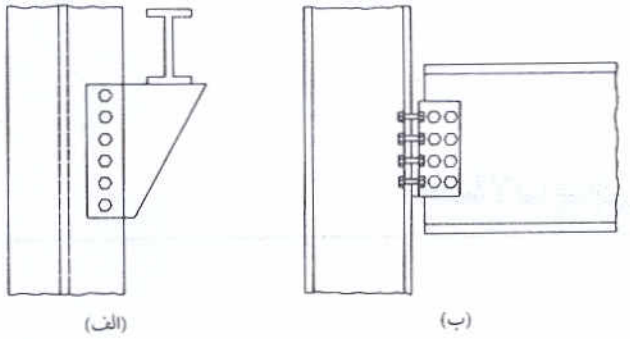
۱۳-۱ اتصال خارج از مرکز پیچها

مجموعه پیچها در اتصالات خارج از مرکز تحت برش و لنگر قرار می‌گیرند. امکان دارد تصور شود که چنین حالاتی نادر است. ولی باید گفت که عملاً تعداد آنها از آنچه تصور می‌شود بیشتر است. به‌عنوان مثال در یک اتصال خرپا انتظار این است که محور مارّ بر مرکز ثقل قطعه از مرکز ثقل پیچهای اتصال بگذرد. واقعیت این است که چنین عملی از نظر اجرایی معمولاً مشکل است و اتصالات به‌صورت خارج از مرکز عمل می‌کنند. در شکل (۱۳-۱ الف) که در آن تیری توسط یک ورق به‌ستون متصل شده‌است، خروج از مرکزیت اتصال کاملاً محرز است و در شکل (۱۲-۱ ب) نیز که اتصال تیری را با نبشی جان به ستون نشان می‌دهد معلوم است که این اتصال به دلیل عدم تطبیق مرکز ثقل بار وارده از تیر بر عکس‌العمل ستون لنگری تحمل می‌نماید.

ضوابط LRFD برای استحکام طراحی هر پیچ یا پرچ مقدار معین می‌کند ولی روشی برای محاسبه نیروها در اتصالات با خروج از مرکزیت معین نکرده است. در نتیجه روش تحلیل به عهده طراح گذاشته شده‌است.

در طی سالیان گذشته سه روش برای تحلیل اتصالات پیچی یا پرچی خارج از مرکز متداول شده است. اولّین روش که بسیار محافظه کارانه است و مبتنی بر عملکرد ارتجاعی پیچها است از مقاومت اصطکاکی بین قطعات متصل شده صرف‌نظر می‌کند و علاوه بر آن قطعات مورد اتصال را کاملاً صلب فرض می‌نماید. این روش تحلیل حداقل از سال ۱۸۷۰ میلادی مرسوم است.

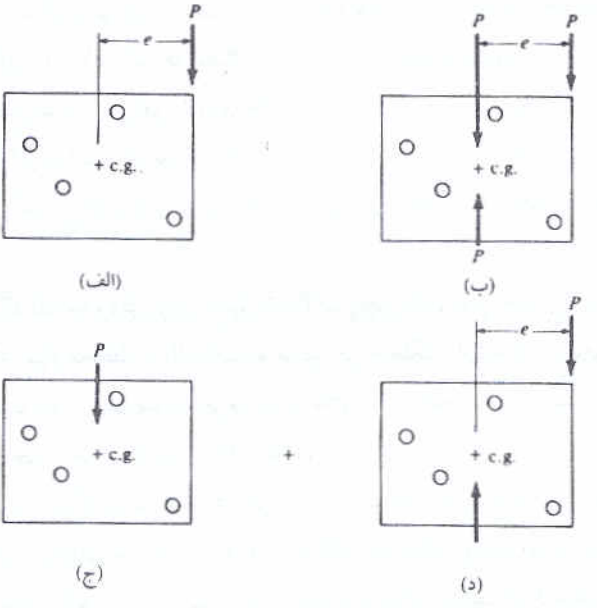
آزمایشها نشان داده‌اند که روش ارتجاعی فوق بسیار محافظه کارانه است و به‌دنبال آن روشهای مختلفی تحت عنوان «روشهای خروج از مرکز موثر یا تقلیل یافته» ابداع شده است. تحلیل روشهای اخیر کاملاً مشابه روش تحلیلی قبلی است و تنها از مقدار خروج از مرکزیت کمتری که منجر به لنگر کوچکتری می‌شود استفاده می‌شود.



شکل ۱۳-۱

روش سوم که به «روش استحکام نهایی» موسوم است در مقایسه با نتایج آزمایشها منجر به نتیجه بسیار واقعی‌تری می‌شود ولی استفاده از آن حداقل به کمک ماشین‌حساب دستی بسیار خسته کننده است. کتاب راهنمای LRFD برای حالات متقارن پیچها جداولی در جهت تسهیل محاسبات ارائه کرده است.

تحلیل ارتجاعی: مجموعه پیچهای شکل (۱۳-۲الف) راکه بر آن نیروی P با خروج از مرکزیت e از مرکز ثقل مجموعه اثر می‌کند در نظر می‌گیریم. برای درک وضعیت بارگذاری پیچها، دو نیروی برابر با

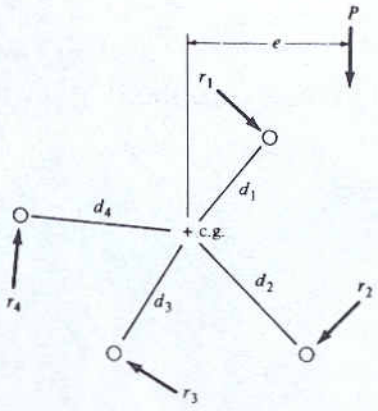


شکل ۱۳-۲

عملیات نصب پل فولادی

P ولی در جهت مخالف یکدیگر مطابق شکل (۱۳-۲ ب) به آن وارد می‌کنیم. چنین نیروی اضافه‌ای وضعیت نیروی وارده بر پیچها را تغییر نخواهد داد. هر پیچ نیرویی برابر با حاصل تقسیم نیروی P بر تعداد پیچها (شکل ۱۳-۲ ج) و نیروی حاصل از لنگر پیچشی (شکل ۱۳-۲ د) را تحمل خواهد کرد.

مقدار نیروی حاصل از اثر لنگر پیچشی Pe بر هر پیچ مورد بررسی قرار می‌گیرد. فاصلهٔ هر پیچ از مرکز ثقل مجموعه با d_1 و d_2 و نظیر آن نشان داده می‌شود (شکل ۱۳-۳). فرض می‌شود که زوج نیرو سبب شود که ورق اتصال حول مرکز ثقل پیچها دوران کند تا در هر پیچ کرنشی متناسب با فاصله آن پیچ از مرکز ثقل ایجاد نماید (فرض می‌شود که صفحه کاملاً صلب و پیچها کاملاً ارتجاعی هستند). در پیچی که به‌فاصله دورتر از مرکز ثقل قرار دارد بیشترین کرنش و در نتیجه بیشترین تنش در ناحیه ارتجاعی ایجاد خواهد شد.



شکل ۱۳-۳

اگر بر اثر دوران صفحه در پیچها نیروهایی به ترتیب برابر با r_1 ، r_2 ، r_3 و r_4 (مطابق شکل) ایجاد شود، لنگر پیچشی مقاوم که با لنگر پیچشی وارده برابری می‌کند به صورت زیر معین می‌شود:

$$M_{c.g} = Pe = r_1 d_1 + r_2 d_2 + r_3 d_3 + r_4 d_4 \qquad (۱)$$

چون نیرو در هر پیچ متناسب با فاصله آن پیچ از مرکز ثقل است، می‌توان رابطهٔ زیر را نوشت:

$$\frac{r_1}{d_1} = \frac{r_2}{d_2} = \frac{r_3}{d_3} = \frac{r_4}{d_4}$$

اگر هر یک از نیروهای r را برحسب r_1 و d_1 بنویسیم خواهیم داشت:

$$r_1 = \frac{r_1 d_1}{d_1} \quad r_2 = \frac{r_1 d_2}{d_1} \quad r_3 = \frac{r_1 d_3}{d_1} \quad r_4 = \frac{r_1 d_4}{d_1}$$

حال اگر این مقادیر را در رابطهٔ (۱) قرار دهیم رابطه زیر به دست می‌آید:

$$M = \frac{r_1 d_1^2}{d_1} + \frac{r_1 d_2^2}{d_1} + \frac{r_1 d_3^3}{d_1} + \frac{r_1 d_4^2}{d_1} = \frac{r_1}{d_1}(d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2)$$

بنابراین داریم:

$$M = \frac{r_1 \Sigma d^2}{d_1}$$

به این ترتیب نیروی وارده بر هر پیچ را می‌توان از روابط زیر به دست آورد:

$$r_1 = \frac{Md_1}{\Sigma d^2} \quad r_2 = \frac{d_2}{d_1} r_1 = \frac{Md_2}{\Sigma d^2} \quad r_3 = \frac{Md_3}{\Sigma d^2} \quad r_4 = \frac{Md_4}{\Sigma d^2}$$

امتداد هر نیروی r عمود بر خطی است که پیچ را به مرکز ثقل مجموعه وصل می‌کند، معمول بر این است که این نیرو را با مؤلفه‌های قائم و افقی آن معین می‌کنند (شکل ۱۳-۴).

اگر تصاویر قائم و افقی d_1 را با v و h نشان دهیم، مؤلفه‌های قائم و افقی نیرو به ترتیب با V و H معین خواهد شد. حال می‌توان نسبت زیر را به منظور تعیین مقدار H نوشت:

$$\frac{r_1}{d_1} = \frac{H}{v}$$

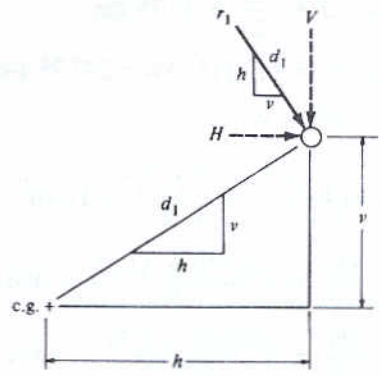
$$H = \frac{r_1 v}{d_1} = \left(\frac{Md_1}{\Sigma d^2}\right)\left(\frac{v}{d_1}\right)$$

بنابراین

$$H = \frac{Mv}{\Sigma d^2}$$

به نحو مشابه می‌توان مؤلفه V را نیز برابر با مقدار زیر به دست آورد:

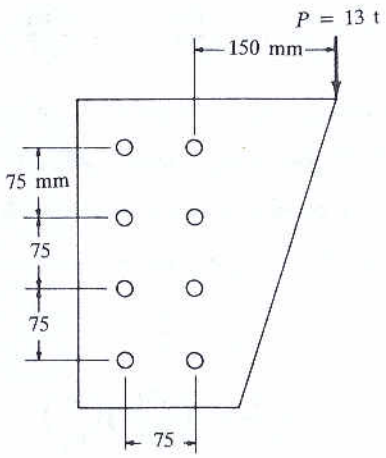
$$V = \frac{Mh}{\Sigma d^2}$$



شکل ۱۳-۴

مثال ۱۳-۱

در شکل (۱۳-۵)، مقدار نیرو را در بحرانی‌ترین پیچ اتصال با استفاده از روش ارتجاعی معین کنید.



