شماره: ۸۸۲۱-۲ /۹۳ ۱۰۲
تاریخ: ۹۳/۰۹/۱۹
پیوست: ندارد

بسمه تعالی

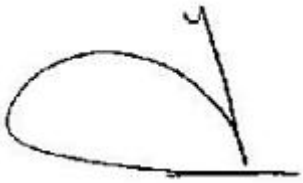
جناب آقای مهندس ...
مدیر کل محترم نوسازی مدارس استان ...

سلام علیکم

با احترام، به استحضار می رساند با توجه به تغییرات متناوب آیین نامه‌ها و استانداردهای معتبر بین‌المللی، دفتر فنی و تحقیقات تهیه و تدوین مجموعه‌ای تحت عنوان " دستورالعمل طراحی لرزه‌ای اتصالات در ساختمان‌های فولادی " با مد نظر قرار داد و منطبق با ویرایش جدید مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش سال ۱۳۹۲) در دستور کار خود نهاد و اینک به حول و قوه الهی، فایل الکترونیکی جلد اول آن شامل " اتصالات در قاب های خمشی - اتصالات تیر به ستون " تحت نام " Nosazi-Steel Connections Project " از طریق Ftp به آدرس: Sent to States/Global/Fanni ارسال می گردد و همچنین در پرتال سازمان به آدرس : Http://www.nosazimadares.ir/sazeh/default.asp قابل بهره‌برداری است .

شایسته است جهت آشنایی بیشتر و بهتر با مفاد دستورالعمل ، مجموعه مذکور در جلسات کمیته شورای فنی آن اداره کل و با حضور کارشناسان مورد بحث و بررسی قرار گیرد و همچنین مجموعه فوق الاشاره به کارشناسان مرتبط ارجاع گردد .

علی شهری
سرپرست معاونت فنی و نظارت



سازمان نوسازی،توسعه و تجهیزمدارس کشور
معاونت فنی و نظارت
دفترفنی و تحقیقات
گروه سازه و گروه مقاوم سازی

دستورالعمل طراحی لرزه‌ای اتصالات ساختمان‌های فولادی

(جلد اول: اتصالات در قاب های خمشی – اتصالات تیر به ستون)

(مطابق ویرایش سال ۱۳۹۲ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان)

ویرایش اول

پاییز۱۳۹۳

بسمه تعالی

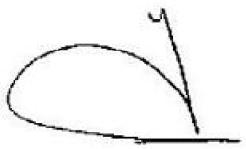
جناب آقای مهندس ...
مدیر کل محترم نوسازی مدارس استان ...

سلام علیکم

با احترام، به استحضار می رساند با توجه به تغییرات متناوب آیین نامه‌ها و استانداردهای معتبر بین‌المللی، دفتر فنی و تحقیقات تهیه و تدوین مجموعه‌ای تحت عنوان " دستورالعمل طراحی لرزه‌ای اتصالات در ساختمان‌های فولادی " با مد نظر قرار داد و منطبق با ویرایش جدید مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش سال ۱۳۹۲) در دستور کار خود نهاد و اینک به حول و قوه الهی، فایل الکترونیکی جلد اول آن شامل " اتصالات در قاب های خمشی - اتصالات تیر به ستون " تحت نام " Nosazi-Steel Connections Project " از طریق Ftp به آدرس: Sent to States/Global/Fanni ارسال می گردد و همچنین در پرتال سازمان به آدرس : Http://www.nosazimadares.ir/sazeh/default.asp قابل بهره‌برداری است .

شایسته است جهت آشنایی بیشتر و بهتر با مفاد دستورالعمل ، مجموعه مذکور در جلسات کمیته شورای فنی آن اداره کل و با حضور کارشناسان مورد بحث و بررسی قرار گیرد و همچنین مجموعه فوق الاشاره به کارشناسان مرتبط ارجاع گردد .

علی شهری
سرپرست معاونت فنی و نظارت



مقدمه

گسترش علم مهندسی سازه و بروز شدن آیین نامه های طراحی بر اساس پیشرفت علم مهندسی زلزله در حیطه زلزله شناسی و رفتار لرزه ای سازه ها سبب گردیده ضوابط لرزه ای دستورالعمل ها و استانداردهای موجود در این زمینه به طور مداوم و در بازه های زمانی نسبتاً کوتاه چند ساله مورد بازبینی و اصلاح قرار گیرند. همزمان با این تحولات، استانداردها و آیین نامه های طراحی داخلی نیز در دوره های زمانی ۵ ساله مورد تجدیدنظر قرار می گیرند. بنابراین با تغییر آیین نامه ها بایستی مدارک فنی معتبر به منظور تشریح دقیق ضوابط جدید و بیان جزئیات آنها ارائه شوند.

از مهم ترین تغییرات انجام گرفته در آیین نامه های طراحی در سالیان اخیر، توجه ویژه به مباحث لرزه ای بوده است. به دلیل نقش مهم اتصالات در رفتار لرزه ای ساختمان های فولادی، علاوه بر ارائه الزامات طراحی و لرزه‌ای انواع اتصالات فولادی در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، در ویرایش جدید (۱۳۹۲) در یک بخش جداگانه تحت عنوان «اتصالات گیردار از پیش تایید شده» به معرفی انواع اتصالات گیردار خمشی تیر به ستون پرداخته شده است. با توجه به محدودیت های آیین نامه ای، در این بخش از ویرایش جدید (۱۳۹۲) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان فقط به معرفی این اتصالات و بیان الزامات و محدودیت های آنها اکتفا شده است.

با توجه به نیاز جامعه مهندسی کشور برای آشنایی بیشتر و بیان جزئیات کاربردی ضوابط آیین نامه ای بنابراین دفتر فنی و تحقیقات سازمان نوسازی مدارس کشور تصمیم به ارائه جزئیات و روش طراحی اتصالات گیردار از پیش تایید شده مندرج در ویرایش جدید (۱۳۹۲) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان نموده است. برای این منظور، از مراجع فنی معتبر که در انتهای این دستورالعمل نیز ذکر گردیده، استفاده شده است.

هدف اصلی این دستورالعمل ارائه ضوابط تکمیلی و بیان جزئیات و مراحل طراحی اتصالات گیردار از پیش تایید شده تیر به ستون در قاب های خمشی فولادی ویژه، متوسط و معمولی بر مبنای الزامات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) و با استفاده از ANSI/AISC 358-10، ANSI/AISC 341-10، AISC 360-10و Supplement No1_ANSI-AISC 358-05 و ASCE07-10 بوده است.

با توجه به سابقه حدود ۱۰۰ ساله استفاده از روش تنش مجاز (ASD) در طراحی ساختمان های فولادی و ارائه ضوابط این روش در استانداردها و آیین نامه های معتبر نظیر AISC و همچنین گسترش و ارائه ضوابط روش ضریب بار و مقاومت (LRFD) در این آیین نامه ها و منابع معتبر از حدود سه دهه پیش، بنابراین در این مجموعه ضوابط هر دو روش تنش مجاز و ضرایب بار و مقاومت ارائه گردیده و در حل مثال های ارائه شده از هر دو روش مذکور استفاده شده است.

دفتر فنی و تحقیقات سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور از نظرات، پیشنهادات و رهنمودهای سازنده و مفید خوانندگان گرامی استقبال می نماید و آماده دریافت آن از طریق نامه کتبی یا پست الکترونیک srdm.btr@gmail.com است.

کلیه حقوق و حق چاپ متن و عنوان این دستورالعمل متعلق به سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور می‌باشد و هرگونه چاپ و انتشار آن به هر شکل بدون کسب اجازه از سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور و بدون ذکر منبع ممنوع می باشد.

