چکیده :

یکی از مهم‌ترین اجزای سازه‌های فولادی که وظیفه‌ی انتقال نیروهای اعضا به یکدیگر و به تکیه‌گاه‌ها را بر عهده دارد، اتصالات میان اعضا می‌باشد. اتصالات پیچی به دلیل سرعت بسیار بالا در اجرا و اطمینان از رفتار آن‌ها به گونه‌ی مورد انتظار و شکل صنعتی مطلوب ساخت سازه‌ای، از بهترین انواع اتصال در سازه-های فولادی بوده که در سال‌های اخیر مورد توجه طراحان قرار گرفته است. اما، در روند ساخت این نوع سازه‌ها، با توجه به تکنولوژی تولید و ساخت در کشور ما، مواردی از عدم اجرای درست و اصولی دیده می‌شود. در این مقاله تلاش شده است تا با گردآوری نکات آیین‌نامه‌ای و روند تولید با توجه به فرآوری و تکنولوژی موجود، نکاتی را در طراحی، اجرا و از همه مهم‌تر بازرسی سازه‌های فولادی با اتصالات پیچی ارایه گردد.

پیشگفتار:

تهیه:	بازبینی:	تأیید:	مهر اعتبار:	تاریخ تدوین :۱ /۲/ ۹۰
مهندس مجید چهره سا	مهندس نرگس اسدپور	مهندس امیر قاسمی		تاریخ بازبینی :۶ /۲/ ۹۰
				شماره بازبینی :۱

مهندسی مشاور
سازه آزمون فولاد
بازرسی جوش ساختمان

اتصالات در همه‌ی سازه‌ها از جمله سازه‌های فولادی یکی از اجزای سازه بوده و عامل اصلی یکپارچگی سیستم‌های سازه‌ای می‌باشد. به طور کلی تعریف نوع قاب نیز بر اساس نوع و رفتار اتصال صورت می‌گیرد. یک اتصال ضعیف و نامناسب می‌تواند منجر به یک سری زوال‌های پی‌درپی و بنیادی در سازه‌ی فولادی گردد. از آن‌جاکه زوال دیگر اعضای سازه‌ای خیلی کم اتفاق می‌افتد، بسیاری از زوال‌های سازه‌ای ناشی از طراحی ضعیف اتصالات و یا ضعف در جزییات اجرایی می‌باشد که با اندکی دقت در نحوه‌ی شکست بیشتر سازه‌های فولادی تحث بارگذاری‌های گوناگون، قابل مشاهده است که ضعف اتصال چگونه می‌تواند عاملی بسیار تعیین‌کننده در خرابی سازه‌های فولادی باشد.

انواع عملکرد اتصالات پیچی:

انواع اتصال‌های پیچی: به طور کلی دو فلسفه در عملکرد اتصالات پیچی وجود دارد که عبارتند از: اتصال اتکایی و اتصال اصطکاکی.

عملکرد اتصال اتکایی: در عملکرد اتکایی، پیچ درون سوراخ صفحات اتصال قرار می‌گیرد و مهره بسته می‌شود. هنگامی که بار خارجی به پیچ وارد می‌شود، قطعات اتصال لغزش پیدا می‌کنند که در اثر آن، یک نیروی فشاری به لبه‌های اتصال وارد می‌شود که تبدیل به نیروی برشی در پیچ می‌گردد. این اتصال تنها برای حالت بارگذاری ثقلی می‌باشد و در طرح لرزه‌ای نباید از این نوع عملکرد در اتصال استفاده نمود. در این نوع اتصال هیچ نیروی پیش‌تنیدگی در پیچ ایجاد نمی‌شود و برای اجرای این اتصال، تنها سفت کردن پیچ به وسیله‌ی کارگر کفایت می‌کند.

عملکرد اتصال 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 بند ۱۰-۳-۵-۳ مبحث دهم ویرایش ۱۳۸۷، در طراحی لرزه‌ای تنها باید از این فلسفه‌ی طراحی در اتصال استفاده شود. به عبارتی دیگر، در طراحی همه‌ی اتصالات قاب‌های خمشی و قاب‌های دوگانه و نیز اتصالات بادبندی و وصله‌ی ستون‌های باربر جانبی در قاب‌های ساده باید از این نوع عملکرد استفاده نمود. در این نوع اتصال، علاوه بر سفت کردن نخستین پیچ، باید به مقداری که در طراحی مشخص شده است، نیروی پیش‌تنیدگی نیز در پیچ ایجاد شود. با اعمال نیروی پیش-تنیدگی، در پیچ تحت کشش قرار گرفته و با اعمال بار، بین صفحات اتصال اصطکاک به وجود می‌آید که باعث عدم لقی و کارکرد کامل اتصال می‌شود. باید در نظر داشت که شکل پیچ در اتصال اصطکاکی با شکل پبچ در اتصال اتکایی متفاوت است؛ به طوری که پیچ‌های اتصال اصطکاکی دارای سرپیچ بزرگتر هستند.

زمانی‌که یک پیچ پرمقاومت بدون کشش اولیه، تحت اثر نیروی کششی خارجی قرار می‌گیرد، نیروی کششی درون پیچ با نیروی اعمال شده برابر می-گردد. در صورتی‌که پیچ پیش‌تنیده(پیش‌کشیده) شده باشد، درصد بسیار زیادی از نیروی کششی خارجی صرف ایجاد نیروهای فشاری و یا گیره‌ای اعمال شده به اجزای اتصال می‌شود. به دلیل آن‌که به‌طور معمول کشش به وجود آمده در پیچ‌های پرمقاومت ناشی از نیروی کششی خارجی در

لحظه‌ی جداشدن قطعات از یکدیگر نزدیک به ده درصد بیش از کشش در آغاز بارگذاری می‌باشد، لذا باید همه‌ی پیچ‌هایی که تحت اثر کشش مستقیم قرار دارند، پیش‌کشیده شوند.