شکل ۱۳-۵

حل:

تصویری از هر پیچ و نیروهای مؤثر بر آن که شامل نیروی برشی و لنگر پیچشی است در شکل (۱۳-۶) نشان داده شده است. در این تصویر دیده می‌شود که دو پیچ گوشه راست بالا و گوشه راست پایین بحرانی‌ترین پیچها هستند و دارای تنشهای یکسانی نیز می‌باشند.

$$e = 15 + \frac{7.5}{2} = 18.75 \text{ cm}$$

$$M = Pe = (13)(18.75) = 243.75 \text{ t-cm}$$

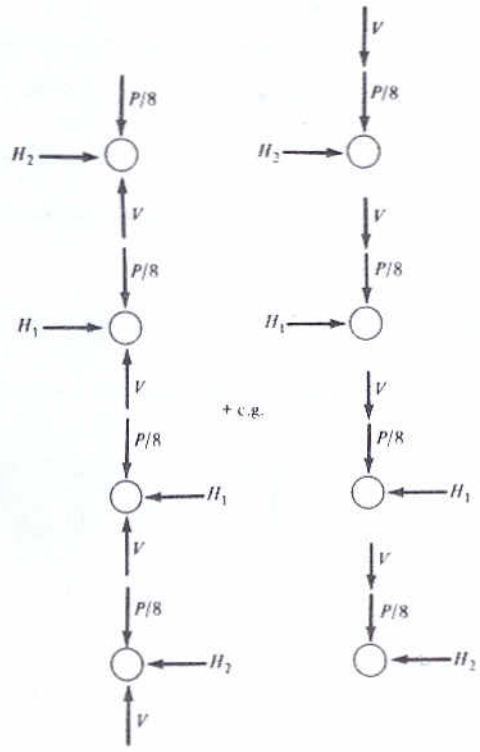
$$\Sigma d^2 = \Sigma h^2 + \Sigma v^3$$

$$\Sigma d^2 = 8\left(\frac{7.5}{2}\right)^2 + 4\left[\left(\frac{7.5}{2}\right)^2 + 11.25^2\right] = 675$$

$$H = \frac{Mv}{\Sigma d^2} = \frac{243750 \times 11.25}{675} = 4062 \text{ kg}$$

$$V = \frac{Mh}{\Sigma d^2} = \frac{243750 \times 3.75}{675} = 1354 \text{ kg}$$

$$\frac{P}{8} = \frac{13000}{8} = 1625 \text{ kg}$$



شکل ۱۳-۶

نیروی مؤثر بر پیچ گوشه راست پایین (که برابر با نیروی مؤثر بر پیچ گوشه راست بالاست)، به‌صورت زیر معین می‌شود:

$$r = \sqrt{(4062)^2 + (1354 + 1625)^2} = 5037 \text{ kg}$$

اگر بار وارده به صورت مایل وارد شود، می‌توان آن را به دو مؤلفه قائم و افقی تجزیه نمود و لنگر پیچشی هریک را حول مرکز ثقل مجموعه‌پیچها معین‌کرد. روابط متعددی می‌توان برای طراحی اتصالات با خروج ازمرکزیت به‌دست‌آورد وبرای آرایش مختلف پیچها نسبت به‌تعیین مقدار ویا تنش‌آنها اقدام نمود.

روش تقلیل خروج از مرکزیت: در روش ارتجاعی نیروی حاصل از لنگر بیش از واقعیت است. چندین پیشنهاد طی سالیان گذشته ارائه شده است که در آنها از خروج از مرکزیت مؤثر استفاده می‌شود و

به‌عبارت دیگر مقاومت اصطکاکی بین صفحات به حساب می‌آید. مقادیری که به عنوان خروج از مرکزیت تقلیل یافته مدتی است که به کار می‌رود به شرح زیر هستند:

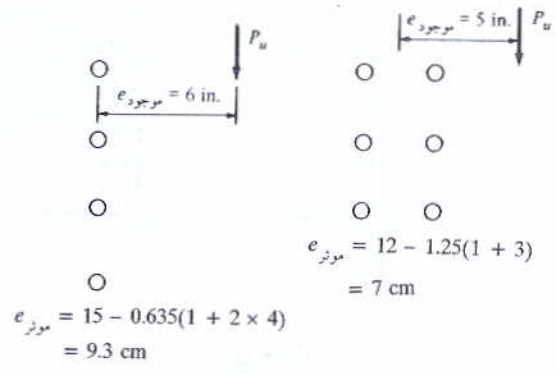
۱-اگر اتصال از یک ستون قائم پیچ به تعداد n تشکیل شده باشد داریم:

$$e_{\text{مؤثر}} = e_{\text{موجود}} - 0.635(1 + 2n) \quad \text{برحسب سانتیمتر} \quad (\text{برحسب cm})$$

۲-اگر اتصال از دو یا چند ستون قائم پیچ به تعداد n پیچ در هر ستون تشکیل شده باشد خواهیم داشت:

$$e_{\text{مؤثر}} = e_{\text{موجود}} - 1.25(1 + n) \quad \text{برحسب سانتیمتر} \quad (\text{برحسب cm})$$

مقادیر خروج از مرکزیت مؤثر برای دو نوع آرایش پیچها در شکل (۱۳-۷) نشان داده می‌شود.

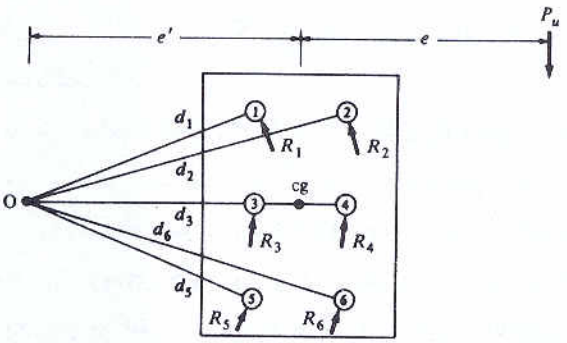


شکل ۱۳-۷

روش استحکام نهایی: هر دو روش ارتجاعی و روش خروج از مرکزیت تقلیل یافته با این فرض که عملکرد پیچها ارتجاعی است به تحلیل اتصالات با خروج از مرکزیت می‌پردازند. روش منطقی‌تر بررسی این‌گونه اتصالات، روش استحکام نهایی است که به شرح آن می‌پردازیم:

اگر دورترین پیچ یا پرچ در یک اتصال با خروج از مرکزیت شروع به لغزش یا تسلیم نماید، اتصال گسیخته نخواهد شد. تنها بار حاصل از خروج از مرکزیت بار بر روی سایر پیچها یا پرچهای داخلی افزایش خواهد یافت و گسیختگی زمانی حاصل خواهد شد که کلیه پیچها یا پرچها لغزیده و یا جاری شوند.

بار خارج از مرکز تمایل به دوران و انتقال نسبی قطعات متصل شده دارد. که در حقیقت جمعاً منجر به‌دوران نسبی قطعات حول مرکزی که مرکز آنی دوران نامیده می‌شود می‌گردد. در شکل (۱۳-۸) یک اتصال با خروج از مرکزیت و مرکز آنی دوران آن با نقطه O معین شده است. این مرکز از مرکز ثقل پیچها به‌فاصله e' قرار دارد.



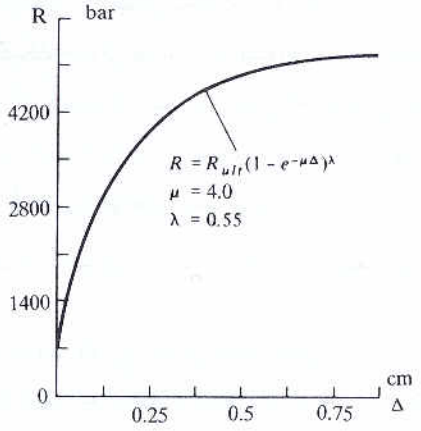
شکل ۱۳-۸

فرض می‌شود که تغییر شکل پیچها متناسب با فاصله آنها از مرکز آنی دوران باشد. نیروی برشی نهایی که یکی از پیچها می‌تواند تحمل کند برابر با نیروی برشی خالصی که آن پیچ بتنهایی قادر به تحمل است نمی‌باشد بلکه بستگی به رابطه بار - تغییر شکل پیچ دارد.

آقایان کرافورد (Crawford) و کولاک (Kulak) نشان دادند که این نیرو را می‌توان تقریباً با رابطه زیر نشان داد:

$$R = R_{ult}(1 - e^{-4\Delta})^{0.55}$$

در این رابطه R_{ult} بار برشی نهایی یک پیچ است. e پایه لگاریتم طبیعی ($e = 2.718$) و Δ برابر با کل تغییر شکل یک پیچ است که به صورت آزمایشی برابر با ۰/۸۶ سانتیمتر معین شده است. ضرایب ۴ و ۰/۵۵ به کمک آزمایش معین شده‌اند. در شکل (۱۳-۹) این رابطه به صورت منحنی نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۹ نیروی برشی نهایی R در یک پیچ در تغییر شکلهای مختلف

این رابطه نشان می‌دهد که بار برشی نهایی یک پیچ در یک مجموعه از پیچها تحت بار خارج از مرکز به تغییر شکل آن بستگی دارد. لذا بار وارده بر یک پیچ خاص بسته به موقعیت آن در اتصال به فاصله آن از مرکز آنی بستگی خواهد داشت.

نیروهای مؤثر بر هر پیچ در اتصال شکل (۱۳-۸) با R_1 ، R_2 و R_3 و نظیر آن معین شده است. امتداد هر یک از این پیچها عمود بر خطی است که از مرکز آنی دوران به مرکز پیچ رسم شده است. در این اتصال متقارن مرکز آنی دوران روی خط افقی مارّ بر مرکز ثقل قرار خواهد گرفت. زیراکه برآیند مؤلفه‌های افقی نیروهای R و لنگر حاصل از نیروهای R و نیروی وارده بر اتصال حول مرکز آنی دوران باید برابر با صفر گردد. موقعیت نقطه O روی خط افقی را می‌توان به کمک روش سعی و خطا معین کرد.