افراد ذیل در انتشار این دستورالعمل نقش اصلی را ایفا نموده اند:

جناب آقای مهندس علی شهری	نظارت و راهبری
جناب آقای مهندس حمید علیان نژاد	نظارت و پیگیری
جناب آقای مهندس احدا... ابراهیمی	کنترل و بازخوانی
جناب آقای مهندس مهدی اقبالی	تهیه و تدوین
سرکار خانم مهندس سمیه قیصری	تهیه و تدوین
سرکار خانم میترا ابراهیم تهرانی	ترسیم جزئیات و نقشه ها

علی شهری

سرپرست معاونت فنی و نظارت و مدیر کل دفتر فنی و تحقیقات
سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور
پاییز ۱۳۹۳

فهرست مطالب

فصل ۱ طراحی اتصالات قابهای خمشی ۱۱
۱.۱ تحلیل و طراحی لرزهای قابهای خمشی ۱۲
۲.۱ طراحی لرزه ای اتصالات تیر به ستون در قاب های خمشی ۱۳
۱.۲.۱ انتخاب سیستم قاب خمشی (ویژه، متوسط یا معمولی): ۱۵
۲.۲.۱ انتخاب روش مناسب انتقال موقعیت مفصل پلاستیک از بر ستون ۱۶
۳.۲.۱ طراحی لرزهای اتصالات قابهای خمشی ویژه ۱۶
۱.۳.۲.۱ مهاربندی جانبی تیرها ۱۷
۲.۳.۲.۱ طراحی اتصالات تیر به ستون ۱۸
۳.۳.۲.۱ مهاربندی جانبی اتصال تیر به ستون ۲۱
۱.۳.۳.۲.۱ اتصالات با مهاربندی : ۲۲
۲.۳.۳.۲.۱ اتصالات بدون مهاربندی: ۲۲
۴.۳.۲.۱ تیر ضعیف – ستون قوی ۲۳
۵.۳.۲.۱ طراحی برای برش ۲۵
۱.۵.۳.۲.۱ چشمه اتصال ۲۶
برش در چشمه اتصال ۲۶
۲.۵.۳.۲.۱ مقاومت برشی طراحی ۲۷
۳.۵.۳.۲.۱ ضخامت چشمه اتصال ۲۹
۴.۵.۳.۲.۱ ورقهای پیوستگی ۳۰
ضخامت ورقهای پیوستگی ۳۳
جوشکاری ورقهای پیوستگی ۳۴
۵.۵.۳.۲.۱ تعبیه ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) و یا سختکننده قطری ۳۴
ورقهای مضاعف متصل به جان ستون ۳۵
ورقهای مضاعف فاصلهدار ۳۶
ورقهای مضاعف با ورقهای پیوستگی ۳۶
ورقهای مضاعف بدون ورقهای پیوستگی ۳۶
۶.۵.۳.۲.۱ جوشهای بحرانی ۳۶
۶.۳.۲.۱ اتصالات قابهای خمشی متوسط ۳۸
۱.۶.۳.۲.۱ مهاربندی جانبی تیرها ۳۸
۲.۶.۳.۲.۱ الزامات اتصالات تیر به ستون ۳۸
۳.۶.۳.۲.۱ محدودیتهای اتصال ۳۸
۴.۶.۳.۲.۱ طراحی برای برش ۳۹
۵.۶.۳.۲.۱ چشمه اتصال ۳۹
۶.۶.۳.۲.۱ ورقهای پیوستگی ۳۹
۷.۳.۲.۱ اتصالات قابهای خمشی معمولی ۳۹
۱.۷.۳.۲.۱ جوشهای بحرانی ۳۹
۲.۷.۳.۲.۱ انواع اتصالات خمشی تیر به ستون ۴۰
اتصالات گیردار خمشی ۴۰

اتصالات نیمه گیردار خمشی ۴۱
۴.۲.۱ الزامات ویژه بالها و جان مقاطع اعضای اتصالات تیر به ستون تحت اثر بارهای متمرکز در قابهای خمشی ۴۲
۱.۴.۲.۱ خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی ۴۲
۲.۴.۲.۱ تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری ۴۳
۳.۴.۲.۱ لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری ۴۳
۴.۴.۲.۱ کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری ۴۴
۵.۴.۲.۱ کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز متقابل فشاری ۴۴
۶.۴.۲.۱ برش در چشمه اتصال ۴۴
۷.۴.۲.۱ تامین الزامات تکمیلی برای سختکنندهها تحت اثر بارهای متمرکز ۴۴
۸.۴.۲.۱ تامین الزامات تکمیلی برای ورقهای تقویتی جان (ورق مضاعف) تحت اثر بارهای متمرکز ۴۵
۹.۴.۲.۱ تامین الزامات تکمیلی برای پایداری ورقهای چشمه اتصال ۴۵
۳.۱ الزامات لرزهای اتصالات وصله ستونها و تیرها در قابهای خمشی ویژه و متوسط ۴۵
۱.۳.۱ وصله ستونها ۴۵
۲.۳.۱ وصله تیرها ۴۷
۴.۱ الزامات لرزهای اتصالات کف ستونها ۴۷
فصل ۲ طراحی اتصالات تیر به ستون ۵۰
۱.۲ اتصالات تیر به ستون در قابهای خمشی ۵۱
۲.۲ مشخصات مصالح اتصالات تیر به ستون ۵۳
۱.۲.۲ مقاطع نورد شده ۵۳
۲.۲.۲ مقاطع ساختهشده از ورق ۵۳
۱.۲.۲.۲ ستونهای H شکل ۵۴
۲.۲.۲.۲ ستونهای جعبهای شکل بال پهن ۵۵
۳.۲.۲.۲ ستونهای با مقطع سپری و نورد شده ۵۶
۳.۲.۲ انواع اتصالات خمشی گیردار از پیش تایید شده تیر به ستون ۵۷
۱.۳.۲.۲ ویژگیها و مشخصات اتصالات خمشی گیردار از پیش تایید شده ۵۸
۱.۱.۳.۲.۲ ضرایب مقاومت ۵۸
۲.۱.۳.۲.۲ ناحیه حفاظت شده ۵۸
۳.۱.۳.۲.۲ ورقهای پرکننده انگشتی ۵۹
۲.۳.۲.۲ اتصال گیردار پیچی تیر به ستون با ورق روسری و زیرسری (BFP) ۶۰
۱.۲.۳.۲.۲ ضوابط و محدودیتهای اتصال BFP ۶۱
۲.۲.۳.۲.۲ محدودیتهای اتصالات تیر به ستون ۶۲
۳.۲.۳.۲.۲ جزئیات اتصالات ۶۲
۴.۲.۳.۲.۲ مراحل طراحی اتصالات BFP ۶۳
۳.۳.۲.۲ اتصال تیر با مقطع کاهش یافته (RBS) به ستون ۶۸
۱.۳.۳.۲.۲ محدودیتها و الزامات اتصال RBS ۶۸
۲.۳.۳.۲.۲ محدودیتهای اتصالات تیر- ستون ۷۰
۳.۳.۳.۲.۲ ضوابط جوش اتصالات بین بال تیر و ستون ۷۱
۴.۳.۳.۲.۲ ضوابط اتصال جان تیر به بال ستون ۷۱
۵.۳.۳.۲.۲ مراحل طراحی ۷۲

۵.۳.۲.۲ اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی (WUF-W) ۹۷
۱.۵.۳.۲.۲ ضوابط و محدودیتهای اتصال ۹۷
۲.۵.۳.۲.۲ محدودیتهای اتصالات تیر به ستون ۹۸
۳.۵.۳.۲.۲ جزئیات اتصالات ۹۹
۴.۵.۳.۲.۲ محدودیتهای اتصال تیر به ستون ۹۹
۵.۵.۳.۲.۲ مراحل طراحی ۱۰۱
۶.۳.۲.۲ اتصال گیردار جوشی تیر به کمک ورقهای روسری و زیرسری (WFP) ۱۰۲
۱.۶.۳.۲.۲ ضوابط و محدودیتهای اتصال BFP ۱۰۲
۲.۶.۳.۲.۲ محدودیتهای اتصالات تیر به ستون ۱۰۳
۳.۶.۳.۲.۲ جزئیات اتصالات ۱۰۳
۴.۶.۳.۲.۲ مراحل طراحی اتصالات WFP ۱۰۴
فصل ۳ مثال های طراحی اتصالات تیر به ستون ۱۰۶