الزامات ضریب اصطکاک سطوح فولادی در اتصالات اصطکاکی: به طور کلی اصطکاک حاصل دو عامل می‌باشد، یکی زبری سطح و دیگری نیروی پیش‌تنیدگی. در طراحی فرض بر رنگ نشدن و وجود زبری مناسب سطوح اتصال می‌باشد، در نتیجه هنگامی که قطعات نصب می‌شوند، باید همه‌ی سطوح اتصال(شامل سطوح مجاور سرپیچ‌ها و مهره‌ها) از قسمت‌های پوسته شده و دیگر مواد زاید عاری بوده و به‌ویژه سطوح تماس اتصالات اصطکاکی باید به طور کامل تمیز باشد و اثری از پوسته‌ی زنگ، رنگ، لاک، انواع روغن و مصالح دیگر در آن‌ها وجود نداشته باشد. بنابراین پس از این‌که اتصال به وجود آمد، محل همه‌ی پیچ‌های بسته شده رنگ‌آمیزی می‌شود.

محدودیت‌های اتصالات پیچی: بر اساس فصل ۱۰.۱.۱۰ مبحث دهم، برای اتصالات زیر باید از اتصال اصطکاکی با پیچ پرمقاومت یا اتصال جوشکاری شده استفاده شود:

وصله‌ی ستون‌ها در سازه‌های با ارتفاع ۶۰متر و بیشتر.

وصله‌ی ستون‌ها در سازه‌های با ارتفاع بین ۳۰تا۶۰ متر در صورتی‌که نسبت بُعد کوچک پلان به ارتفاع در آن‌ها از ۴۰٪ کمتر باشد.

وصله‌ی ستون‌ها در سازه‌های با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر در صورتی‌که نسبت بُعد کوچک پلان به ارتفاع در آن‌ها از ۲۵٪ کمتر باشد.

در سازه‌های با ارتفاع بیش از ۴۰متر، برای اتصال همه‌ی تیرها و شاه‌تیرها به ستون‌ها و یا اتصالات هر نوع تیر یا شاه‌تیری که مهار ستون‌ها با آن‌ها مرتبط باشد.

همه‌ی سازه‌هایی که جراثقال‌های با ظرفیت بیش از ۵تن تحمل می‌کنند. وصله‌ی خرپاها یا تیرهای شیب‌دار سقف، اتصال خرپاها به ستون‌ها، وصله‌ی ستون‌ها، مهار ستون‌ها، مهار زانویی بین خرپای تیر سقف و ستون و تکیه‌گاه‌های جرثقیل مشمول این امر می‌باشند.

در اتصالات تکیه‌گاه‌های اعضایی که ماشین‌های متحرک یا بارهای زنده از نوعی را تحمل می‌کنند که تولید ضربه و یا معکوس شدن تنش‌ها را به همراه داشته باشد.

هر اتصال دیگری که در نقشه‌های طرح و محاسبه قید شده باشد.

آشنایی با روش‌های تولید پیچ:

روش‌های نورد و ساخت پیچ: پیچ‌ها به طور کلی به دو روش «فورج سرد» و «فورج گرم» تولید می‌شوند. روش فورج سرد دارای عیوب کمتر و کیفیت بهتری نسبت به فورج گرم می‌باشد. همچنین باید دانست که در حال حاضر در کشور ما، تنها تا سایز M۲۴ به روش فورج سرد تولید می‌شود که به این

نکته در طراحی باید توجه نمود.

روش‌های پوشش‌دهی پیچ بر اساس ASTM: ممکن است پس از ساخت، پیچ‌ها برای جلوگیری از خوردگی پوشش‌دهی شوند. روش‌های پوشش‌دهی عبارتند از: الف- پوشش گالوانیزه‌ی سرد یا الکترولیز، ب- پوشش گالوانیزه‌ی مکانیکی(که در ایران کمتر تکنولوژی آن وجود دارد)، پ- پوشش گالوانیزه‌ی گرم یا غوطه‌وری گرم، ت- پوشش غیرگالوانیزه یا رنگی.

آیین‌نامه‌ی ASTM به طور اکید توصیه می‌کند که برای پیچ‌های رده‌ی ۱۰.۹ از هیچ پوشش فلزی استفاده نشود، چراکه امکان به وجود آمدن ترک‌های هیدروژنی در پیچ وجود خواهد داشت. درنتیجه باید توجه داشت که در محیط-های خورنده از پوشش‌های غیرگالوانیزه یا رنگی استفاده نمود. تفاوت روش غیرگالوانیزه با گالوانیزه در مرحله‌ی اسیدشویی‌ست که باعث فعال شدن یون هیدروژن در فولاد پیچ می‌شود؛ در حالی‌که در روش غیرگالوانیزه، از روش شات‌بلاست یا پاشش ریزدانه‌ی فولادی به جای اسیدشویی استفاده می‌شود.

آزمایش‌های پیچ، مهره و واشر:

به طور کلی آزمایش‌های زیر برای ست پیچ و مهره و واشر انجام می‌شود:

آزمایش‌های ابعادی

آزمایش‌های متالورژیکی

آزمایش‌های مکانیکی

آزمایش‌های پوشش مقاوم خوردگی

آزمایش‌های ابعادی و نیز متالورژیکی در هنگام تولید پیچ و مهره و واشر، در کارخانه‌ی سازنده انجام می‌شود. آزمایش‌های مکانیکی پس از تولید پیچ و مهره و واشر، در کارخانه‌ی سازنده یا آزمایشگاه‌های مقاومت مصالح انجام می‌گیرند. آزمایش‌های مکانیکی برای مهندسان طراح و بازرسان سازه دارای اهمیت می-باشد. به‌طورکلی آزمایش‌های مکانیکی شامل آزمایش‌های کشش، سختی‌سنجی و ضربه می‌شود. آزمایش کشش خود شامل سه نوع آزمایش می‌شود که عبارتند از: آزمایش بار گواه، آزمایش کشش گوه‌ای بر روی نمونه‌ی کامل و آزمایش کشش بر روی نمونه‌ی ماشین‌کاری شده. آزمایش ضربه: در آزمایش ضربه که به آن «تاب نمونه‌ی زخم‌دار» نیز می-گویند، یک نمونه از مصالح مورد استفاده را برداشته، به کمک دستگاه پاندول‌دار و سقوط آزاد پاندول، قطعه شکسته شده و میزان انرژی جذب شده‌ی آن را اندازه‌گیری می‌کنند. آزمایش ضربه برای پیچ اجباری نیست اما در صورت امکان باید آن را انجام داد.