با توجه به شکل (۱۳-۸) لنگر نیروی خارج از مرکز حول نقطه O باید برابر با مجموع لنگرهای نیروهای R حول همان مرکز باشد. اگر محل مرکز آنی معین باشد می‌توان مقدار R را با کمک رابطه کرافورد -کولاک معین کرده و مقدار P_u را محاسبه کرد.

$$P_u(e' + e) = \Sigma Rd$$

$$P_u = \frac{\Sigma Rd}{e' + e}$$

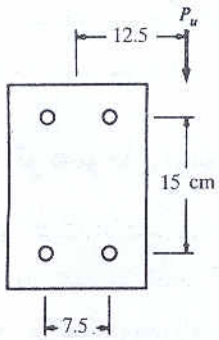
چون محل مرکز آنی معلوم نیست، می‌توان محلی برای آن حدس زد و مقادیر R را معین نمود و در نهایت P_u را محاسبه کرد. معلوم است که مقدار P_u باید برابر با مجموع مؤلفه‌های قائم (ΣR_v) نیروهای R باشد. اگر چنین بود معلوم است که محل مرکز آنی صحیح است. در غیراین‌صورت باید محل دیگری را آزمایش کرد.

در مثال (۱۲-۲) به کمک روش سعی و خطا برای یک اتصال متقارن با چهار پیچ محل مرکز آنی دوران معین شده و استحکام طراحی P_u اتصال محاسبه شده است.

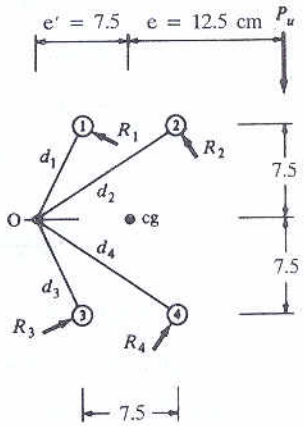
در عمل بهتر است که با کمک جدولی مطابق آنچه نشان داده شده است به حل مسأله بپردازیم. در این جدول h و v تصاویر افقی و قائم فاصله d است. برای پیچی که بیشترین فاصله را از O دارد مقدار Δ برابر با 0.86 cm معین شده است و مقدار Δ برای سایر پیچها به تناسب فاصله پیچ از مرکز O معین شده است و در نهایت با کمک Δ مقدار R برای پیچها معین شده است.

مثال ۱۳-۲

برای پیچهای A325 به قطر $\frac{7}{8}$ in که در اتصال شکل (۱۳-۱۰) به کار رفته است استحکام برشی طراحی برابر با $R_u = 0.65\ (3.88)(5000) = 12.6$ ton است. با استفاده از روش سعی و خطا مرکز آنی دوران اتصال را معین کرده و مقدار P_u را تعیین کنید.



شکل ۱۳-۱۰



شکل ۱۳-۱۱

حل:

برای اولین سعی مقدار $e' = 7.5$ cm مطابق شکل (۱۳-۱۱) حدس‌زده می‌شود.

شماره پیچ	h cm	v cm	d cm	Δ cm	R kN	R_v kN	Rd cm-kN
1	3.75	7.5	8.39	0.53	117.4	52.5	985
2	11.25	7.5	13.52	0.86	123.8	103	1674
3	3.75	7.5	8.39	0.53	117.4	52.5	985
4	11.25	7.5	13.52	0.86	123.8	103	1674
						Σ=311	Σ=5318

که برابر با ۳۱۱ نیست. $P_u = \dfrac{\Sigma Rd}{e' + e} = \dfrac{5318}{20} = 265.9$ kN

پس از چند سعی و خطا مقدار $e' = 6$cm انتخاب می‌شود.

شماره پیچ	h cm	v cm	d cm	Δ cm	R kN	R_v kN	Rd cm-kN
1	2.25	7.5	7.83	0.55	118	33.9	924
2	9.75	7.5	12.3	0.86	123.8	98.1	1206.6
3	2.25	7.5	7.83	0.55	118	33.9	924
4	9.75	7.5	12.3	0.86	123.8	98.1	1206.6
						Σ=264	Σ=4261.2

$$P_u = \frac{4261.2}{18.5} = 230 \text{ kN}$$

که چندان دورتر از 264 kN نیست ولی بهتر است سعی و خطای دیگری انجام داد.

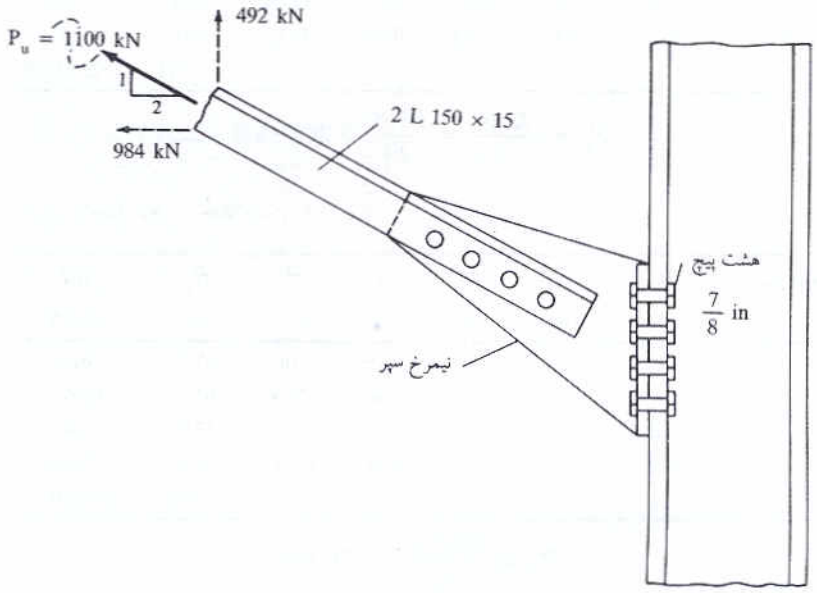
گرچه در شرح این روش تنها از اتصال نوع اتکایی صحبت شد، ولی بررسی نظری و آزمایشی نشان داده است که از این روش می‌توان برای اتصال اصطکاکی نیز استفاده کرد.

از روش استحکام نهایی می‌توان برای حالتی که امتداد بار مایل است نیز استفاده کرد. ولی واضح است که در این حالت روش سعی و خطا بسیار طولانی خواهد بود.

۱۳-۲ اثر همزمان برش و کشش در پیچها

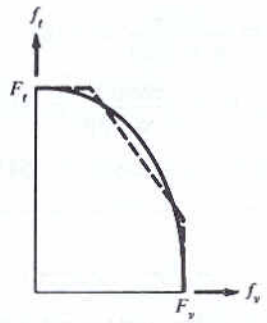
پیچها در اکثر اتصالات سازه‌ها تحت اثر ترکیبی از برش و کشش قرار دارند. در شکل (۱۳-۱۲) حالت متعارفی نشان داده شده است که در آن یک بادبند قطری به ستون ساختمان متصل شده است. مؤلفهٔ 492 kN سعی می‌کند که پیچها را در سطح بیرونی ستون ببرد و مؤلفه 984 kN سعی دارد که باکشش آنها را از ستون جدا کند.

آزمایشها روی پیچهای با اتصال اتکایی نشان می‌دهد که هرگاه این پیچها تحت ترکیب برش و کشش باشند، استحکام نهایی آنها را می‌توان مطابق شکل (۱۳-۱۳) با منحنی بیضی شکل معین کرد. در این شکل F_t حداکثر تنش کششی است هرگاه برش وجود نداشته باشد و F_v نیز حداکثر تنش برشی با عدم‌حضور کشش است.



شکل ۱۳-۱۲ اتصال تحت اثر ترکیب برش و کشش

سه خط چین نشان داده شده در شکل (۱۳-۱۳) با کمی تقریب همان مقادیر منحنی را نشان می‌دهند. جدول (۱۳-۱) براساس این خط تنظیم شده است. در این جدول f_v و f_t به ترتیب تنشهای موجود برشی و کششی حاصل از بار ضریب‌دار در پیچ است. مقادیر حداکثر در جدول (مانند $4700 kg/cm^2$ برای پیچهای A 325 با سطح برش خارج قسمت دندانه‌دار) برابر است با حاصل‌ضرب ϕ (که برابر با ۰/۷۵ است) در استحکام اسمی پیچ در حالتی که پیچ تنها تحت کشش قرار داشته باشد.



شکل ۱۳-۱۳ پیچ در اتصال اتکایی تحت برش و کشش

در مثال (۱۳-۱۳) بررسی محاسباتی لازم برای پیچی که به صورت اتکایی عمل می‌کند و تحت اثر نیرویی مرکب از برش و کشش قرار دارد انجام گرفته است.

جدول ۱۳-۱ حد تنش کششی F_t برحسب kg/cm^2 در پیچهای با اتصال اتکایی

نوع پیچ یا پرچ	سطح برش بر قسمت دندانه‌دار می‌گذرد	سطح برش خارج قسمت دندانه‌دار است
پیچهای سیاه A307 یا مشابه	$2690 - 1.8f_v \le 2070$	
پیچهای A325 یا مشابه	$5860 - 1.8f_v \le 4690$	$5860 - 1.4f_v \le 4690$
پیچهای A490 یا مشابه	$7310 - 1.8f_v \le 5790$	$7310 - 1.4f_v \le 5790$
پیچهای A449 یا مشابه به قطر بیشتر از $\frac{1}{2}$ اینچ	$0.73F_u - 1.8f_v \le 0.56\ F_u$	$0.73F_u - 1.4f_v \le 0.56F_u$
پرچ A502 درجه یک یا مشابه	$3030 - 1.3f_v \le 2340$	
پرچ A502 درجه دو یا مشابه	$4070 - 1.3f_v \le 3100$	

مثال ۱۳-۳

در شکل (۱۳-۱۲) قطعه کششی به کمک ۸ پیچ A325 به قطر $\frac{7}{8}$ in به صورت اتصال اتکایی به ستون متصل شده است. سطح برش خارج قسمت دندانه‌دار پیچ بوده و سوراخها به صورت استاندارد هستند. مطلوبست تعیین کفایت این تعداد پیچ برای این اتصال.