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ : برش و خمش طراحی تیرها در قاب های خمشی ویژه بر اساس روش حالات حدی و روش تنش مجاز ۲۰
شکل ۱-۲ : نیروی برشی طراحی چشمه اتصال ۲۷
شکل ۱-۳ : اتصال ورقهای مضاعف از طریق جوشهای انگشتانه در ناحیه چشمه اتصال ۳۰
شکل ۱-۴ : جزئیات ورق پیوستگی ۳۳
شکل ۱-۵ : نحوه استفاده از ورق پیوستگی در اتصال تیر به ستون ۳۳
شکل ۱-۶ : استفاده از ورقهای مضاعف و ورقهای پیوستگی در چشمه اتصال ۳۵
شکل ۱-۷ : استفاده از حالتهای مختلف ورقهای تقویتی (مضاعف) ۳۵
شکل ۱-۸ : خمش موضعی بال ستون در مقابل بال کششی تیر در اتصال خمشی گیردار تیر به ستون تحت نیروی متمرکز کششی ۴۳
شکل ۲-۱ : اتصالات تیر به ستون در قابهای خمشی : (الف) اتصال تیر به جان ستون با استفاده نیمرخ سپری برای اتصال تیر به جان ستون (ب) اتصال تیر به جان ستون با استفاده از ورقهای فوقانی و نشیمن تقویت شده ۵۲
شکل ۲-۲ : مقاطع ساخته شده ۵۴
شکل ۲-۳ : اجزای اتصالات تیر به ستون های H شکل ساخته شده از ورق ۵۵
شکل ۲-۴ : نحوه اتصال بین ورق های بال و جان ستون ساخته شده در ستون های با مقطع جعبهای شکل ۵۶
شکل ۲-۵ : ستون های مرکب با مقطع سپری و مقطع نورد شده ۵۷
شکل ۲-۶: جزئیات اتصال گیردار پیچی تیر به ستون با ورق روسری و زیرسری (BFP) ۶۰
شکل ۲-۷: اتصال تیر با مقطع کاهش یافته (RBS) به ستون ۶۸
شکل ۲-۲۱ : اتصال تیر به ستون با بال غیرمسلح توسط اتصال جوشی و جان جوش شده (WUF-W) ۹۷
شکل ۲-۲۲ : جزئیات اتصال تیر به ستون با بال غیرمسلح با اتصال جوشی و جان جوش شده (WUF-W) ۱۰۰
شکل ۲-۲۳ : جزئیات اتصال جان تیر به بال ستون در اتصال (WUF-W) ۱۰۰
شکل ۲-۲۴: جزئیات اتصال گیردار جوشی تیر به ستون با ورق روسری و زیرسری (WFP) ۱۰۲

فهرست جداول

جدول ۱-۱ : ترکیبات بارگذاری مورد استفاده در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲)..... ۱۳
جدول ۱-۲ : ضریب رفتار سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی بر اساس ویرایش سوم استاندارد۲۸۰۰ ، پیش نویس ویرایش چهـارم – استاندارد۲۸۰۰ و ASCE07-10..... ۱۶
جدول ۲-۱ : مقادیر R_y و R_t برای انواع تولیدات فولاد..... ۶۴

فصل ۱ طراحی اتصالات قاب‌های خمشی

- تحلیل و طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی
- طراحی لرزه‌ای اتصالات تیر به ستون در قاب های خمشی
- کنترل اعضای اتصالات تیر به ستون در قاب های خمشی
- وصله ستون‌ها و تیرها در قاب های خمشی ویژه و متوسط
- کف ستون‌ها

۱.۱ تحلیل و طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی

برای طراحی اتصالات، ابتدا باید مقاطع تیر و ستون توسط نرم‌افزار، طراحی و بهینه شوند. بنابراین لازم است برای بدست آوردن اطلاعات لازم جهت طراحی اتصالات ابتدا سازه‌ی موردنظر مدلسازی، تحلیل و طراحی شود. در تحلیل و طراحی نرم‌افزاری به موارد ذیل توجه گردد:

زمان تناوب تجربی سازه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ و با فرض عدم باربری میان‌قاب‌ها طبق رابطه (۱-۱) (قاب های خمشی فولادی) محاسبه می‌شود:

$$T = 0.08H^{\frac{3}{4}} \qquad (۱-۱)$$

بر اساس بند ۶-۱۱-۱۰ مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲)، اثرات زلزله طرح باید بر اساس سطح نهایی و ضریب رفتار مطابق آن محاسبه شوند. در صورت استفاده از ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ (بر مبنای تنش مجاز) ، لازم است نیروهای ناشی از زلزله در ضریب ۱/۴ ضرب شده و سپس در ترکیب بارهای موجود در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) استفاده شوند. به عبارت دیگر، در صورت استفاده از ضریب رفتار موجود در استاندارد ۲۸۰۰ یا آیین‌نامه‌های AISC (بعد از سال ۲۰۰۱ میلادی) (بر اساس روش تنش مجاز) آنگاه از ترکیبات بار مربوط به آیین‌نامه AISC قبل از سال ۲۰۰۰میلادی (AISC89) استفاده می شود و یا اینکه طراحی بر اساس ضریب زلزله مربوط به آیین‌نامه بارگذاری ASCE-07 انجام گیرد.

ترکیبات بارگذاری بر اساس روش تنش مجاز (ASD) و روش ضریب بار و مقاومت (LRFD) مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) در جدول ۱-۱ ارائه شده است.

بدلیل اینکه در ویرایش جدید مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) ضوابط طراحی ساختمان‌های فولادی فقط بر اساس **روش ضرایب بار و مقاومت** ارائه شده است بنابراین در این دستورالعمل علاوه بر روش تنش مجاز (ASD) ، ضوابط مربوط به **روش ضرایب بار و مقاومت** (LRFD) نیز ارائه شده است.

با توجه به اینکه روش تنش مجاز به عنوان سنتی‌ترین روش طراحی سازه‌های فولادی می باشد و هم اکنون نیز به همراه روش ضرایب بار و مقاومت در نسخه‌های جدید ضوابط طراحی ANSI/AISC ANSI/AISC (360-10 ، ANSI /AISC 341-10 ، ANSI/AISC 358-10 ، ANSI/AISC 358s1-11) مورد استفاده می‌باشد بنابراین در این دستورالعمل نیز ضوابط مربوط به هر دو روش ارائه شده است.

جدول ۱-۱ : ترکیبات بارگذاری مورد استفاده در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲)

روش تنش مجاز (ASD)	روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)
1) D	1) $1.4D$
2) $D + L$	2) $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
3) $D + (L_r \text{ or } S \text{ or } R)$	3) $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + [L \text{ or } 0.5(1.4W)$
4) $D + 0.75L + 0.75(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$	4) $1.2D + 1.0(1.4W) + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
5) $D + [0.6(1.4W) \text{ or } 0.7E]$	5) $1.2(D) + 1.0E + L + 0.2S$
6) $D + 0.75[0.6(1.4W)] + 0.75(L_r \text{ or } S \text{ or } R$	6) $0.9D + 1.0(1.4W)$
7) $D + 0.75L + 0.75(0.7E) + 0.75S$	7) $0.9D + 1.0E$
8) $0.6D + 0.6(1.4W)$	8) $1.2D + 0.5L + 0.5(L_r \text{ or } S) + 1.2T$
9) $0.6D + 0.7E$	9) $1.2D + 1.6L + 1.6(L_r \text{ or } S) + 1.0T$
10) $1.0D + 1.0T$	
11) $1.0D + 0.75[L + (L_r \text{ or } S) + T]$	

D: بار مرده

E: بار زلزله طرح

L: بار زنده طبقات به جز بام

L_r: بار زنده بام

R: بار باران

S: بار برف

T: بار خود کرنشی از قبیل اثرات تغییرات دما،نشست پایه‌ها و وارفتگی

W: بار باد

پس از تحلیل، بایستی کلیه کنترل‌های لازم در طراحی اجزای سازه‌ای فولادی مطابق الزامات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان انجام گیرد. برای این منظور، در مثال‌های فصل سوم کلیه کنترل‌های مورد نیاز انجام شده است.

۲.۱ طراحی لرزه ای اتصالات تیر به ستون در قاب های خمشی

کاربری ساختمان‌های مدارس باعث گردیده که تهیه و تدوین ضوابط طراحی اتصالات ساختمان‌ها با اهمیت زیاد و خیلی زیاد (در صورت نیاز) مورد نظر می‌باشد و همچنین ضوابط مربوط به اتصالات در قاب‌های خمشی ویژه برای قاب‌های خمشی متوسط قابل استفاده می‌باشند ولی علاوه بر آن ، در این مجموعه الزامات مورد نیاز در اتصالات قاب خمشی ویژه، متوسط و معمولی به صورت جداگانه نیز ارائه شده است. شایان ذکر است به علت

استفاده از ضوابط AISC و ASCE در تدوین مبحث دهم مقررات ملی ساختمان بنابراین در تدوین این مجموعه نیز از ضوابط مراجع مذکور نیز بهره گرفته شده است.