آزمایش کشش: این آزمایش از آزمایش‌های بسیار معمول برای پیچ می-باشد. در آزمایش کشش، پس از بستن کامل پیچ با یک مهره از رده‌ی مقاومتی بالاتر بر روی دستگاه کشش، با سرعتی مناسب پیچ تا حد تنش تسلیم زیر کشش قرار گرفته و سپس به مدت ده ثانیه در همین حالت باقی می‌ماند؛

سپس بار کششی از روی پیچ برداشته می‌شود. در این آزمایش هیچ‌گونه شکست یا افزایش طول همیشگی در پیچ نباید وجود داشته باشد.

آزمایش کشش گوه‌ای: پس از آزمون کشش این آزمایش بر روی پیچ انجام می‌شود. الزام آیین‌نامه برای انجام آزمایش کشش بر روی نمونه‌ی کامل و واقعی پیچ و مهره‌ی استفاده شده در پروژه است، مگر در مواردی که محدودیت ظرفیت دستگاه آزمایش وجود دارد و یا طول پیچ خیلی کوتاه است که در این حالت از نمونه‌ی ماشین‌کاری شده استفاده می‌شود. در این آزمایش باید دست-کم به مقدار چهار رزوه‌ی کامل از پیچ بین فک‌های دستگاه قرار بگیرد. حداکثر سرعت دستگاه نباید از ۲۵ mm/min بیشتر باشد. شکست به‌وجود آمده تنها باید در بدنه‌ی پیچ باشد و در صورت بروز شکست در محل اتصال سرپیچ به بدنه، حتا اگر به مقاومت مورد نیاز نیز رسیده باشد، نمونه مورد پذیرش نیست. این شکست در پیچ‌های ساخته شده به روش فورج گرم بیشتر مشاهده می‌شود و بر همین اساس تا حد امکان باید از پیچ‌های ساخته شده به روش فورج سرد استفاده شود. از آن‌جایی که در ایران و در حال حاضر تنها تا قطر ۲۴M به روش فورج سرد تولید می‌شود، در طراحی باید تلاش نمود تا از قطرهای بالاتر استفاده نشود.

آزمایش سختی‌سنجی: این آزمایش در رده‌ی آزمایش‌های غیرمخرب پیچ بوده و برای آگاهی از میزان سختی قطعه و برابری آن با مقدار استاندارد انجام می‌شود. سختی‌سنجی برای بخش انتهایی، سطح صاف بدنه و سطح صاف سرپیچ انجام می‌شود. به‌طورکلی از سه روش برای آزمون سختی‌سنجی استفاده می‌شود که عبارتند از : روش برینل، روش راکول و روش ویکرز.

برای مهره از آزمایش کشش استفاده نمی‌شود و تنها آزمایش‌های بار گواه و سختی‌سنجی بر روی مهره‌ها انجام می‌گیرد. برای واشر نیز تنها آزمایش سختی‌سنجی انجام می‌شود.

جهت انجام آزمایش‌های لازم برای پیچ و مهره و واشر، باید تعداد نمونه‌ی لازم بر اساس جدول موجود در نشریه‌ی ۲۶۴ (آیین‌نامه‌ی اتصالات) استفاده شود. باید دانست که از این جدول تنها می‌توان تعداد نمونه را برای پیچ با پوشش غیرگالوانیزه به‌دست آورد. اما آیین‌نامه‌ی ASTM تعداد نمونه جهت انجام آزمایش برای پیچ‌های پوشش‌دهی شده به هر دو روش گالوانیزه و غیرگالوانیزه را ارایه داده است که برابر جدول زیر می‌باشد:

تعداد پیچ،مهره و واشر در یک محموله		تا ۱۵۰	۱۵۱ تا ۲۰۰	۲۰۱ تا ۵۰۰	۵۰۱ تا ۱۲۰۰	۱۲۰۱ تا ۳۲۰۰	۳۲۰۱ تا ۱۰۰۰۰	بیش از ۱۰۰۰۰
مقدار نمونه حمرین	پوشش غیرگالوانیزه	۱	۲	۳	۵	۸	۱۳	۲۰

	پوشش گالوانیزه	۲۰	۳۲	۵۰	۸۰	۱۲۵	۲۰۰	۳۲۵

تعریف محموله‌ی تولیدی: به محصولاتی که از نظر ابعادی دارای مشخصات یکسان بوده و همه‌ی آن‌ها از یک شماره‌ی ذوب تولیدی مواد اولیه ساخته شده باشند یک محموله‌ی تولیدی یا یک «بَچ» می‌گویند. در نتیجه، برای انجام آزمایش‌های لازم پیچ، مهره و واشر، تعداد نمونه بر اساس هر «بچ» تعریف می‌شود.

مشخصات پیچ‌های تولیدی در ایران:

تنش گسیختگی FU در پیچ که با توجه به نحوه‌ی تولید پیچ‌های پرمقاومت در ایران، طراحان باید به مورد مهمی در طراحی سازه توجه کنند. در تولید پیچ، به دلیل استفاده‌ی تولیدکنندگان از فن‌آوری و تجهیزات آلمانی، آیین‌نامه‌ی مرجع DIN آلمان می‌باشد، اما آیین‌نامه‌ی طراحی بر اساس مبحث دهم، برگرفته از علایم استانداردهای امریکایی می‌باشد. در آیین‌نامه‌های امریکایی، رده‌ی پیچ بر اساس مقاومت طبقه‌بندی شده است در حالی که در آیین‌نامه‌های آلمانی بر اساس شکل و عملکرد پیچ دسته‌بندی صورت گرفته است. طراح باید به این نکته توجه داشته باشد که در محاسبات و نیز نقشه‌ها از علامت‌های آلمانی استفاده کنند چرا که پیچ موجود در بازار ایران بر این اساس می‌باشد.