حل:

$$\text{تنش برشی} \quad f_v = \frac{49200}{8 \times 3.88} = 1585 \quad \text{kg/cm}^2 \text{ (bar)}$$

$$\text{تنش کششی} \quad f_t = \frac{98400}{8 \times 3.88} = 3170 \quad \text{(bar)}$$

$$\text{حد تنش کششی} \quad F_t = 5860 - 1.4(1585) = 3641 > 3170 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK.}$$

اگر بر یک اتصال اصطکاکی نیروی کشش وارد شود، نیروی ایجادکننده اصطکاک تقلیل یافته و در نتیجه استحکام برشی طراحی باید به‌نحوی متناسب پیش تنیدگی از دست رفته تقلیل پیدا کند. برطبق ضوابط LRFD استحکام برشی اسمی در اتصال اصطکاکی مندرج در جدول (۱۲-۶) باید به ضریب $1 - T/T_b$ ضرب شود در این رابطه T بار کاربردی کششی مؤثر بر پیچ است و T_b بار دوام پیچ مندرج در جدول (۱۲-۱) می‌باشد. در این حالت $\phi = 1$ است مگر این‌که در سوراخ لوبیایی امتداد نیرو منطبق بر امتداد قطر بزرگتر سوراخ باشد. در این حالت $\phi = 0.85$ گرفته می‌شود.

در اتصال اتکایی و سوراخ استاندارد، استحکام برشی اسمی در بارکاربردی به صورت زیر معین می‌شود:

$$\text{برای پیچ A325} \quad \leq \left(1 - \frac{T}{T_b}\right)(1170)$$

$$\text{برای پیچ A490} \quad \leq \left(1 - \frac{T}{T_b}\right)(1450)$$

مثال ۱۳-۱۴

مثال (۱۳-۳) را در حالتی که اتصال اصطکاکی باشد بررسی کنید. در این حالت بارکاربردی $P_D = 33$ ton و $P_L = 40.0$ ton فرض شود.

$$P = 33.0 + 40.0 = 73 \text{ ton}$$

$$P_v = \left(\frac{1}{\sqrt{5}}\right)(73.0) = 32.65 \text{ ton}$$

$$P_h = \left(\frac{2}{\sqrt{5}}\right)(73.0) = 65.3 \text{ ton}$$

$$f_v = \frac{32650}{8 \times 3.88} = 1052 \text{ kg/cm}^2 \text{ (bar)}$$

$$f_t = \frac{65300}{8 \times 3.88} = 2104 \text{ kg/cm}^2$$

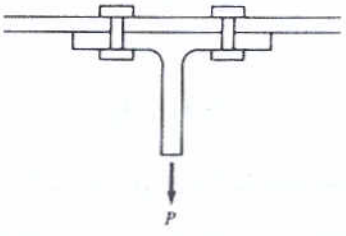
$$\text{حد استحکام برشی} = \left(1 - \frac{T}{T_b}\right)(1170) = \left(1 - \frac{\frac{653}{8}}{173}\right)(1170) = 618 < 1052 \; N.G$$

اتصال برای نوع اصطکاکی مناسب نیست

۱۳-۳ بارکششی در اتصالات پیچی

درگذشته طراحان همواره سعی داشتند از اعمال بارکششی خالص بر اتصالات پیچی و پرچی اجتناب کنند. یکی از مواردی که ناچار به استفاده از آن بودند، اتصال بادبند ساختمانهای مرتفع بوده است. البته موارد دیگری نظیر اتصال آویزهای کششی پلها، اتصالات فلنجی لوله‌ها و مشابه آن از حالاتی بوده است که تحت کشش خالص طراحی شده‌اند. در شکل (۱۳-۱۴) یک اتصال کششی نشان داده شده است؛

پرچها و پیچهای پر مقاومت با پیش تنیدگی کامل معمولاً تغییر طول کششی نمی‌دهند؛ زیرا حین اجرا تحت کشش بالایی قرار گرفته‌اند. مقدار پیش تنیدگی آنها به حدود تنش تسلیم پیچ می‌رسد و به این جهت



شکل ۱۳-۱۴

طراحان ازاین‌که کشش اضافی سبب گسیختگی اتصال گردد، وحشت دارند و چنین عملی را صحیح نمی‌دانند. واقعیت این است که در اثر بار کششی خارجی، تنش این نوع پیچ یا پرچ تغییر بسیار اندکی خواهد کرد.

پرچ پس از خنک شدن و پیچ پر مقاومت در اثر اعمال نیروی پیش تنیدگی در تنهٔ خود نیروی کششی قابل ملاحظه‌ای دارند که به کمک آن قطعات مورد اتصال را بهم خواهند فشرد. اگر نیروی کششی به اتصال اعمال شود، این نیرو تا زمانی که کرنش اضافی به پیچها یا پرچها اعمال نکند قادر به افزایش تنش در تنهٔ آنها نخواهد بود و چنین عملی ممکن نخواهد بود؛ مگر قطعات مورد اتصال در اثر نیرو تمایل به ضخیم‌تر شدن نمایند و چنین عملی ممکن نیست مگر نیروی وارده بر هر پیچ بیش از نیروی پیش تنیدگی باشد. به عبارت دیگر قطعات در اثر نیروی پیش تنیدگی پیچها به شدت به یکدیگر فشرده شده‌اند.

به عبارت دیگر اگر نیروی کششی P (شکل ۱۳-۱۴) به اتصال وارد شود، این نیرو تمایل به تقلیل ضخامت ورقها خواهد داشت و از طرف دیگر چون نیروی پیش تنیدگی پیچ نیز تقلیل می‌یابد لذا این تقلیل سبب بالا رفتن ضخامت ورقها خواهد شد و به صورت نظری می‌توان نتیجه گرفت که چون تغییری در ضخامت ورق نخواهد بود، لذا تغییری نیز در نیروی پیش تنیدگی پیش نخواهد آمد. این حالت تا زمانی که P برابر با نیروی پیش تنیدگی نباشد ادامه خواهد یافت.

اگر باری به سطوح خارجی اتصال وارد شود، سبب تغییر فوری کرنش در پیچ خواهد شد. این افزایش به‌همراه انبساط ورقها خواهد بود حتی اگر نیروی وارده بیش از نیروی پیش تنیدگی نباشد. البته تغییر نیروی پیش تنیدگی چندان بالا نخواهد بود زیرا نیروی وارده تقریباً متناسب با سختی صفحه و پیچها بین آنها توزیع خواهد شد. لذا صفحه بیشترین سهم نیرو را به‌خود اختصاص خواهد داد. می‌توان رابطه‌ای بین تغییر طول پیچ براساس سطح مقطع آن و سطح مقطع مؤثر در اتصال ورق نوشت. اگر چنین کنیم خواهیم دید که تا زمانی که P بیشتر از نیروی پیش تنیدگی نشود افزایش تنش در حدود ۱۰ درصد خواهد بود و اگر نیروی P بیش از نیروی پیش تنیدگی شود تنش در پیچ به شدت افزایش خواهد یافت.

از بحث نسبتاً طولانی فوق این نتیجه گرفته می‌شود که نیروی متعارف کششی، نمی‌تواند یک اتصال پرچی یا پیچی از نوع پر مقاومت را چندان متأثر نماید.

ضوابط LRFD مقدار استحکام کششی طراحی پیچها و پرچها را با رابطه زیر که مستقل از نیروی پیش تنیدگی اولیه است معین می‌کند.

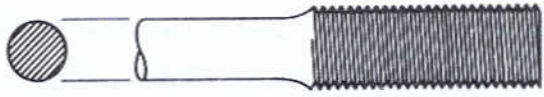
$$P_u = \phi F_t A_g$$

زمانی که پیچها یا پرچها تحت کشش قرار می‌گیرند آنها تحت خمش اندکی نیز قرار می‌گیرند و به این جهت مقدار ϕ در این عبارت کم (برابر با ۰/۷۵) گرفته می‌شود. در جدول (۱۳-۲) استحکام طراحی پیچها و پرچها ذکر شده است.

جدول ۱۳-۲ استحکام طراحی پیچها و پرچها (برحسب $\text{bar} \approx \text{kg/cm}^2$)

نوع پیچ یا پرچ	استحکام کششی		استحکام برشی در اتصال اتکایی	
	ضریب مقاومت ϕ	استحکام اسمی	ضریب مقاومت ϕ	استحکام اسمی
پیچهای سیاه A307 یا مشابه	0.75	3100	0.6	1860
پیچهای A325 سطح برش بر قسمت دندانه‌دار می‌گذرد		6200	0.65	3720
پیچهای A325 سطح برش بر قسمت دندانه‌دار نمی‌گذرد		6200		4960
پیچهای A490 سطح برش بر قسمت دندانه‌دار می‌گذرد		7760		4650
پیچهای A490 سطح برش بر قسمت دندانه‌دار نمی‌گذرد		7760		6200
قطعات رزوه شده اگر سطح برش بر قسمت دندانه‌دار بگذرد		$0.75\ F_u$		$0.45\ F_u$
قطعات رزوه شده اگر سطح برش بر قسمت دندانه‌دار نگذرد		$0.75\ F_u$		$0.6\ F_u$
پرچ A502 یا مشابه درجه ۱		3100		2480
پرچ A502 یا مشابه درجه ۲		4140		3310

در رابطه فوق A_g سطح مقطع اسمی پرچ یا پیچ در قسمت بدون رزوه است و شامل میلگردهای با رزوهٔ چاق نمی‌شود (شکل ۱۳-۱۵).



شکل ۱۳-۱۵ میلگرد با رزوهٔ چاق

میل‌گردهای با رزوه چاق چندان مورد مصرفی ندارند و اقتصادی نیز نمی‌باشند.

مثال ۱۳-۵

مطلوبست تعیین استحکام کششی طراحی پیچهای اتصال شکل (۱۳-۱۴) هرگاه از هشت پیچ $\frac{7}{8}$ in از نوع A 490 استفاده شده باشد.