اصول طراحی اجزای قاب‌های خمشی لرزه‌ای مبتنی بر ظرفیت مقاطع آنها می باشد. به دلیل اهمیت قاب‌های خمشی ویژه باید قبل از طراحی و کنترل ضوابط، در طراحی این سیستم‌های مقاوم، اعضای شکل‌پذیر نظیر تیرها بر مبنای معیارهای شکل‌پذیری و متناسب با سایر اعضا از قبیل ستون‌ها و اتصالات طراحی شوند. هدف اصلی در طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی ویژه تأمین شکل‌پذیری مناسب و ضریب رفتار مورد استفاده در طراحی این نوع قاب‌ها (استاندارد۲۸۰۰–ویرایش سوم R=10 و ASCE07-10 مقدار R=8) می‌باشد. تیرها و ستون‌ها در طبقات مختلف بایستی با ضریب اطمینان کافی و نسبتاً اقتصادی انتخاب گردند. قابل ذکر است که در طراحی قاب‌های خمشی ویژه دو معیار سختی (تغییر مکان جانبی نسبی طبقات) و نسبت مقاومت خمشی ستون به تیر (ستون قوی–تیر ضعیف) معیارهای تعیین کننده در تعیین ابعاد مقاطع تیر و ستون می باشند. فرض اساسی در تحلیل لرزه‌ای قاب‌های خمشی صرفنظر نمودن از باربری جانبی میانقاب‌ها می‌باشد.

علاوه بر ضوابط بیان شده بایستی اصول و کلیات ذیل در طراحی قاب‌های خمشی ویژه مورد توجه قرار گیرند:

– تأمین ظرفیت تغییر شکل غیرالاستیک قابل ملاحظه از طریق ظرفیت تسلیم خمشی تیرها و حد تسلیم چشمه‌های اتصال در ستون‌ها

– طراحی ستون‌ها به منظور حصول حدود تسلیم و طراحی تیرها برای تامین سخت‌شدگی کرنشی (بجز در مواردی که مشخص شده است)

– اتصالات در قاب خمشی ویژه باید بگونه‌ای طراحی شوند که بدون کاهش قابل توجه در مقاومت، میزان دوران نظیر تغییرمکان جانبی نسبی طبقه در سازه حداقل به ۰/۰۴ رادیان برسد که حدود۰/۰۳ رادیان آن در محدود غیرارتجاعی باشد. این مقادیر در اتصالات قاب خمشی متوسط برای دوران نظیر تغییرمکان جانبی نسبی طبقه در سازه حداقل ۰/۰۲ رادیان است که حدود ۰/۰۱ رادیان آن در محدود غیرارتجاعی خواهد بود.

– با توجه به کاربری سازه و اهمیت قاب‌های خمشی ویژه و عملکرد اتصالات آن برای تامین شرایط شکل پذیری، لازم است عملکرد اتصالات خمشی بکار رفته در قاب‌های خمشی ویژه، از طریق انجام آزمایش توسط مراجع معتبر تایید شوند. در صورت عدم امکان انجام آزمایش‌ها، استفاده از اتصالات تایید شده از مراجع معتبر بلامانع می‌باشد.

– در طراحی اتصالات قاب‌های خمشی ویژه با توجه به اینکه تیر در محل اتصال تیر به ستون، عضو شکل‌پذیر و کنترل‌شونده نسبت به تغییرمکان است بنابراین به عنوان فیوز عمل می‌نماید و لنگر خمشی موجود در آن برابر Mp (لنگر پلاستیک تیر) بوده و از این حد فراتر نخواهد رفت. در نتیجه اجزای اتصالات تیر به ستون تابع مقدار

Mp تیر هستند. بنابراین اتصالات از اعضای کنترل‌شونده توسط نیرو خواهند بود که باید در محدوده الاستیک باقی بمانند و نیروهای موجود در آنها توسط اعضای شکل‌پذیر کنترل خواهد شد.

– در اتصالات تیر به ستون طراحی باید بگونه‌ای انجام گیرد که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک در فاصله‌ای محدود از بر ستون در داخل تیر فراهم شود. دو نوع روش برای این موضوع پیشنهاد می‌شود که شامل کاهش سطح مقطع تیر در فاصله ای محدود از بر ستون (RBS) و روش دوم تقویت اتصال تیر در وجه ستون است بگونه‌ای که در آن مقاومت خمشی اتصال در ناحیه تقویت شده بیشتر از حداکثر لنگر ایجاد شده در تیر باشد.

– تسلیم خمشی ستون‌ها در محل اتصال به فونداسیون مجاز می‌باشد.

– در خصوص تیرهای موجود در قاب‌های خمشی ویژه باید از تعبیه سوراخ‌های متوالی در جان تیرها اجتناب شود و در صورت ضرورت ایجاد سوراخ و دسترسی این سوراخ‌ها در منطقه یک سوم میانی (به دور از محل تشکیل مفاصل پلاستیک) قرار گرفته و تیرها در این نواحی به نحوی تقویت شوند که مقاومت برشی و خمشی تیر را تامین شده و از کلیه حالات شکست ترد اجتناب گردد.

– تشکیل مفصل پلاستیک در محل اتصال تیر به ستون و اجزای آن به هیچ وجه مجاز نمی‌باشد.

– در اتصالات جوشی تیر به ستون انتقال نیروی کششی یا فشاری ناشی از خمش تیر به وجه ستون منحصرا باید توسط جوش شیاری با نفوذی کامل انجام گیرد.

– در اتصالات تیر به ستون از طریق ورق انتهایی جوش شده به تیر و پیچ شده به ستون (اتصال گیردار فلنجی)، اتصال بال‌های تیر به ورق انتهایی باید از نوع جوش شیاری با نفوذی کامل باشد.

– برای اتصال جان تیر با ورق اتصال به بال ستون استفاده از جوش‌های نفوذی نسبی و یا گوشه برای ایجاد اتصال بین جان تیر و ورق اتصال مجاز می‌باشد.

– مهار جانبی و پیچشی در محل بال‌های فوقانی و تحتانی اتصال تیر به ستون از طریق کنترل فواصل مهارها، تعبیه مهارها و یا استفاده از ورق پیوستگی باید تامین گردد.

توجه : در کلیه روابط ارائه شده در این دستورالعمل – بجز در مواردی که مشخص شده است – نیرو بر اساس نیوتن و ابعاد بر اساس میلیمتر بوده است.

اصول طراحی ساختمان‌های فولادی با سیستم باربر جانبی لرزه‌ای قاب خمشی مبتنی بر ظرفیت مقاطع مورد استفاده است و مراحل آن به شرح ذیل می‌باشد:

۱.۲.۱ انتخاب سیستم قاب خمشی (ویژه، متوسط یا معمولی):

سه نوع قاب خمشی فولادی در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تعریف شده است که علاوه بر تفاوت در جزئیات طراحی (قاب خمشی ویژه و متوسط دارای جزئیات خاص برای تامین شکل‌پذیری می‌باشد ولی قاب خمشی معمولی فاقد جزئیات خاص برای تامین شکل‌پذیری است) و میزان اهمیت سازه، شرایط ساختگاهی (محدودیت

کاربرد هر نوع قاب خمشی بر اساس لرزه‌خیزی ساختگاه) و سازه‌ای (محدویت ارتفاع سازه) ، مقادیر مربوط به میزان شکل‌پذیری و قابلیت جذب انرژی آنها نیز متفاوت می‌باشد و طبق استاندارد۲۸۰۰ و ASCE07-10 ضریب رفتار این سه نوع به صورت جدول ۱-۲ می‌باشد:

جدول ۱-۲ : ضریب رفتار سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی بر اساس ویرایش سوم استاندارد۲۸۰۰ ، پیش نویس ویرایش چهارم – استاندارد۲۸۰۰ و ASCE07-10

سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی	ضریب رفتار در منابع مختلف		
	استاندارد۲۸۰۰-ویرایش سوم (بر اساس مقاومت)	پیش نویس استاندارد۲۸۰۰- ویرایش چهارم (بر اساس مقاومت)	ASCE07-10
قاب‌های خمشی ویژه	R=10	R=7.5	R=8
قاب‌های خمشی متوسط	R=7	R=5	R=4.5
قاب‌های خمشی معمولی	R=5	R=3.5	R=3.5

۲.۲.۱ انتخاب روش مناسب انتقال موقعیت مفصل پلاستیک از بر ستون

برای انتقال موقعیت مفصل پلاستیک از بر ستون در داخل تیر و خارج از اجزای اتصال دو نوع راهکار وجود دارد که عبارتند از:

الف– تقویت اتصال با استفاده از ورق‌های پوششی، تقویت با لچکی (سخت‌کننده)، تقویت با ایجاد ماهیچه یا تقویت با ورق‌های کناری و سایر روش های مناسب دیگر انجام می‌گیرد.