دسته‌بندی پیچ براساس مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان بر اساس جدول زیر است:

کد پیچ	استحکام کششی نهایی Fu Kg/cm۲	تنش مجاز کششی Fy Kg/cm۲
A ۳۰۷	۴۲۰۰	۳۰۰۰
A ۳۲۵	۸۲۵۰ , d<۲۵	۶۴۰۰ , d<۲۵
	۷۲۵۰ , d>۲۵	۵۶۰۰ , d>۲۵
A ۴۹۰	۱۰۰۰۰	۹۰۰۰

رده‌ی مقاومتی پیچ‌های تولیدی در ایران بر اساس جدول زیر می‌باشد:

کد پیچ	رده مقاومت	استحکام کششی نهایی Kg/cm۲	تنش مجاز کششی Kg/cm۲	نوع عملکرد	مقدار رزوه
DIN ۹۳۱	۸.۸	۸۰۰۰	۶۴۰۰	اتکایی	نیم رزوه
	۱۰.۹	۱۰۰۰۰	۹۰۰۰		
DIN ۹۳۳	۸.۸	۸۰۰۰	۶۴۰۰	اتکایی	تمام رزوه
DIN ۶۹۱۴ -HV	۱۰.۹	۱۰۰۰۰	۹۰۰۰	اصطکاکی	نیم رزوه
	۱۰.۹	۱۰۰۰۰	۹۰۰۰		

تعریف رده‌ی مقاومتی پیچ:

رده‌ی مقاومتی در پیچ‌ها بر اساس DIN با سه عدد ۸.۸، ۱۰.۹ و ۱۲.۹ تعریف شده است که در ایران رده‌ی ۱۲.۹ تولید نمی‌شود. البته این آیین‌نامه رده‌های مقاومتی ۴.۶ و ۵.۶ را نیز برای پیچ‌های معمولی تعریف نموده است. از آن‌جا که با توجه به بند ۱۰-۳-۵-۳ مبحث دهم ویرایش ۱۳۸۷، در

اتصالات لرزه‌ای تنها باید از پیچ‌های پرمقاومت استفاده شود، این نوع پیچ‌ها در طراحی اتصالات اصطکاکی کاربردی ندارد؛ ضمن آن‌که تولید این نوع پیچ نیز در کشور ما بسیار محدود می‌باشد. این عدد معرف مقدار تنش جاری‌شدن و تنش گسیختگی پیچ می‌باشد. به عنوان مثال، در رده‌ی مقاومتی ۸.۸، منظور از ۸ اول حداقل مقاومت نهایی پیچ برابر ۸۰۰۰ Kg/cm^2 ، و منظور از .۸ مقدار تنش جاری‌شدن پیچ برابر با ۸۰۰۰×۰.۸=۶۴۰۰ Kg/cm^2 می‌باشد.

به همین ترتیب برای رده‌ی ۱۰.۹ داریم:

F_U=۱۰۰۰۰ Kg/cm^2 و F_y=۱۰۰۰۰×۰.۹=۹۰۰۰ Kg/cm^2

نمونه ای از پیچ DIN۹۳۱

آشنایی با وسایل بستن و پیش‌تنیدگی در اتصالات:

وسایل دستی: این ابزار شامل آچار رینگی، بست(Spanner) و ابزاری از این دست بوده که بیشتر برای بستن پیچ‌ها در اتصالات اتکایی کاربرد دارد. این ابزار برای پیش‌تنیدگی اتصالات اصطکاکی کاربردی ندارد.

وسایل ماشینی: چون یک کارگر توانایی لازم برای پیش‌تنیدگی پیچ‌های اتصالات اصطکاکی را ندارد، به ناچار باید از وسایل ماشینی برای این مقصود استفاده نمود. این وسایل شامل ابزار مختلفی‌ست که پرکاربردترین آن‌ها عبارتند از:

آچار هیدرولیک: این وسیله با فشار روغن کار کرده و در سازه‌های فولادی کاربرد زیادی نداشته و بیشتر در مخازن تحت فشار استفاده می‌شود.

آچار بادی: در کشور ما، برای سازه‌های فولادی بیشتر از این وسیله استفاده می‌شود. این وسیله دارای انواع و اندازه‌های گوناگون بوده و کارکرد آن با فشار باد می‌باشد. به همین دلیل باید از کمپرسور باد برای تامین نیروی آن استفاده نمود. در این روش با استفاده از باد پرفشار و ضربه زدن، پیچ‌ها سفت می‌شود.

آچار برقی: این وسایل همان‌گونه که از نامشان پیداست با برق کار می‌کند. این ابزار در کشور ما رایج نیست که شاید به دلیل گرانی ابزار و هزینه‌ی تامین و نگهداری بالا باشد.

به طور کلی به ابزار سفت کردن و پیش‌تنیدن پیچ‌ها Impactor گفته می-شود. نکته‌ی مهم هنگام استفاده از این ابزار عدم آگاهی از میزان گشتاور ایجاد شده و میزان پیش‌تنیدگی پیچ می‌باشد که مورد بسیار مهمی در زمینه‌ی ایجاد یک اتصال درست در هنگام اجراست.

ترک‌متر (Torque Meter): همان‌گونه که اشاره شد، با استفاده از ابزار دستی یا ماشینی برای سفت کردن پیچ‌های اتصال سازه، نمی‌توان میزان گشتاور ایجاد شده و پیش‌تنیدگی حاصل از آن را به‌دست آورد. برای رسیدن به پیش-تنیدگی در پیچ‌های یک مجموعه اتصال، باید میزان گشتاور پیچشی مشخص شود که برای این کار از وسیله‌ای به نام ترک‌متر استفاده می‌شود. این وسیله دارای نشانگری‌ست که به کمک آن می‌توان مقدار گشتاور پیچشی وارد بر پیچ را اندازه‌گیری نمود.