حل:

$$P_u = 0.75(8)(3.88)(7760) = 180.65\ \text{kN}$$

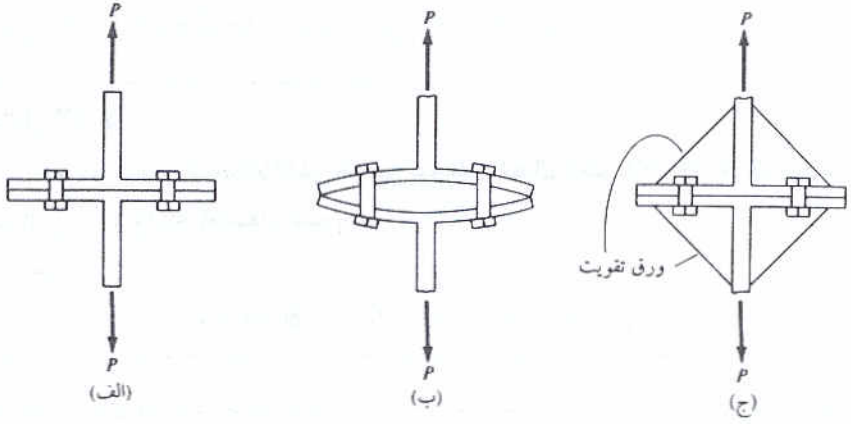
نیروی وارده بر هر اتصال کششی مجموع کل بار کششی خارجی ضریب‌دار و نیروی کششی حاصل از عمل اهرمی است.

۱۳-۴ عمل اهرمی prying action

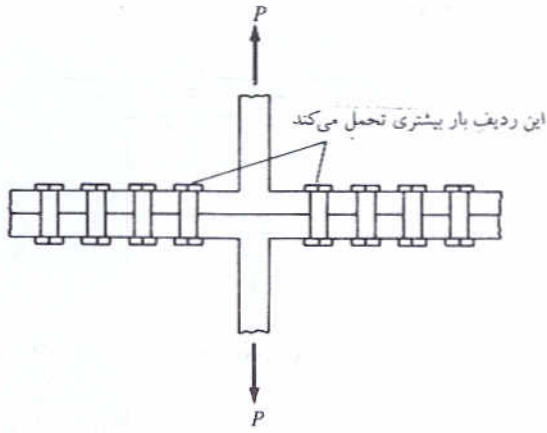
در اتصالات کششی باید به امکان ایجاد عمل اهرمی نیز توجه شود. یک اتصال کششی در شکل (۱۳-۱۶ الف) نشان داده شده است. در این اتصال همان‌گونه که در شکل (۱۳-۱۶ ب) نشان داده شده است. عمل اهرمی ایجاد می‌شود. اگر بالهای قطعه قوی بوده و یا از ورق تقویت مطابق شکل (۱۳-۱۶ ج) استفاده شود شاید بتوان از عمل اهرمی صرف‌نظر نمود. در غیراین‌صورت این نیرو را باید ملحوظ داشت.

معمول بر این است که تعداد ردیف پیچها را در یک قطعه کششی محدود نمایند مخصوصاً که درصد بیشتری از بار توسط ردیفهای داخلی اتصال خصوصاً زمانی که بالهای تیر انعطاف‌پذیر باشد. حتی در بار نهایی تحمل می‌شود. در شکل (۱۳-۱۷) یک چنین اتصالی نشان داده شده است. هرگاه بالهای متصل شده انعطاف‌پذیر باشد، عمل اهرمی سبب می‌شود که پیچهای ردیف داخل سهم بسیار بالایی از بار را تحمل کنند. اگر اتصالی تنها تحت کشش قرار دارد باید میزان بار ناشی از عمل اهرمی برآورد گردد. و به نیروی کششی و مؤثر خارجی اضافه شود، تعیین مقدار واقعی نیروی اهرمی پیچیده است و در حال حاضر نیز تحقیق در مورد آن ادامه دارد. چندین رابطه تجربی در این رابطه وجود دارد. ضوابط LRFD نیز روابطی را معرفی می‌کند البته باید گفت که هنوز حقایق زیادی در مورد عمل اهرمی ناشناخته است و روابط ارائه شده هر ساله تغییر می‌کند.

در پیچهایی که تحت کشش خالص قرار دارند حتماً باید پیش تنیدگی کامل ایجاد شود. باید اضافه شود که در اتصالاتی که تحت بار خستگی‌آور و بارکشش خالص و عمل اهرمی قرار دارند و یا به صورت اصطکاکی عمل می‌کنند. باید پیش تنیدگی کامل در پیچهای اتصال ایجاد شود. در غیراین‌صورت اگر پیچها



شکل ۱۳-۱۶



شکل ۱۳-۱۷

به‌صورت متعارف محکم شده باشند، کشش وارده بلافاصله سبب ازدیاد کشش در پیچ خواهد شد.

آویزها و سایر اتصالات کششی باید طوری طرح شوند که تغییرشکل زیادی نداشته باشند. البته باید گفت که استفاده از بالهای صلب در این نوع اتصالات اهمیت ویژه‌ای دارد وضعیت اتصال نیز عامل مهمی به‌حساب می‌آید برای چنین اتصالی اندازه b تا حدامکان باید تقلیل یابد (شکل ۱۳-۱۸) و این فاصله باید به‌اندازه لازم برای عمل پیچاندن پیچ توسط آچار محدود شود.

در این‌جا به ذکر یک مثال با توجه به آنچه در کتاب راهنمای LRFD آورده شده است قناعت می‌شود. با توجه به شکلهای (۱۳-۱۸) و (۱۳-۱۹) حروف به‌کار رفته معانی زیر را دارند.

B = استحکام کششی طراحی هر پیچ

T = نیروی کششی مؤثر بر هر پیچ بدون در نظرگرفتن عمل اهرمی

(این نیرو تا زمانی که نیروی کششی بیش از نیروی پیش تنیدگی نباشد، نیرویی فرضی است)

$b = \frac{g}{2} - \frac{t_w}{2}$ که در آن g فاصله دو پیچ مطابق شکل (۱۳-۱۸)، باید برای محکم‌کردن توسط آچار کافی باشد.

a = فاصله از مرکز پیچ تا لبهٔ بال سپری یا اتصال که نباید بزرگتر از $1.25\ b$ باشد.

$b' = b - \frac{d}{2}$ که در آن d قطر پیچ است.

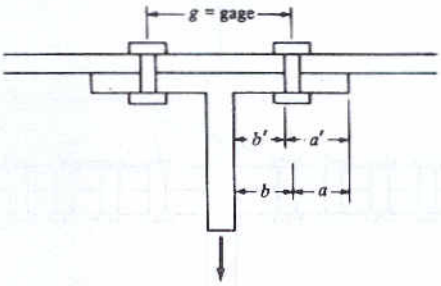
$a' = a + \frac{d}{2}$

ρ = طولی از اتصال که سهم هر پیچ می‌باشد.

d' = عرض سوراخ پیچ در امتداد تنهٔ سپری.

δ = نسبت سطح خالص در طول پیچها به سطح ناخالص در سطح خارجی سپری $= 1 - \frac{d'}{\rho}$

$p = \frac{b'}{a}$.



شکل ۱۳-۱۸

$$\alpha = \frac{1}{\delta}\left[\frac{T/B}{(t_f/t_c)^2} - 1\right]$$

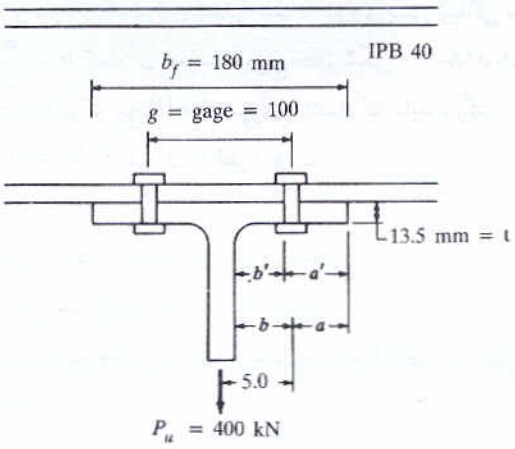
t_c = ضخامتی از بال که برای تأمین نیروی B در هر پیچ بدون ایجاد عمل اهرمی لازم است $= \sqrt{\frac{4.44Bb'}{\rho F_y}}$

Q = نیروی ضریب‌دار اهرمی هر پیچ $= B\delta\alpha p(t_t/t_c)^2$

B_c = نیروی مؤثر بر هر پیچ با در نظر گرفتن عمل اهرمی $= T + Q$

مثال ۱۳-۶

یک سپری ساخته شده از IPE 40 $\frac{1}{2}$ به طول 25 cm مطابق شکل (۱۳-۱۹) توسط چهار پیچ A 325 به قطر $\frac{7}{8}$ in به نیمرخ IPB 40 متصل شده است با در نظر گرفتن عمل اهرمی کافی بودن پیچها را معین کنید.



شکل ۱۳-۱۹

حل:

$$B = (0.75)(3.88)(6200) = 18042 \text{ kg}$$

$$T = \frac{400}{4} = 100 \text{ kN } (= 10 \text{ ton})$$

مقادیر b ، a ، b' ، ρ ، d' ، δ و p را برای استفاده در روابط بعدی معین می‌کنیم:

$$b = 5 - \frac{t_w}{2} = 5 - \frac{0.86}{2} = 4.57 \text{ cm} > 3.5 \text{ cm}$$

که برای محکم کردن توسط پیچ لازم خواهد بود.

$$a = \frac{b_f}{2} - 5 = \frac{18}{2} - 5 = 4 \text{ cm}$$

چون $1.25\, b = 1.25\,(4.57) = 5.71 > 4$ cm است لذا $a = 4$ cm گرفته می‌شود.

$$b' = b - \frac{d}{2} = 4.57 - \frac{2.22}{2} = 3.46 \text{ cm}$$

$$\rho = \frac{25}{2} = 12.5 \text{ cm}$$

$$d' = 2.5 \text{ cm}$$

$$\delta = 1 - \frac{d'}{\rho} = 1 - \frac{2.5}{12.5} = 0.8$$

$$p = \frac{b'}{a} = \frac{3.46}{4} = 0.865$$

مقادیر α و t_c ، Q و B_c را معین می‌کنیم.

$$t_c = \sqrt{\frac{4.44(18042)(3.46)}{12.5(2333)}} = 3.08 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{0.8}\left[\frac{\frac{10000}{18042}}{\left(\frac{1.35}{3.08}\right)^2} - 1\right] = 2.36$$

$$Q = (18042)(0.8)(2.36)(0.865)\left(\frac{1.35}{3.08}\right)^2 = 5661 \text{ kg}$$

$$B_c = 100 + 56.61 = 157 \text{ kN} < 180 \text{ kN OK.}$$

اتصال مورد قبول است.