ب– کاهش مقطع تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک (RBS)[1] از طریق کاهش عرض بال در فاصله‌ای مشخص از بر ستون که باعث تشکیل مفصل خمیری بر روی مقطع تیر در محل اتصال دو عضو با ابعاد مختلف می‌شود.

انواع اتصالات گیردار خمشی از پیش تایید شده بر اساس AISC358-10 و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) و با هدف تعیین موقعیت مفصل پلاستیک، در فصل دوم این دستورالعمل معرفی شده است.

۳.۲.۱ طراحی لرزه‌ای اتصالات قاب‌های خمشی ویژه

اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی ویژه به عنوان بخشی از سیستم باربر لرزه‌ای سازه باید حداقل یکی از ضوابط ذیل را به منظور تامین ظرفیت دورانی منطبق با تغییرمکان جانبی نسبی طبقه به میزان حداقل 0.04 رادیان و مقاومت خمشی اتصال در بر ستون مساوی با حداقل $0.8M_p$ تامین نمایند؛

- اتصالات تیر به ستون مطابق فصل سوم این دستورالعمل و بخش ۱۰-۳-۱۳ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲)

[1] Reduced Beam Section

- اتصالات تیر به ستون معرفی شده در مراجع معتبر
- اتصالات تیر به ستون تایید شده از طریق انجام آزمایش‌های استاندارد

به منظور طراحی اتصالات در قاب‌های خمشی ویژه لازم است علاوه بر ضوابط مربوط به الزامات طراحی مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ضوابط لرزه‌ای بیان شده در بخش سوم مبحث دهم مقررات ملی ساختمان مطابق توضیحات بیان شده در این بخش در نظر گرفته شوند و علاوه بر آن دارای شرایط ذیل نیز باشند:

طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه بر اساس ضوابط بیان شده در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و این دستورالعمل باید امکان تامین ظرفیت تغییر شکل‌های قابل ملاحظه از طریق تسلیم خمشی تیرها و تسلیم موضعی ستون در ناحیه مشترک با چشمه‌های اتصال فراهم گردد.

ستون‌های طراحی شده در قاب‌های خمشی ویژه – بجز در مواردی که در این دستورالعمل مشخص شده است– باید قوی‌تر از حالت تسلیم و سخت‌شدگی کرنشی تیرها باشند.

طراحی اتصالات تیر به ستون شامل چشمه‌های اتصال و ورق‌های پیوستگی باید بر اساس اتصالات آزمایشگاهی تایید شده از طریق مراجع معتبر یا اتصالات معرفی شده در فصل سوم این دستورالعمل بوده باشند و همچنین ضوابط بیان شده در این بخش را تامین نمایند.

اتصالات تیر به ستون باید بگونه‌ای طراحی شوند که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک را در داخل تیر و خارج از اجزای اتصال فراهم نمایند.

بر اساس اتصالات معرفی شده در فصل سوم این دستورالعمل، در اتصالات جوشی تیر به ستون بایستی اتصال بال تیر یا ورق روسری و زیرسری آن به وجه ستون یا به ورق پیشانی (فلنجی)[1] پیچ شده به بال ستون منحصراً از نوع جوش شیاری با نفوذ کامل باشد.

بر اساس اتصالات معرفی شده در فصل سوم این دستورالعمل، برای اتصال جان تیر یا ورق اتصال جان به وجه ستون یا ورق انتهایی با رعایت ضوابط ارائه شده در این دستورالعمل، استفاده از جوش نفوذی نسبی یا جوش گوشه مجاز است.

۱.۳.۲.۱ مهاربندی جانبی تیرها

مهاربندی جانبی تیرها به منظور تامین الزامات مربوط به اعضا با شکل‌پذیری زیاد انجام می‌گیرد. برای این منظور سطح مقطع اعضای فولادی برای اعضا با شکل‌پذیری متوسط و زیاد باید دارای بال‌هایی با اتصال پیوسته به جان یا جان‌ها باشند. موقعیت مهار جانبی تیرها بر اساس نوع اتصالات تیر به ستون یا سایر شرایط نیروهای داخلی اعضای تیرها بر اساس نتایج آزمایش‌های تایید شده تعیین می‌شود. بنابراین علاوه بر مواردی که در آزمایشات مشخص می‌شود، مهاربندی جانبی تیرها باید در زیر بارهای متمرکز، سطح مقاطع تغییر یافته و سایر موقعیت‌ها که

[1] Flange

در آنها، تغییرشکل‌های غیرالاستیک منجر به تشکیل مفصل پلاستیک تشکیل شود، انجام می‌گیرد و همچنین موقعیت‌های مشخص شده در اتصالات از پیش تایید شده (فصل دوم این دستورالعمل) انجام گیرد.

مقاومت مورد نیاز مهار جانبی تیر در مجاورت مفاصل پلاستیک باید مطابق ضوابط ذیل انجام گیرد:

به منظور تامین مهاربندی جانبی در تیرهای سازه‌ای فولادی بایستی ضوابط ذیل تامین شود:

تامین مهار جانبی در هر دو بال فوقانی و تحتانی تیر یا تامین مهار پیچشی سطح مقطع عضو

مقاومت مورد نیاز مهاربندی جانبی هر بال تیر در مجاورت مفاصل پلاستیک باید مطابق رابطه (۱-۲) تامین گردد:

$$P_u = 0.06 R_y F_y Z / h_o \quad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)}$$
$$P_a = (0.06/1.5) R_y F_y Z / h_o \quad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۱-۲)$$

h_o: فاصله مرکز تا مرکز بال‌های تیر

مقاومت موردنیاز مهاربندی پیچشی در مجاورت مفاصل پلاستیک باید مطابق رابطه (۱-۳) تامین گردد:

$$M_u = 0.06 R_y F_y Z \quad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)}$$
$$M_a = (0.06/1.5) R_y F_y Z \quad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۱-۳)$$

سختی مورد نیاز جانبی مهاربندی باید کلیه الزامات مربوط به مهاربندی جانبی و پیچشی تیرها را تامین نماید و مقاومت خمشی مورد انتظار تیر به صورت رابطه (۱-۴) باشد:

$$M_r = M_u = R_y F_y Z \quad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)}$$
$$M_r = M_a = R_y F_y Z / 1.5 \quad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۱-۴)$$

به منظور تامین مهاربندی جانبی در تیرهای محاط شده با بتن باید ضوابط ذیل تامین گردد:

هر دو بال تیرها باید به طور جانبی مهار شوند یا اینکه سطح مقطع تیرها دارای مهار پیچشی باشند.

مقاومت مورد نیاز مهار جانبی در مجاورت محل مفصل پلاستیک باید دارای مقدار رابطه (۱-۵) باشد:

$$P_u = 0.06 M_{p,\exp} / h_o \quad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)}$$
$$P_a = (0.06/1.5) M_{p,\exp} / h_o \quad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۱-۵)$$

در این رابطه $M_{p,exp}$ لنگر خمشی پلاستیک مورد انتظار است که برای مقاطع تیرهای محاط شده با بتن بر اساس توزیع تنش پلاستیک یا کرنش متناظر با آن بدست می‌آید.

۲.۳.۲.۱ طراحی اتصالات تیر به ستون

طراحی اتصالات تیر به ستون باید بگونه‌ای انجام گیرد که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک در داخل تیر فراهم شود. برای این منظور می‌توان از انواع اتصالات معرفی شده در فصل دوم این دستورالعمل استفاده نمود. بنابراین کلیه اتصالات تیر به ستون باید نیروهای قائم و جانبی وارده را تحمل نمایند. با توجه به استفاده از اتصالات گیردار در طراحی قاب‌های خمشی بنابراین لازم است مقاومت خمشی و برشی مورد نیاز اتصالات تعیین شود. برای تعیین

مقاومت خمشی و برشی اتصالات باید اثرات ناشی از بارهای قائم و جانبی ناشی از زلزله در محل تشکیل مفصل پلاستیک تیرها تعیین شود.

برای تعیین مقاومت خمشی اتصالات تیر به ستون ضابطه خاصی وجود ندارد و باید کلیه الزامات مربوط به طراحی اعضای خمشی در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان در آنها رعایت شود.