چندکاره (Multi Player): در مورد پیچ‌های تا سایز M۲۰(سایزهای پایین) می‌توان انتظار داشت که نیروی یک کارگر معمولی توان سفت‌کردن آن‌را داشته باشد؛ اما، برای سایزهای بزرگتر از آن که نیروی کارگری تامین‌کننده‌ی میزان سفت‌شدگی نیست، باید از دستگاه «چندکاره» که در اصطلاح به آن «مولتی‌پلایر» گفته می‌شود استفاده نمود. این دستگاه دارای انواع گوناگونی است که براساس شاخصه‌ی نسبی با افزایش نیروی دست کارگر تقسیم‌بندی شده است. به عنوان مثال، مولتی‌پلایر ۱:۲ میزان نیروی دست کارگر را دو برابر و مولتی-پلایر ۱:۵ میزان نیروی دست کارگر را پنج برابر می‌کند.

به طور معمول در پروژه‌های ساختمانی، از ترکیب ترک‌متر و مولتی‌پلایر برای سفت‌کردن و پیش‌تنیدن پیچ‌های اتصالات سازه‌های فولادی استفاده می-شود.

روش‌های پیش‌تنیدن در پیچ‌های اتصالات فولادی:

استانداردهای گوناگون هر کدام روش‌هایی را برای پیش‌تنیدگی پیچ‌ها معرفی کرده و به رسمیت شناخته‌اند. یکی از معتبرترین استانداردها در این زمینه، استاندارد کمیته‌ی RCSC که از کمیته‌های زیرمجموعه‌ی AISC می‌باشد بوده و چهار روش کاربردی را برای پیش‌تنیدگی در پیچ معرفی نموده است:

استفاده از آچار کالیبره: در این روش به‌طور روزانه از هر بچ تعداد سه نمونه‌ی پیچ، مهره و واشر انتخاب شده و کالیبره می‌شود. به منظور کالیبراسیون نمونه‌ها از یک دستگاه «اسکید مور- ویلهلم» استفاده می‌شود. و به کمک ترک-متر میزان گشتاور مشخص بر اساس مشخصات نقشه‌ها یا جدول ۴.۴.۱۰ آیین‌نامه-ی مبحث دهم تنظیم شده و برای همه‌ی پیچ‌های مشابه کاربردی در همان روز به کار گرفته می‌شود. نکته‌ی بسیار مهم در

عدم برابری میزان پیش‌تنیدگی بین پیچ-ها با مقدار یک گشتاور اعمال شده‌ی ثابت است. یعنی وقتی برای سه نمونه پیچ یک میزان گشتاور اعمال شود، مقدار نیروی پیش‌تنیدگی نمایش داده شده در دستگاه «اسکید مور- ویلهلم» متفاوت است. بررسی‌ها نشان داده که از میزان گشتاور اعمال شده، حدود هشتاد درصد صرف غلبه بر اصطکاک موجود بین رزوه‌ها و نیز اصطکاک بین سطح مهره بر روی واشر شده و تنها کمتر از بیست درصد گشتاور اعمال شده جهت پیش‌تنیدگی به کار می‌رود. در نتیجه آیین‌نامه کالیبراسیون با این روش را با توجه به دما، شرایط محیطی و مسایلی از این دست برای هر بچ به صورت روزانه به رسمیت می‌شناسد.

استفاده از واشرهای ویژه (DTI Washers): این واشرها دارای برآمدگی-هایی‌ست که برای هر سایز پیچ کالیبره شده است. روش کار به این صورت است که آن را درون اتصال قرار داده و پیچ سفت شده؛ سپس با اعمال نیروی بیشتر تا حد پیش‌تنیدگی برای آن سایز، برآمدگی‌های روی واشر تخت می‌شود. پس از آن با چشم و یا با استفاده از فیلر کنترل انجام می‌گیرد که تخت شدگی کامل واشر نشانه‌ی رسیدن به میزان پیش‌تنیدگی لازم برای پیچ می‌باشد. در این روش نیازی به استفاده از ترک‌متر نمی‌باشد. البته نوع دیگری از این واشرها موجود است که به جای برآمدگی دارای یک نوع کپسول سیلیکونی رنگی‌ست که با رسیدن به پیش‌تنیدگی لازم، کپسول سیلیکونی ترکیده و رنگی قرمز از خود تراوش می‌کند که به راحتی و با چشم، می‌توان پیچ‌های پیش‌تنیده را از غیرپیش‌تنیده تشخیص داد. به منظور اطمینان از کیفیت واشرهای DTI، باید همه-ی الزامات استاندارد ASTM M۹۵۹F در ساخت، تولید و بازرسی این قطعات به کار گرفته شده باشد.

استفاده از بولت‌های ویژه (Twist-off-Bolt): این روش که گاهی به آن TC Bolt نیز می‌گویند، بر اساس میزان گشتاور لازم برای جداشدن قسمت اضافه-ی سرپیچ کار می‌کند. این نوع پیچ‌ها دارا ی یک قسمت اضافی پایینی بوده که با سفت شدن کامل پیچ به وسیله‌ی آچارهای ویژه‌ی خود، مهره در جهت عقربه-های ساعت چرخانده شده، و بخش اضافی را در خلاف حرکت عقربه‌های ساعت می‌چرخاند، که این باعث بریده شدن قسمت اضافی پایینی پیچ شده که نشانه‌ی پیش‌تنیدگی پیچ می‌باشد. این روش بسیار دقیق اما غیرکاربردی‌ست، چون نیاز به فضای کافی برای قرارگیری آچار مخصوص داشته و همچنین برای سفت کردن پیچ تنها باید از آچارهای ویژه استفاده نمود.