۱۳-۵ تاریخچه پرچ

در یک دوره طولانی پرچ روش رایج اتصال قطعات سازه‌های فولادی بوده است. ولی امروزه به‌عنوان روش اقتصادی اتصال در سازه به حساب نمی‌آید و تنها گاهی از آن استفاده می‌شود و اکثر سازندگان حاضر به استفاده از آن نیستند. در هر صورت یک مهندس سازه باید با طرح و اجرای پرچ آشنا باشد. هرچند که نسبت به اجرای آن اقدام نکند، ممکن است زمانی ناچار باشد که سازه موجود با اتصال پرچی را تحلیل کند و یا آنرا بدلیلی توسعه دهد. در این بخش نیّت این است که به صورت مختصر تحلیل و طراحی اتصال پرچی دیده شود.

معمولاً پرچ را از فولادی نرم می‌ساختند تا حین گرمادهی و کوبیدن آن که به کمک تپانچه بادی انجام می‌گرفت تردشکنی پیدا نکند. پرچ معمولی استوانه‌ای فولادی با یک سر مدّور است. آن‌را در کوره و در کارگاه تا جایی که به رنگ قرمز آلبالویی در آید حرارت می‌دادند و سپس آن‌را در سوراخ تعبیه شدهٔ قبلی قرار داده و با پرچ کوب بادی می‌کوبیدند.

در کارخانه نیز احتمالاً به نحو مشابه عمل می‌شد و کوبیدن پرچ با نیروی بالا (در حدود ۴۵ تا ۷۰ ton) سبب می‌شد که پرچ داغ شده به نحو کاملاً مطلوبی سوراخ خود را پر کند. در کارخانه معمولاً از دستگاههایی که پرچ را می‌فشرد استفاده می‌شد.

پس از خنک شدن پرچ منقبض شده و قطعات مورد اتصال را به‌هم می‌فشرد. یک چنین فشردگی سبب می‌شود که عمده نیروی مورد انتقال به صورت اصطکاکی منتقل گردد. ولی آئین‌نامه اجازه نمی‌دهد. که از این نیروی اصطکاکی در اتصالات پرچی استفاده شود. پرچ در قطر خود نیز منقبض می‌شود و عملاً کمی کوچکتر از قطر سوراخی می‌گردد که تصور می‌رود آن‌را پر کرده است.

گاهی در کارخانه پرچ را بدون حرارت دادن نیز کوبیده‌اند. واضح است که چنین روشی برای پرچهای با قطر کوچک به سادگی انجام می‌گرفت. گرچه پرچهای با قطر بزرگ را نیز به همین روش کوبیده‌اند. روش کوبیدن سرد بهتر از روش کوبیدن داغ است. زیرا سوراخ پرچ کاملاً پر می‌شود و فولاد پرچ نیز به دلیل کار سرد قوی‌تر از نوع گرم کوبیدهٔ آن است. البته فشردگی قطعات مورد اتصال بهم به دلیل آنکه دیگر پرچ انقباض پیدا نمی‌کند کمتر خواهد بود.

۱۳-۶ انواع پرچ

پرچهایی که در سازه‌های متعارف به‌کار می‌رفت دارای قطری در حدود $\frac{3}{4}$ in یا $\frac{7}{8}$ in بوده است ولی واضح است که امکان استفاده از پرچ در قطرهای دیگر از $\frac{1}{2}$ in تا $1\frac{1}{2}$ in وجود داشته است. معمولاً از یک نوع پرچ در کل سازه استفاده می‌شد زیرا استفاده از قطرهای مختلف در یک نوع کار نه تنها در ساخت آن مشکل‌افزا بوده است. بلکه در اجرا و نصب آن نیز غیرعملی به شمار می‌رفت البته زمانی ممکن بوده که

به‌ناچار از دو قطر پرچ در یک کار استفاده شود ولی همواره سعی بر این بود که از چنین عملی اجتناب گردد.

سر پرچها معمولاً مدّور بود ولی سمت دیگری که کوبیده می‌شد می‌توانست به شکلهای مختلف اجرا شود (شکل ۱۳-۲۰).

پرچ با سر تخت از نظر استحکام بر نوع بی‌سر آن ارجحیت دارد ولی اگر سطح دیگر سازه به صورت صاف موردنیاز باشد استفاده از پرچ با نوع بی‌سر آن الزامی خواهد بود. نوع پرچ بی‌سر بسیار گرانتر از انواع دیگر آن بوده است از نظر استحکام نیز پرچی ضعیف به شمار می‌رفت و تنها زمانی از آن استفاده می‌شد که اجباری در کار باشد.

برطبق طبقه‌بندی ASTM برای سازه‌های فولادی سه نوع پرچ وجود دارد که ذیلاً شرح داده می‌شود:

پرچ A502 درجه ۱ برطبق ASTM

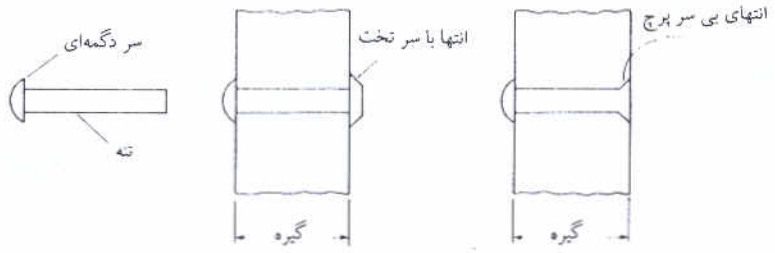
این نوع پرچها در اغلب سازه‌های فولادی به‌کار می‌رفت. از فولاد باکربن کم (حدود ۰/۸ درصد) ساخته می‌شد و از فولاد ساده (کربنی) مقاومت کمتری داشت. ولی از شکل‌پذیری بالاتری برخوردار بود. چون این پرچها ساده‌تر از پرچهای با استحکام بالاتر کوبیده می‌شد هر زمان نیاز به پرچ بود از پرچ A502 درجه ۱ بدون توجه به نوع فولاد به‌کار رفته در سازه استفاده می‌شد.

پرچ A502 درجه ۲ برطبق ASTM

این پرچها از فولادی باکربن - منگنز ساخته می‌شد و دارای استحکام بالاتر از پرچ درجه ۱ بود و برای سازه‌هایی که در آنها از فولاد با مقاومت بالا استفاده می‌شد مصرف می‌گردید. چون استحکام این پرچها بالا بود لذا از تعداد پرچ کمتری استفاده شده و ورقهای اتصال از ابعاد کوچکتری ساخته می‌شدند.

پرچ A502 درجه ۳ ASTM

این نوع پرچها از نظر استحکام هم مقاومت پرچهای درجه ۲ بودند. ولی از مقاومت بالایی در برابر عوارض جوی برخوردار بودند و تقریباً چهار برابر بهتر از فولاد ساده در برابر خوردگی و فساد مقاومت می‌کردند.



شکل ۱۳-۲۰

۷-۱۳ استحکام اتصالات پرچی - برش پرچها

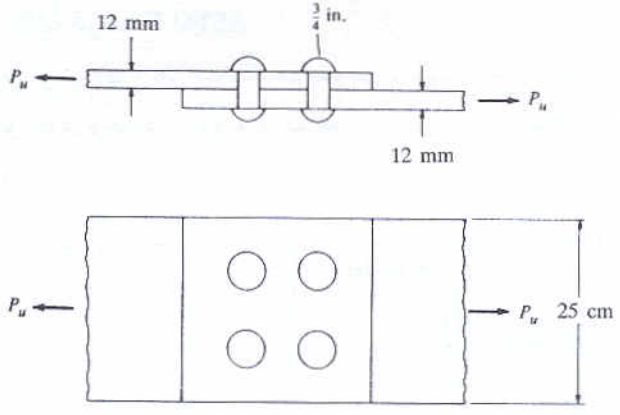
عواملی که در استحکام پرچ مؤثرند عبارتند از درجه آن، قطر پرچ و ضخامت قطعات مورد اتصال. چگونگی توزیع تنش در جدار سوراخ پرچ معلوم نیست. در هر صورت فرض می‌شود که توزیع تنش در سطحی مستطیلی برابر با حاصل‌ضرب قطر پرچ در ضخامت ورق به صورت یکنواخت انجام گیرد.

استحکام پرچ در اتصال اتکایی آن برابر با حاصل‌ضرب تنش طراحی پرچ در قطر پرچ و در ضخامت قطعاتی است که به پرچ به صورت تماسی نیرو وارد می‌کنند. استحکام پرچ در یک سطح برش برابر با حاصل‌ضرب استحکام برشی آن در سطح مقطع تنهٔ پرچ است. اگر پرچی با دو سطح برش بریده شود، استحکام برشی آن دو برابر استحکام با یک سطح برش در نظر گرفته می‌شود.

استحکام برشی و کششی پرچها و پیچهای A307 و مشابه آن که تنها در مورد بارهای ایستا (استاتیک) به‌کار خواهند رفت در جدول (۱۳-۲) آورده شده است. یادآور می‌شود که استحکام برشی اسمی پیچهای A307 اگر سطح برش در قسمت دندانه‌دار پیچ قرار گیرد تغییری نخواهد کرد.

مثال ۷-۱۳

استحکام طراحی P_u را در اتصال اتکایی شکل (۱۳-۲۱) معین کنید. نوع فولاد نرمه و پرچ به کار رفته از نوع A502 درجه ۱ است. فرض می‌شود که از سوراخ با قطر استاندارد استفاده شده باشد و فواصل مرکز پرچ تا لبهٔ ورق و یا مرکز به مرکز پرچها به ترتیب بزرگتر از $1\frac{1}{2}\,d$ و $3d$ باشد.



شکل ۱۳-۲۱

حل:

نیروی کششی طراحی مؤثر بر ورقهای اتصال یافته

$$A_g = 1.2(25) = 30 \text{ cm}^2$$

$$A_n = [1.2(25) - 2(1.9 + 0.3)(1.2)] = 24.72 \text{ cm}^2 = A_e$$

$$P_u = \phi_t F_y A_g = 0.90(2.333)(30) = 63 \text{ ton}$$

$$P_u = \phi_t F_u A_e = 0.75(3.700)(24.72) = 68.6 \text{ ton}$$

برش پرچها و استحکام تماسی آنها

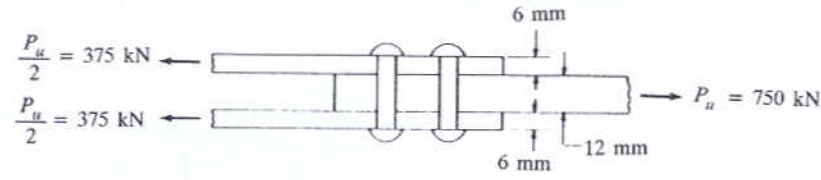
استحکام اتکایی (برشی) طراحی پرچها = $0.65(2.85)(2.333)(4) = 17.3$ ton

استحکام تماسی طراحی پرچها = $0.75(2.4)(1.9)(1.2)(3.700)(4) = 60.7$ ton

دیده می‌شود که $P_u = 17.3$ ton تعیین کننده است.