در تعیین مقاومت برشی اتصالات تیر به ستون قاب‌های خمشی ویژه تحت اثر بارهای لرزه‌ای، باید علاوه بر در نظر گرفتن نیروهای برشی ناشی از بارهای قائم و جانبی، نیروی برشی اضافی ناشی از ایجاد لنگرهای خمشی مورد انتظار در مفاصل پلاستیک دو انتهای تیر در محاسبات در نظر گرفته شود. به عبارت دیگر، مقاومت برشی مورد نیاز تیرها باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریب دار که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و اثرات لرزه‌ای ناشی از لنگر خمشی $M_{pr}=C_{pr}R_yM_p$ در محل‌های تشکیل مفصل پلاستیک (در دو انتهای تیر) تعیین شود. در این رابطه M_p لنگر خمشی پلاستیک مقطع تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک، R_y نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین‌شده مصالح تیر و C_{pr} ضریبی است که شامل اثرات ناشی از مقاومت اتصال، سخت‌شدگی کرنشی، قیدهای موضعی و ملحقات موجود و سایر عوامل تاثیرگذار در افزایش مقاومت اتصال تیر به ستون است و برای محاسبه حداکثر نیروی ایجاد شده در اعضا و اجزای اتصال بکار گرفته می‌شود. مقدار این ضریب بجز در مواردی‌که در فصل دوم این دستورالعمل مشخص شده است (اتصال گیردار تقویت نشده جوشی‌WUF-W) از رابطه (۱-۶) محاسبه می‌گردد:

$$1.1 \le C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \le 1.2 \qquad (۱-۶)$$

در این رابطه F_y تنش تسلیم فولاد تیر و F_u تنش کششی نهایی فولاد تیر می‌باشند.

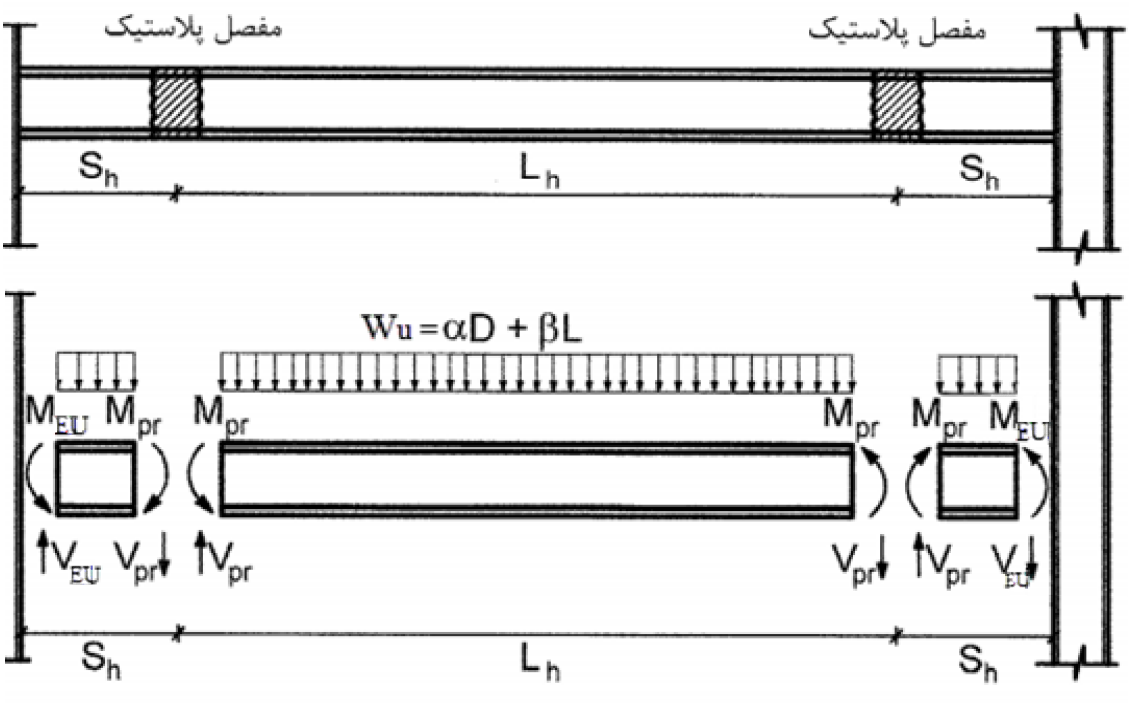
توجه: در اتصال گیردار تقویت نشده جوشی (WUF-W) –که در فصل دوم معرفی شده است– مقدار C_{pr} برابر ۱/۴ در نظر گرفته می‌شود.

مقاومت برشی (V_{ES} , V_{EU}) و خمشی (M_{ES} , M_{EU}) مورد نیاز طراحی اتصالات تیر به ستون بر اساس الزامات طراحی مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و مطابق روابط (۱-۷) ، (۱-۸) و شکل ۱-۱ و بر اساس نیروی برشی و لنگر خمشی مورد انتظار بر ستون محاسبه می‌گردد؛

$$V_{EU} = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_u + W_u S_h$$

$$M_{EU} = M_{pr} + (V_{pr} + V_u)S_h + W_u \frac{S_h^{\,2}}{2} \qquad (۱-۷)$$

روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

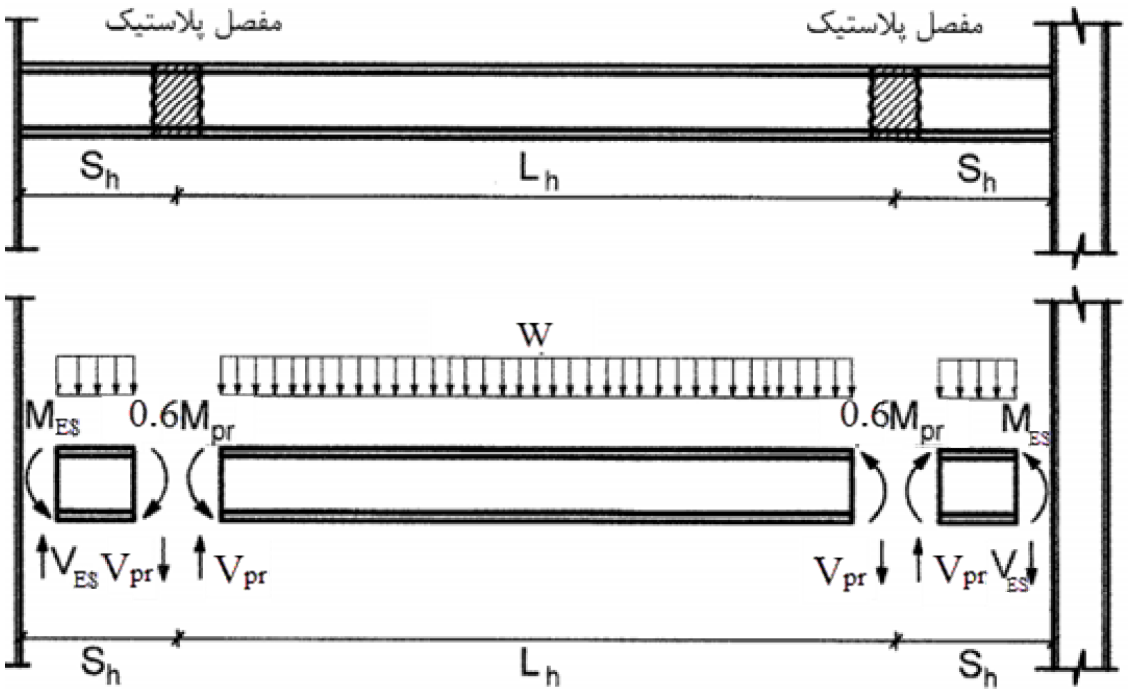


(الف) روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

$$V_{ES} = \frac{2(0.6M_{pr})}{L_h} + V + WS_h$$

روش تنش مجاز (ASD) (۱-۸)

$$M_{ES} = 0.6M_{pr} + (V_{pr} + V)S_h + W\frac{S_h^2}{2}$$



(ب) روش تنش مجاز

شکل ۱-۱ : برش و خمش طراحی تیرها در قاب های خمشی ویژه بر اساس روش حالات حدی و روش تنش مجاز

در این روابط ؛

V_{EU}: مقاومت برشی مورد نیاز طراحی اتصالات تیر به ستون بر اساس روش ضرایب بار و مقاومت

V_{ES}: مقاومت برشی مورد نیاز طراحی اتصالات تیر به ستون بر اساس روش تنش مجاز

M_{EU}: مقاومت خمشی مورد نیاز طراحی اتصالات تیر به ستون بر اساس روش ضرایب بار و مقاومت

M_{ES}: مقاومت خمشی مورد نیاز طراحی اتصالات تیر به ستون بر اساس روش تنش مجاز

توجه: نیروی برشی موردانتظار (مقاومت برشی مورد نیاز) توسط اعضای شکل‌پذیر ایجاد شده و به دلیل تشکیل مفصل پلاستیک برشی برای نیروهای سطح بهره‌برداری[1]بوجود می‌آید.