استفاده از چرخش مهره: در این روش ابتدا پیچ‌ها را تا اندازه‌ای که قابل سفت‌شدن می‌باشد، بسته و سپس، روی بدنه‌ی مهره و میله‌ی پیچ را علامت-گزاری کرده، آن‌گاه به میزان دوری که بر اساس طول و قطر در آیین‌نامه مشخص شده، چرخش اضافه بر مهره اعمال می‌شود. طبق جدول ۲.۴.۱۰ مبحث دهم چرخش لازم برای پیش‌تنیده کردن پیچ‌ها آورده شده که تنها برای سطوح بدون شیب کاربرد دارد. برای همه‌ی سطوح می توان از جدول زیر استفاده نمود:

طول پیچ	وضعیت قرارگیری سطوح اتصال بر روی هم		
	سطوح روی هم بدون شیب	یک سطح شیب دار کمتر از ۱:۲۰	هردو سطح شیبدار کمتر از ۱:۲۰
برابر یا کمتر از ۴ برابر قطر	۱/۳ دور	۱/۲ دور	۲/۳ دور
بزرگتر از ۴ برابر تا کوچکتر مساوی ۸ برابر قطر	۱/۲ دور	۲/۳ دور	۵/۶ دور
بزرگتر از ۸ برابر تا کوچکت مساوی ۱۲ برابر قطر	۲/۳ دور	۵/۶ دور	یک دور کامل

در اتصالات پیچی سوراخ‌ها بر روی خط مستقیم در جهت نیرو و یا عمود بر آن در یک یا چند ردیف تعبیه می‌گردد. چنان‌چه تعداد سوراخ‌ها زیاد باشد می‌توان شکل قرارگیری سوراخ‌ها را به صورت زیگزاگ اجرا نمود. فاصله-های بین سوراخ‌ها به صورت یکنواخت و هماهنگ با قطر سوراخ انتخاب می-شود.

انواع سوراخ‌ها:

در اتصالات پیچی بر اساس آیین نامه‌های طراحی AISC و مبحث دهم از مقرارت ملی ساختمانی ایران، انواع سوراخ به شرح زیر طبقه-بندی می‌شود :

الف- سوراخ استاندارد گرد

ب- سوراخ بزرگ شده گرد

پ- سوراخ لوبیایی بلند

ت- سوراخ لوبیایی کوتاه

ث- سوراخ لوبیایی(بلند یا کوتاه) عمود برجهت نیرو

آیین‌نامه‌ی AISC در اتصالات اصطکاکی تنش‌های مجاز برشی برای پیچ-های پر مقاومت را بر اساس وضعیت سطوح ورق‌های در حال تماس و نیز نوع

سوراخ بیان می‌کند. آیین‌نامه‌ی مذکور سطوح تماسی که تمیز بوده و لایه‌ای از اکسید حاصل از نورد گرم در روی آن قرار داشته باشد را کلاس A می‌نامد و برای وضعیت‌های مختلف سطوح طی جدولی تنش‌های برشی مجاز را ارائه می-کند.

مبحث دهم از مقررات ملی ساختمانی ایران تنش‌های مجاز برشی پیچ در اتصالات اصطکاکی را بر اساس نوع سوراخ بیان می‌نماید. سوراخ استاندارد طبق تعریف آیین‌نامه‌ی ایران سوراخی است که قطر آن ۲میلی متر از قطر پیچ بیشتر است. در حالی که آیین نامه AISC سوراخی را استاندارد می‌نامد که قطر آن به طور دقیق برابر قطر پیچ باشد. از نظر اجرایی تعریف آیین‌نامه‌ی AISC امکان-پذیر نیست، بلکه حتا می‌توان گفت که تعریف آیین‌نامه‌ی ایران برای سوراخ استاندارد نیز بسیار دشوار اجرا می‌گردد. در نتیجه در محاسبات بیشتر محاسبان فرض را بر غیر استاندارد بودن سوراخ ایجاد شده در حالت اصطکاکی(با توجه به بخش «ب» از بند۳.۱۰.۱.۱۰ و بند ۳.۵.۳.۱۰ ویرایش ۱۳۸۷ مبحث دهم، اتصالاتی که در سیستم لرزه‌بر مشارکت ندارند) گذاشته و کنترل‌ها را بر اساس سوراخ بزرگ در نظر می‌گیرند؛ و در اتصالات اتکایی تاکید بر استاندارد بودن سوراخ دارند، چرا که در هر حال اجرای سوراخ استاندارد در عمل کار آسانی نیست.

فاصله‌ی بین سوراخ‌ها در بازه‌ی مقادیری مشخص می‌باشد. مقدار کمینه برای فاصله‌ی سوراخ‌ها به دو جهت است؛ یکی جلوگیری از گسیختگی و پارگی ورق و دیگری اجرایی بودن کار و فراهم کردن فضای مناسب برای بستن پیچ. مقدار بیشینه‌ی سوراخ‌ها پیروی سه دلیل است. نخست آن که بتوان توزیع به نسبت واقعی‌تری از نیرو در اتصال داشته و همنواختی و یکسانی آن را در پیچ‌ها به‌وجود آورد، تا فرض صلب بودن ورق تامین شود؛ دوم این که با کم کردن فاصله، طول موج کمانشی حاصل از نیروی فشاری را نیز به کمترین مقدار ممکن رساند تا از کمانش موضعی جلوگیری شود؛ و آخرین دلیل هم این که از باز شدن درز بین ورق‌های اتصال و خطر زنگ‌زدگی ورق جلوگیری نمود.

فاصله‌ی کمینه بین سوراخ‌ها بر اساس جدول زیر در واحد کیلوگرم- سانتی‌متر است:

نوع سوراخ	مقدار کمینه بر اساس سانتی متر
سوراخ استاندارد و سوراخ لوبیایی عمود بر خط نیرو	$P_b \le \frac{2V_b}{F_u \cdot t_L} + 0.5d_h$
سوراخ بزرگ شده	$P_b \le \frac{2V_b}{F_u \cdot t_L} + 0.5(d_h + 1)$

سوراخ لوبیایی کوتاه موازی بر خط نیرو	$P_b \le \frac{2V_b}{F_U \cdot t_L} + 0.5d_b + 0.7$
سوراخ لوبیایی بزرگ موازی خط نیرو	$P_b \le \frac{2V_b}{F_U \cdot t_L} + 2d_b - 0.2$

بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ایران، به جای جمله‌ی d_{bA}۰.۵+(t_L/F_U)/(V_{bA}۲) از (t_L/F_U)/(V_{bA}۲) استفاده شده است؛ بنابراین استفاده از رابطه‌ی AISC محافظه‌کارانه می‌باشد.