مثال ۱۳-۸

تعداد پرچهای به قطر $\frac{7}{8}$ in از نوع A502 درجه ۱ را برای اتصال شکل (۱۳-۲۲) معین کنید. فرض می‌شود که فولاد قطعات از نوع نرمه، قطر سوراخها استاندارد بوده و فاصله مرکز پرچ از لبه سوراخ و یا فاصله مرکز به مرکز پرچها به ترتیب بزرگتر از $1\frac{1}{2}\,d$ و $3d$ باشد.



شکل ۱۳-۲۲

حل:

پرچها با دو سطح برش و در حالت تماس با ورق به ضخامت 12 mm

استحکام اتکایی طراحی یک پرچ = $0.75(2 \times 3.88)(2.333) = 13.6$ ton

استحکام تماسی طراحی یک پرچ = $0.75(2.4)(2.2)(1.2)(3.700) = 17.6$ ton

$$\text{تعداد پرچ لازم} = \frac{750}{136} = 5.5$$

پس از شش پرچ استفاده خواهد شد.

مثال ۱۳-۹

مثال (۱۳-۸) را با پیچ A307 بار دیگر بررسی کنید.

حل:

پیچها با دو سطح برش و تماس با ورق به ضخامت 12 mm

$$\text{استحکام برشی طراحی یک پیچ} = 0.6(2 \times 3.88)(1.860) = 8.66 \text{ ton}$$

$$\text{استحکام تماسی طراحی یک پیچ} = 0.75(2.4)(2.2)(1.2)(3.700) = 17.6 \text{ ton}$$

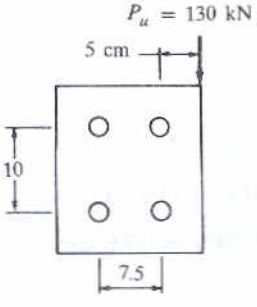
$$\text{تعداد پیچ لازم} = \frac{750}{86.6} = 8.66$$

تعداد ۹ یا ۱۰ پیچ A307 به قطر $\frac{7}{8}$ in لازم خواهد بود.

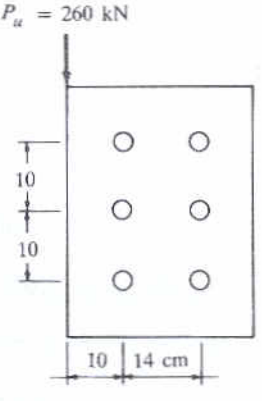
مسائل

در کلیه مسائل، از اطلاعات زیر استفاده شود مگر در متن مسأله اطلاعات دیگری داده شود. (الف) - نوع فولاد نرمه است (ب) - سوراخها به صورت استاندارد می‌باشند (ج). فاصله وسط پیچها تا لبهٔ ورق و یا مرکز به مرکز آنها به ترتیب بیشتر از d و $\frac{1}{2}$ $3d$ گرفته شود (د). سطح برش خارج قسمت دندانه‌دار پیچ است.

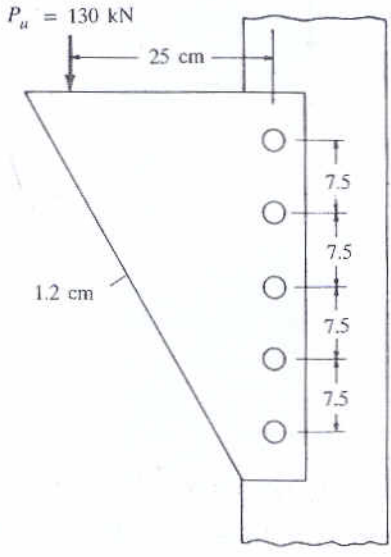
۱۳-۱ تا ۱۳-۷ با استفاده از روش ارتجاعی برآیند نیرو را در بحرانی‌ترین پیچ اتصال معین کنید.



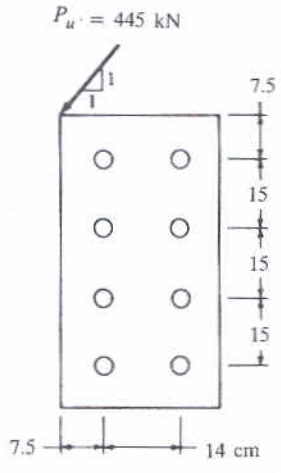
مسأله ۱۳-۱



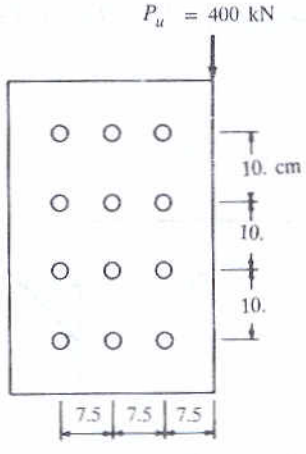
مسأله ۱۳-۲



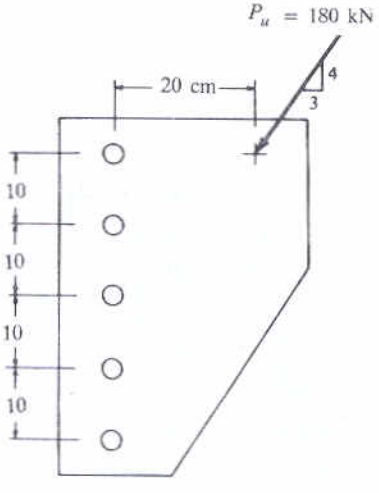
مسأله ۱۳-۳



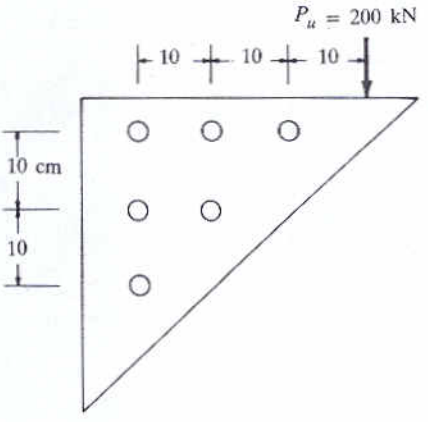
مسأله ۱۳-۴



مسأله ۱۳-۵



مسأله ۱۳-۶



مسأله ۱۳-۷

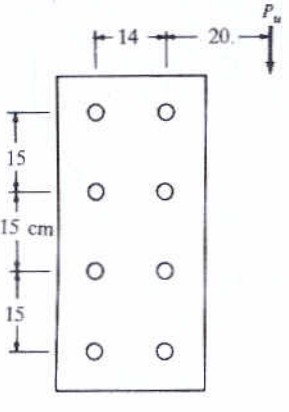
۸-۱۳ مسأله (۱۳-۳) با روش خروج از مرکزیت تقلیل یافته حل کنید.

۹-۱۳ در شکل زیر با استفاده از روش ارتجاعی استحکام طراحی اتصال اتکایی را معین کنید. پیچها A325 به قطر $\frac{7}{8}$ in و با یک سطح برش هستند و سطح تماس پیچ با ورق 12mm بررسی شود.

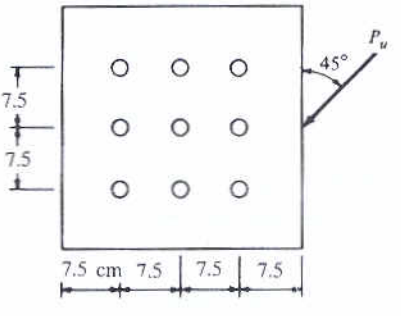
۱۰-۱۳ در شکل مقدار P_u را به روش ارتجاعی معین کنید. اتصال از نوع اصطکاکی است. پیچها A325 به‌قطر $\frac{3}{4}$ in و با دو سطح برش هستند.

۱۱-۱۳ مسأله (۱۳-۹) را به روش استحکام نهایی حل کنید.

۱۲-۱۳ مسأله (۱۳-۱۰) را به روش استحکام نهایی حل کنید.

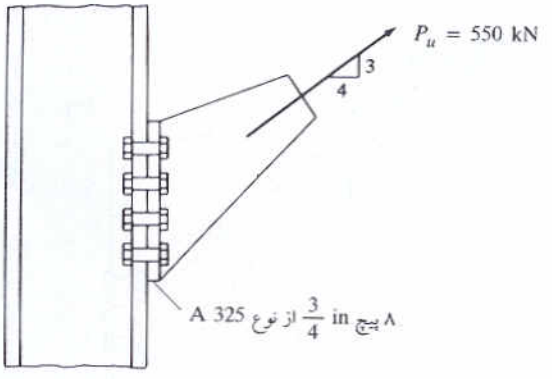


مسأله ۱۳-۹



مسأله ۱۳-۱۰

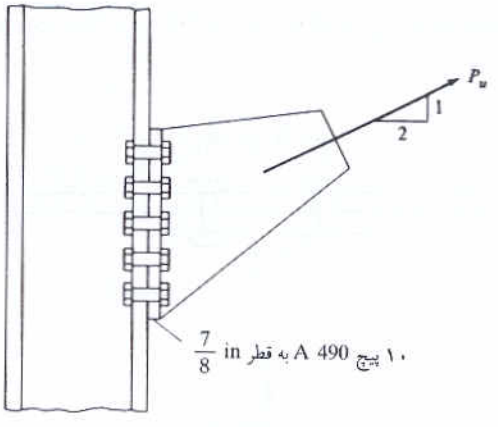
۱۳-۱۳ در شکل مربوط به مسأله ۱۲ اگر امتداد نیرو از مرکز ثقل مجموعه پیچها بگذرد و پیچها از نوع اتکایی باشند آیا تعداد پیچها کافی برای تحمل نیرو می‌باشد.



مسأله ۱۳-۱۳

۱۴-۱۳ مسأله (۱۳-۱۳) را در حالتی که پیچها به صورت متعارف محکم‌شده‌باشند و P_D = 240 kN و P_L = 170 kN باشد حل کنید.