M_{pr}: لنگر خمشی پلاستیک در محل مفصل پلاستیک ($M_{pr}=C_{pr}R_yM_p$)

L_h : فاصله بین محل تشکیل مفصل پلاستیک در دو سر دهانه تیر

W_u : بار ثقلی بر واحد طول برای حالت ضریب‌دار

W : بار ثقلی بر واحد طول برای حالت بدون ضریب

V_{pr} : مقاومت برشی ناشی از ایجاد لنگرهای خمشی مورد انتظار در مفاصل پلاستیک دو انتهای تیر

V_u : نیروی برشی در محل مفصل پلاستیک فقط ناشی از بار قائم ضریب دار در طول L_h

V : نیروی برشی در محل مفصل پلاستیک فقط ناشی از بار قائم بدون ضریب در طول L_h

S_h : فاصله تشکیل مفصل پلاستیک از بر ستون

یادآوری: لنگر خمشی موجود در اتصال توسط یک زوج نیرو به صورت کشش در ورق فوقانی و فشار در ورق تحتانی و بالعکس به بال ستون منتقل می‌شود. انتقال نیروی برشی تیر به ستون توسط ورق یا نبشی متصل به جان تیر و بال ستون تامین می‌گردد.

توجه: ورق های فوقانی و تحتانی توسط جوش شیاری با نفوذ کامل به بال ستون (بستر اتصال) و به کمک جوش گوشه یا پیچ به بال‌های تیر متصل می‌شوند. ورق‌های فوقانی و تحتانی به ترتیب براساس نیروهای کششی، فشاری و نبشی یا ورق اتصال جان بر اساس نیروی برشی موجود در آنها طراحی می‌شوند.

۳.۳.۲.۱ مهاربندی جانبی اتصال تیر به ستون

به منظور جلوگیری از کمانش پیچشی ستون لازم است اتصال در صفحه افقی در مقابل پیچش ستون مهار گردد. برای این منظور دو حالت ذیل در نظر گرفته می‌شود:

[1] سطح بهره‌برداری سطحی از باربری است که در آن مقطع عضو تنش‌های ناشی از تلاش‌های خمشی، برشی و محوری و یا ترکیب آنها را با اعمال ضریب اطمینان کافی تحمل می‌نماید و در آستانه تسلیم قرار می‌گیرد.

۱.۳.۳.۲.۱ اتصالات با مهاربندی :

درصورتیکه جان تیرها و ستون در یک صفحه باشند و رفتار ستون در خارج از ناحیه چشمه اتصال در حالت الاستیک باقی بماند آنگاه تامین مهاربندی جانبی پایدار بال‌های ستون در اتصالات تیر به ستون فقط برای بال‌های فوقانی تیرها کافی می‌باشد. همچنین فرض رفتار الاستیک ستون با شرط $\frac{\sum M^*_{pc}}{\sum M^*_{pb}} \geq 2.0$ قابل قبول خواهد بود.

در صورت عدم برقراری رفتار الاستیک ستون در خارج از ناحیه چشمه اتصال ، بایستی الزامات ذیل برقرار گردد:

تامین مهار جانبی بال ستون در تراز موقعیت بال‌های فوقانی و تحتانی تیرها به طور مستقیم و غیرمستقیم همانند الزامی است.

یادآوری ۱: تامین مستقیم مهارجانبی بال ستون از طریق مهار عضو مورد نظر یا سایر اعضای متصل به بال ستون نظیر تیرچه یا دال در مجاورت محل مهار جانبی و به منظور تامین کمانش جانبی برقرار می‌گردد. همچنین تامین غیرمستقیم مهار جانبی از طریق سختی اعضا و اتصالات و از طریق جان ستون یا ورق‌های سخت‌کننده که به طور مستقیم به بال‌های ستون متصل نشده‌اند تامین می‌شود.

یادآوری ۲: طراحی مهارهای بال مقطع باید برای مقاومت مورد نیاز برابر با 2% مقاومت موجود بال تیر معادل $F_y b_f t_{bf}$ در روش ضرایب بار و مقاومت و $F_y b_f t_{bf}/1.5$ در روش تنش مجاز خواهد بود.

۲.۳.۳.۲.۱ اتصالات بدون مهاربندی:

تامین مستقیم مهارجانبی بال ستون از طریق مهار عضو مورد نظر یا از طریق سایر اعضای متصل به بال ستون نظیر تیرچه یا دال در مجاورت محل مهار جانبی و به منظور جلوگیری از کمانش جانبی برقرار می‌گردد. همچنین تامین غیرمستقیم مهار جانبی با افزایش سختی اعضا و اتصالات و از طریق جان ستون یا ورق‌های سخت‌کننده – که به طور مستقیم به بال‌های ستون متصل نشده‌اند– فراهم می‌گردد.

مقاومت طراحی مورد نیاز ستون باید از طریق ترکیبات بارگذاری شامل زلزله تشدید یافته و بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان مشخص شود. در تعیین ضریب تشدید بار لرزه‌ای ناشی از تاثیر اضافه مقاومت نیروهای افقی جانبی (E_{mh}) نباید از 125% مقاومت موجود قاب بر اساس مقاومت خمشی موجود تیرها یا مقاومت برشی موجود چشمه اتصال بیشتر باشد.

معیار لاغری (L/r) برای ستون نباید از مقدار 60 بیشتر شود. (که در آن L ارتفاع ستون بین مهارهای جانبی مجاور با امکان کمانش جانبی و r شعاع ژیراسیون بحرانی است.)

مقاومت خمشی جانبی مورد نیاز ستون در قاب باربر جانبی باید شامل لنگر خمشی ناشی از کاربرد نیروی بال تیر مربوط به ضوابط مهار جانبی اتصالات تیر به ستون در اتصالات با مهارجانبی و بدون مهارجانبی و لنگر خمشی مرتبه دوم به دلیل وجود جابجایی جانبی بال ستون باشد.

۴.۳.۲.۱ تیر ضعیف – ستون قوی

در آیین‌نامه‌های طراحی، کلیه اتصالات خمشی تیر به ستون جزئی از سیستم باربر جانبی لرزه‌ای در نظر گرفته شده‌اند و لازم است مقاومت خمشی ستون‌های متصل به گره (ستون قوی) با توجه به اثر کاهنده نیروی فشاری از مقاومت خمشی تیرهای اتصال (تیر ضعیف) بیشتر باشد. کاربرد ستون قوی– تیر ضعیف به طور مجزا و در امتداد هر یک از محورهای اصلی در قاب‌های خمشی ویژه الزامی و در قاب‌های خمشی متوسط تاکید شده است. بنابراین برای کلیه گره‌های اتصالات خمشی تیر به ستون در قاب‌های خمشی ویژه ظرفیت خمشی ستون‌ها و تیرها باید چنان تعیین گردد که رابطه (۱-۹) برقرار گردد:

$$\frac{\sum M^*_{pc}}{\sum M^*_{pb}} \geq 1.0 \qquad (۱-۹)$$

$\sum M^*_{pc}$: مجموع لنگرهای خمشی پلاستیک ستون‌های بالا و پایین گره اتصال است که در محل تقاطع محورهای ستون‌ها و تیرها وجود دارند. این لنگرها برابر با ظرفیت خمشی پلاستیک ستون‌ها در نظر گرفته شده و مقدار آنها با توجه به نیروهای محوری موجود در ستون‌ها از (۱-۱۰) محاسبه می‌شوند:

$$\sum M^*_{pc} = \sum Z_c \left(F_{yc} - \frac{P_{uc}}{A_g} \right) \qquad \text{روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)}$$

$$\sum M^*_{pc} = \sum Z_c \left(F_{yc} - \frac{1.5P_{ac}}{A_g} \right) \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۱-۱۰)$$