Le۱ با توجه به نوع برش از جدول زیر اقتباس می‌گردد:

لبه بریده شده با گیوتین یا قیچی	
لبه نورد شده، نیمرخ، تسمه و یا بریده شده با شعله و اره	

مبحث دهم از مقررات ملی ساختمانی ایران محدودیت‌های زیر را برای سوراخ‌های اتصالات پیچی در نظر می‌گیرد:

الف- سوراخ‌های بزرگ فقط در اتصالات اصطکاکی مجاز است.

ب- سوراخ‌های لوبیایی کوتاه در تمام امتدادها در اتصالات اصطکاکی مجاز هستند و در اتصالات اتکایی امتداد طولی سوراخ باید عمود بر امتداد نیرو باشد.

پ- در اتصالات اتکایی، سوراخ‌های لوبیایی بلند فقط در امتداد عمود بر مسیر نیرو مجاز هستند و در اتصالات اصطکاکی فقط می‌توانند در یکی از ورق‌های اتصال و در هر امتداد اختیاری وجود داشته باشد.

سوراخ‌های لوبیای و بزرگ به دلایل زیر در اتصالات تعبیه می‌شوند:

الف- در اتصالات اتکایی و یا اصطکاکی که در آن‌ها به دلایلی نیروی پیش-تنیدگی کاهش یا حذف می‌شود. هنگامی که اتصال تحت بارهای دینامیکی قرار می گیرد احتمال تماس تنه‌ی پیچ با دیواره‌ی سوراخ در دفعات مکرر وجود دارد. تعبیه‌ی سوراخ‌های بزرگ یا لوبیایی موجب عدم تماس تنه پیچ با دیواره-ی سوراخ به‌ویژه در اثر پدیده‌ی خستگی خواهد شد.

ب- تعبیه‌ی سوراخ‌های بزرگ و لوبیایی شرایط مناسب تری برای مونتاژ، تنظیم و رواداری پیچ‌ها در اتصال فراهم می‌نماید.

پ- تعبیه‌ی سوراخ‌های بزرگ و لوبیایی از وقوع تنش‌های ناشی از دما و نیز تنش‌های مرتبه‌ی دوم جلوگیری می‌کند.

در رابطه با قطر پیچ، باید توجه داشت در ایران قطرهای M۱۸ و M۳۳ تولید نمی‌شود. در نتیجه در طراحی هیچ‌گاه از این دو نمره نباید استفاده کرد.

وظایف بازرسان پیچ و مهره:

مطالعه‌ی دقیق مباحث اجرایی مشخصات فنی، نقشه‌های قرارداد، نقشه‌های کارگاهی ساخت و نیز نصبی پروژه.

مطالعه‌ی همه‌ی «گواهی‌نامه‌های مطابقت مواد» که از سوی کارخانه‌ی سازنده صادر شده است و حصول اطمینان از تطابق ویژگی‌های مواد قطعات با الزامات پروژه.

تایید شناسایی مواد پیچ‌ومهره‌ها.

تایید وجود شرایط مناسب و تحت کنترل جهت انبار قطعات.

تایید وجود دستورکارهای مصوب نصب پیچ‌ومهره و استفاده از این دستورکارها در روند عملیات اجرایی.

تایید صلاحیت همه‌ی پرسنل نصاب پیچ‌ومهره.

حصول اطمینان از آگاهی تمام نیروهای کاری از دستورکار نصب پیچ و مهره.

مشاهده‌ی آزمایش پیش از نصب که در آغاز کار و به ازای هر محموله انجام می‌شود.

در روش استفاده از آچار کالیبره، عملیات کالیبراسیون آچار در ابتدای هر شیفت کاری بررسی و بازرسی شود.

کنترل کفایت وضعیت اتصال اعم از وضعیت ابعاد سوراخ‌ها، عدم وجود وضعیت نامناسب در سوراخ‌هایی که گشاد شده و یا برقو زده شده‌اند.

در اتصالات اصطکاکی، کنترل مناسب بودن وضعیت سطوح ورق‌های اتصالی که بر روی هم قرار می‌گیرند.

کنترل سفت‌شدن نخستین همه‌ی پیچ‌ها، پیش از اعمال نیروی پیش‌تنیدگی.

در اتصالاتی که باید پیش‌تنیده شوند، درقالب یک برنامه‌ی زمان‌بندی مناسب عملیات پیش‌تنیدگی کنترل شود تا از درستی انجام آن اطمینان حاصل شود.

هرگونه اختلاف نظر در خصوص دستیابی به میزان پیش‌تنیدگی مورد نظر باید بلافاصله حل‌وفصل شود.

گزارش کاملی در خصوص اتصالات مشاهده و بازرسی شده که مورد قبول قرار گرفته‌اند تهیه شود. این گزارش باید طبق برنامه و در زمان‌های مربوطه و از پیش مشخص به دستگاه مربوطه تحویل شود.

گواهی‌نامه‌های تطابق:

پیمانکار موظف است که در قالب ارسال نامه‌ی رسمی آگاهی خود را از بررسی و مطالعه‌ی دقیق گواهی‌نامه‌های مواد خام و مصرفی پروژه، پیچ و مهره‌ها، الکترودها و برشگیرها که توسط کارخانه‌های سازنده‌ی آن‌ها تهیه شده است، اعلام نموده و از تطابق آن با استانداردها، مشخصات فنی و مدارک قرارداد اطمینان حاصل کند.