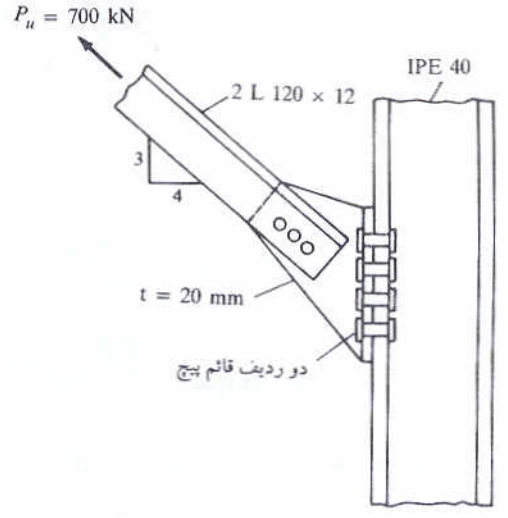
۱۵-۱۳ اگر نیروی وارده در شکل مسأله از مرکز ثقل مجموعه پیچها بگذرد و اتصال از نوع اتکایی باشد، حداکثر مقدار نیرو را معین کنید.



مسأله ۱۳-۱۵

۱۳-۱۶ مسأله (۱۳-۱۵) را در حالتی که پیچها A325 باشند معین کنید.

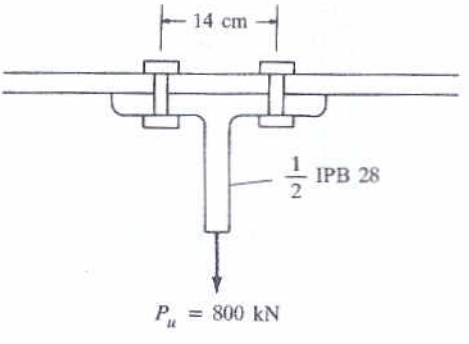
۱۳-۱۷ تعداد پیچهای A325 به قطر $\frac{3}{4}$ in را برای اتصال نبشی و اتصال به نیمرخ IPE 40 معین کنید. اتصال از نوع اتکایی است.



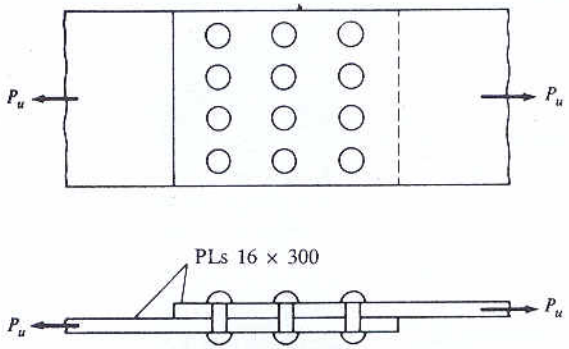
مسأله ۱۳-۱۷

۱۳-۱۸ در این آویز که به طول 40 cm است. آیا تعداد ۸ پیچ A 325 به قطر $\frac{7}{8}$ in با فاصله 10 cm از یکدیگر با در نظر گرفتن عمل اهرمی کفایت می‌کند.

۱۳-۱۹ اگر در شکل مربوط به مسأله از پرچ A502 درجه ۱ و به قطر $\frac{7}{8}$ in استفاده شده باشد، استحکام طراحی P_u را معین کنید.

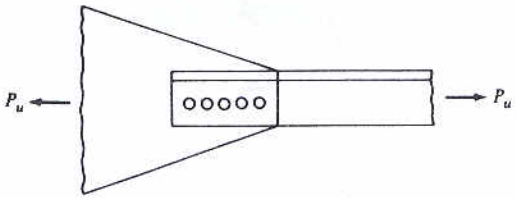


مسأله ۱۳-۱۸



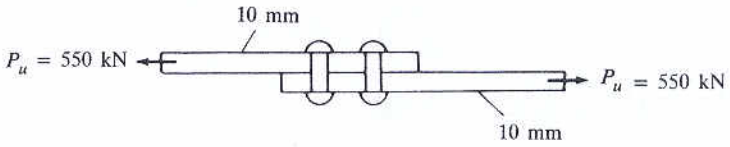
مسأله (۱۳-۱۹)

۱۳-۲۰ در یک اتصال خرپایی، نبشی $L120 \times 12$ توسط یک ورق به ضخامت 12mm و به کمک پیچ پرچ از نوع A502 درجه ۱ متصل شده است مقدار P_u را معین کنید.



مسأله (۱۳-۲۰)

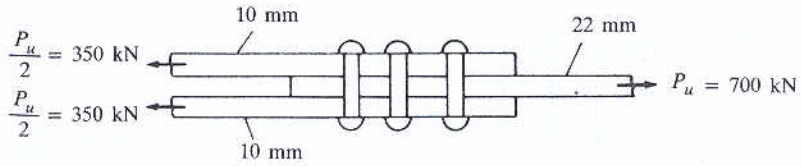
۱۳-۲۱ با توجه به شکل تعداد پرچهای A502 درجه ۱ و به قطر $\frac{3}{4}$ in را معین کنید.



مسأله ۱۳-۲۱

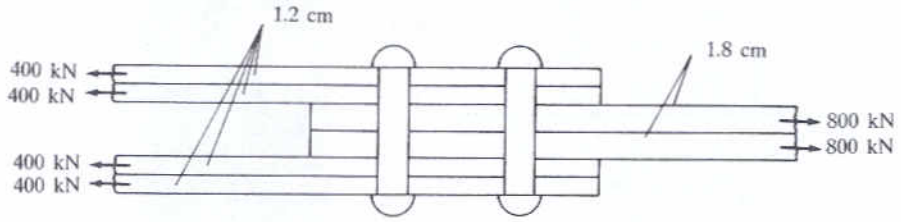
۱۳-۲۲ مسأله (۱۳-۲۱) را با استفاده از پیچهای A307 حل کنید.

۱۳-۲۳ در اتصال لب نشان داده شده تعداد پرچ A502 درجه ۱ به قطر 1 in را معین کنید.



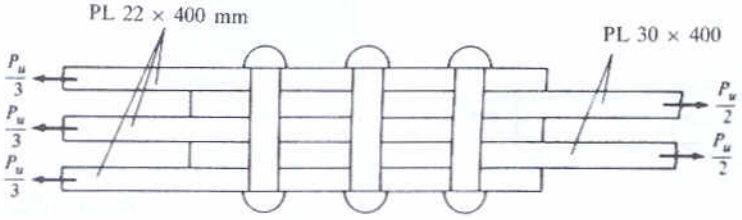
مسأله (۱۳-۲۳)

۱۳-۲۴ تعداد پیچهای A307 به‌قطر $\frac{7}{8}$ in در شکل مربوطه معین کنید. بارهای ضریب‌دار نشان داده شده‌اند.



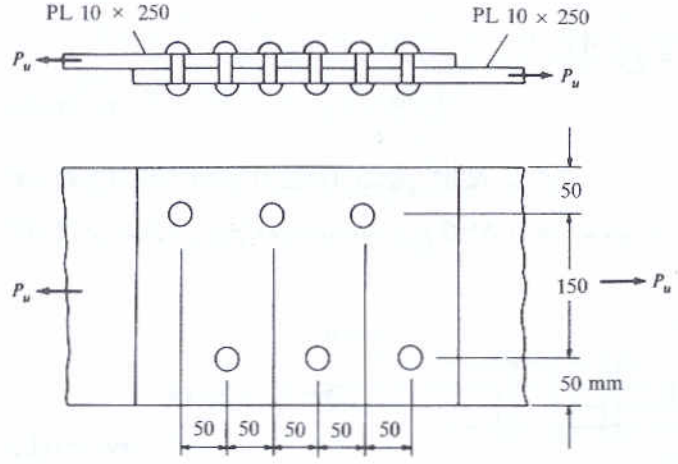
مسأله (۱۳-۲۴)

۱۳-۲۵ در اتصال نشان داده شده در شکل اگر $P_u = 2800$ kN باشد تعداد پرچهای A 502 درجه ۲ به قطر $\frac{7}{8}$in موردنیاز را معین کنید.



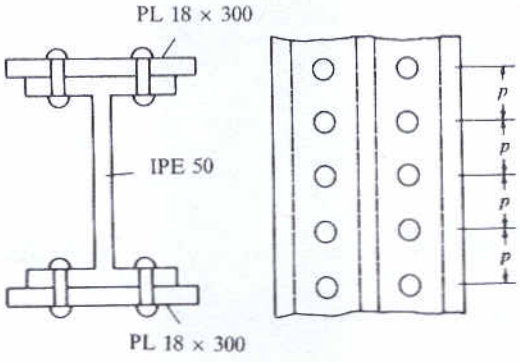
مسأله (۱۳-۲۵)

۱۳-۲۶ مقدار استحکام طراحی P_u را در اتصال نشان داده شده معین کنید. پرچهای به‌کار رفته A502 درجه ۲ و قطر آنها 1in است.



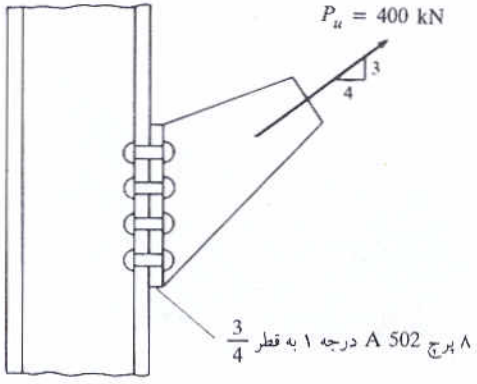
مسأله (۱۳-۲۶)

۱۳-۲۷ در شکل نشان داده شده، فاصله پیچهای A307 به قطر $\frac{3}{4}$ in را معین کنید، مقدار $V_u = 700$ kN است.



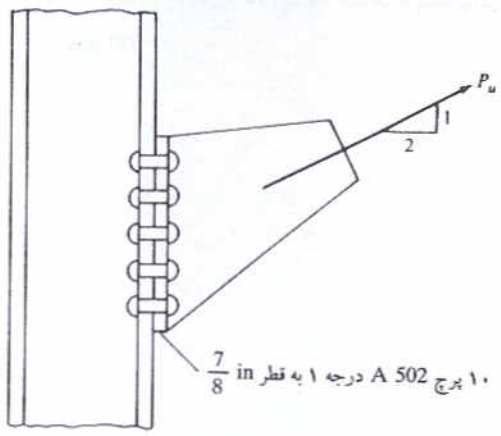
مسأله ۱۳-۲۷

۱۳-۲۸ آیا اتصال نشان داده شده می‌تواند بار $P_u = 400$ kN را تحمل کند. امتداد این نیرو از مرکز ثقل مجموعه پرچها خواهد گذشت.



مسأله ۱۳-۲۸

۱۳-۲۹ اگر امتداد نیروی نشان داده شده از مرکز ثقل مجموعه پرچها بگذرد، حداکثر تعداد آنرا معین کنید.



مسأله ۱۳-۲۹