گزارش‌های آزمایش کارخانه‌ی سازنده در رابطه با مواد اولیه‌ی قطعات اتصال (پیچ و مهره‌ها):

پیمانکار موظف است نسبت به ارایه‌ی کپی همه‌ی گواهی‌نامه‌های کارخانه‌ی سازنده‌ی قطعات اتصال در سیستم مقاوم در برابر زلزله شامل پیچ، مهره، واشر و نیز واشه‌های نشانگر مستقیم کشش DTI اقدام نماید. پیمانکار باید گواهی‌نامه‌های مذکور را به پیوست «گواهی‌نامه‌ی تطابق» ارایه نماید.

گواهی‌نامه‌های کارخانه‌ی سازنده‌ی پیچ و مهره باید حاوی حداقل اطلاعات زیر باشد:

آنالیز شیمیایی مواد خام، شماره‌ی ذوب و گواهی عدم استفاده از عناصر غیر مجاز در روند تولید پیچ و مهره‌ها.

نتایج آزمایش‌های سختی، کشش و بارگواه به نحوی که بیانگر چگونگی انجام آزمایش و مطابقت آن با استاندارد باشد.

در صورتی که از پیچ و مهره‌های گالوانیزه استفاده می‌شود، نتایج آزمایش ظرفیت چرخشی و روش انجام آزمایش (با استفاده از ورق صلب یا ابزار اندازه-گیر کشش) و استفاده از روغن.

در صورت گالوانیزه بودن ضخامت و یا وزن پوشش روی، در گواهی‌نامه قید گردد.

نتایج بازرسی چشمی زنگ زدگی.

بیان مطابقت الزامات ابعادی رزوه‌ها با استاندارد.

شماره‌ی محموله و شماره‌ی درخواست خرید .

نشانی کامل پستی سازنده ودفاتر آن.

مهر و امضای واحد کنترل کیفیت.

برای پیچ‌هایی که مطابق استاندارد A۴۹۰ تولید می‌شوند، فقط بازرسی «حین تولید» قابل قبول است و بازرسی «محموله‌ی آماده‌ی حمل» به هیچ وجه قابل پذیرش نمی‌باشد.

پیچ ومهره‌های مورد استفاده در سازه‌ی فولادی باید طبق اطلاعات نقشه-های طراحی از لحاظ مقاومت رده و نوع با الزامات استانداردهای ASTM به شرح زیر است مطابقات داشته باشند:

A۳۲۵: استاندارد مشخصات فنی پیچ‌های فولادی عملیات حراراتی شده با حداقل مقاومت کششی ۱۲۰/۱۰۵ksi.

A۴۹۰: استاندارد مشخصات فنی پیچ‌های فولادی عملیلت حرارتی شده با حداقل مقاومت کششی ksi۱۵۰.

A۵۶۳: استاندارد مشخصات فنی مهره‌های فولادی آلیاژی وکربن‌دار.

F۴۳۶: استاندارد مشخصات فنی واشرهای فولادی سخت.

F۹۵۹: استاندارد مشخصات فنی واشرهای نشانگر مستقیم کشش DTI Washers)) که در اتصالات سازه‌های فولادی به کاربرده می شوند.

F۱۸۵۲- استاندارد مشخصات فنی(پیچ با قطعه جدا شونده)

bolts Twist-off))، با حداقل میزان مقاومت کششی ksi۱۰۵/۱۲۰

دستورکار بستن پیچ و مهره‌ها:

پیمانکار موظف به ارایه‌ی دستورکار آزمایش‌های پیش از بستن، سفت کردن اولیه، پیش‌تنیدگی و بازرسی بعد از بستن می‌باشد. تمامی این دستورکارها باید مطابق الزامات آیین‌نامه‌ی مرکز تحقیقات اتصالات سازه‌ای (RCSC) و مدارک فنی پروژه باشند.

دستورکار بستن، باید مشخص نماید که پیمانکار از کدام روش بستن پیچ و مهره، شامل: روش چرخش مهره، آچار کالیبره، پیچ با قطعه‌ی جداشونده (پیچ-های TC) یا نشانگرهای مستقیم کشش(DTI) استفاده می‌نماید.

جمع‌بندی:

با توجه به این‌که در حال حاضر در کشور ما قطرهای M۱۸ و M۳۳ تولید نمی‌شود، در طراحی سازه‌های فولادی با اتصالات پیچ و مهره، از این دو سایز نباید استفاده کرد.

از آن‌جا که سیستم تولید پیچ و مهره در کشور ما و در حال حاضر بر اساس استانداردهای اروپایی می‌باشد، از مشخصات پیچ بر اساس DIN آلمان در طراحی‌ها و نقشه‌ها باید استفاده نمود.

با توجه به سیستم تولید پیچ در ایران، در طراحی اتصالات اصطکاکی، تنها از پیچ DIN۶۹۱۴HV- باید استفاده شود که این پیچ تنها دارای رده‌ی مقاومتی ۱۰.۹ می‌باشد.

با توجه به برتری روش تولیدی فورج سرد به فورج گرم و تولید قطعات پیچ تا سایز M۲۴ به این روش در کشور ما، تلاش باید نمود تا در طراحی‌ها تا حدامکان بیش از این سایز استفاده نشود. همچنین در مشخصات نقشه‌ها و دستورکارهای ساخت و نصب، بر خرید پیچ ساخته شده به روش فورج سرد تاکید شود.

برای پیچ‌های اتصالات اصطکاکی به طور ویژه و برای همه‌ی پیچ‌ها به طور کلی، نباید از پوشش‌های گالوانیزه(فلزی) برای محیط‌های خورنده استفاده شود. برای این محیط‌ها از پیچ‌های با پوشش غیرفلزی(رنگی) باید استفاده نمود.

تا حد امکان باید کوشش شود که خرید پیچ و مهره از کارخانه‌ی سازنده صورت گیرد تا گواهی‌نامه‌های مرغوبیت و سایر گواهی‌های تطابق در دسترس باشد.

در هنگام نمونه‌گیری و انجام آزمایش توسط آزمایشگاه‌های مقاومت مصالح، بازرسی دقیق و مستقیم صورت پذیرد.

با توجه به شرایط موجود، روش چرخش اضافی مهره ارزان‌ترین و قابل اطمینان‌ترین روش پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی در کشور ماست.