$\sum M^*_{pb}$: مجموع تصاویر لنگرهای خمشی تیرها در گره اتصال که در محل تقاطع محورهای ستون‌ها و تیرها نسبت به راستای مورد نظر می‌باشند(رابطه (۱-۱۱)). این لنگرهای خمشی باید با درنظر گرفتن شرایط تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریبدار(M_{uv} و M_{av}) که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و اثرات لرزه‌ای ناشی از لنگر خمشی $M_{pr}=C_{pr}R_{yb}M_{pb}$ (لنگرهای مورد انتظار) در محل تشکیل مفصل پلاستیک نسبت به محور ستون تعیین می‌شوند.

$$\sum M^*_{pb} = \sum \left(M_{pr} + M_{uv} \right) \qquad \text{روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)}$$

$$\sum M^*_{pb} = \sum \left(M_{pr} + 1.5M_{av} \right) \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۱-۱۱)$$

توجه: نحوه محاسبه مقدار $\sum M^*_{pb}$ بر اساس نوع اتصال تیر به ستون ممکن است تغییر یابد. برای اتصال تیر به ستون با مقطع تیر کاهش یافته (RBS) می‌توان از رابطه (۱-۱۲) استفاده نمود:

$$\sum M^*_{pb} = \sum \left(M_{pr(RBS)} + M_{uv} \right) \quad \text{روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)}$$

$$\sum M^*_{pb} = \sum \left(M_{pr(RBS)} + 1.5 M_{av} \right) \quad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۱-۱۲)$$

در این روابط:

Z_c: اساس مقطع پلاستیک ستون

F_{yc} : تنش تسلیم فولاد ستون

P_{uc} و P_{ac} :مقاومت فشاری مورد نیاز ستون حاصل از ترکیبات بار زلزله تشدید یافته به ترتیب برای روش LRFD و ASD

M_{pb} :لنگر خمشی پلاستیک تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک است و مطابق رابطه (۱-۱۳) بدست می-آید:

$$M_{pb} = F_{yb} Z_b \quad \text{برای مقطع تیر}$$

$$M_{pb} = F_{yb} Z_{b(RBS)} \quad \text{برای مقطع کاهش یافته تیر} \qquad (۱-۱۳)$$

F_{yc} : تنش تسلیم فولاد تیر

$Z_{b(RBS)}$: حداقل اساس مقطع پلاستیک مربوط به مقطع کاهش یافته تیر

M_{uv}، M_{av}: لنگر اضافی ناشی از نیروی برشی موجود در مفصل پلاستیک نسبت به محور ستون به ترتیب برای روش تنش مجاز و حالات حدی

C_{pr} : ضریبی است که در ۱.۳.۲.۱ معرفی شده است.

تبصره: در ستون‌هایی که حداقل یکی از شروط ذیل را تامین می‌نمایند، لزومی برای برقراری رابطه $\frac{\sum M^*_{pc}}{\sum M^*_{pb}} \geq 1$ برای اتصالات تیر به ستون در آنها وجود ندارد:

۱- ستون‌هایی که در آنها رابطه (۱-۱۴) در کلیه ترکیبات بارهای متعارف (بجز ترکیب بار زلزله تشدید یافته) برقرار بوده و شرایط (الف) و (ب) را دارا باشند:

$$P_{rc} < 0.3 P_c \qquad (۱-۱۴)$$

در این رابطه P_{rc} مقاومت فشاری مورد نیاز و P_c مقاومت فشاری اسمی است و بر اساس رابطه (۱-۱۵) بدست می‌آید؛

$$P_c = F_{yc} A_g \quad \text{روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)}$$
$$P_c = F_{yc} A_g / 1.5 \quad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۱۵-۱)$$

بنابراین برای روش LRFD ، $P_{rc}=P_{uc}$ و برای روش ASD ، $P_{rc}=P_{ac}$ خواهد بود.

الف– ستون‌های ساختمان‌های یک طبقه و ستون‌های طبقه آخر ساختمان‌های چند طبقه

ب– تعدادی از ستون‌های هر طبقه که مجموع مقاومت برشی طراحی آنها کمتر از ۲۰٪ کل مقاومت برشی طراحی ستون‌های آن طبقه و مجموع مقاومت برشی طراحی ستون‌هایی که بر روی یک محور قرار دارند کمتر از ۳۳٪ کل مقاومت برشی طراحی ستون‌های آن محور باشد.

توجه: محور ستون به محور یا محورهای موازی اطلاق می‌شود که در فاصله کمتر از ۱۰٪ بعد پلان طبقه، در جهت عمود بر محور مذکور از یکدیگر قرار گرفته باشند.

۲– ستون‌های هر طبقه که در آن نسبت مجموع مقاومت برشی طراحی ستون‌ها به مجموع مقاومت برشی مورد نیاز ستون‌ها در آن طبقه ۵۰٪ بیشتر از این نسبت در طبقه فوقانی آن باشد.

۵.۳.۲.۱ طراحی برای برش

اتصال تیر به ستون باید برای برش مورد انتظار که در بر ستون ایجاد می‌شود، طراحی گردد. مقاومت برشی مورد نیاز اتصال باید بر اساس ترکیبات بارگذاری مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و بارهای زلزله تشدید یافته مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تامین گردد. برای این منظور، ضریب تشدید بار زلزله (E_{mh}) شامل اضافه مقاومت و نیروهای افقی به صورت رابطه (۱-۱۶) تعریف می‌گردد:

$$E_{mh} = 2\left(1.1 R_y M_p\right) / L_h \qquad (۱۶-۱)$$

در این رابطه؛

L_h : فاصله بین محل تشکیل مفاصل پلاستیک در دو سر دهانه تیر

M_p : مقاومت خمشی اسمی پلاستیک مقطع

R_y : نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده (مطابق بخش ۱۰–۳–۲–۳ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ۱۳۹۲)

استثنا : در صورتیکه مقاومت برشی مورد نیاز از ضوابط فصل دوم این دستورالعمل یا از نتایج آزمایش‌های مورد تایید بر اساس ضوابط استانداردهای معتبر یا بر اساس ضوابط استانداردها و آیین‌نامه‌های معتبر تعیین شده باشد آنگاه نیازی به استفاده از رابطه (۱-۱۶) نمی‌باشد.

۱.۵.۳.۲.۱ چشمه اتصال

چشمه اتصال ناحیه‌ای از جان یا جان‌های ستون محصور بین امتداد بال‌های فوقانی و تحتانی و یا ورق‌های زیرسری و روسری (با توجه به نوع اتصال) تیرهای دو وجه ستون و بال‌های ستون می‌باشد. چشمه اتصال به طور همزمان تحت اثر لنگر خمشی، نیروهای محوری و برشی از طرف تیر و ستون قرار دارد.

برش در چشمه اتصال

در قاب‌های خمشی ویژه، چشمه اتصال تیر به ستون در امتداد جان ستون تحت اثر نیروی برشی شدیدی (برخی مواقع چندین برابر برش ستون) قرار دارد بنابراین علاوه بر تامین کلیه الزامات طراحی موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان بایستی چشمه اتصال در این قاب‌ها برای برش ناشی از نیروهای کششی و فشاری موجود در بال‌های تیرهای طرفین ستون طراحی شود (شکل ۱-۲). مقاومت برشی مورد نیاز چشمه اتصال باید از مجموع لنگرهای خمشی بر ستون ناشی از لنگرهای خمشی مورد انتظار در مفصل پلاستیک بدست آید. برای این منظور جان مقاطع محصور در ناحیه چشمه اتصال باید ظرفیت نیروی $\sum R_u$ در روش ضرایب بار و مقاومت و یا نیروی $\sum R_a$ در روش تنش مجاز مطابق شکل ۱-۲ در امتداد جان ستون و راستای طولی عضو متصل تحمل نماید. این مقادیر نیرو بایستی بیشتر از مقاومت موجود ϕR_n (در روش ضرایب بار و مقاومت) و R_n/Ω (در روش تنش مجاز) باشد. بنابراین نیروی برش طراحی به صورت رابطه (۱-۱۷) محاسبه می‌شود:

$$\sum R_u = \frac{M_{u1}}{d_{m1}} + \frac{M_{u2}}{d_{m2}} - V_u \qquad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)}$$

$$\sum R_a = \frac{M_{a1}}{d_{m1}} + \frac{M_{a2}}{d_{m2}} - V_a \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۱-۱۷)$$

در این روابط؛

M_{u1} : مجموع لنگرهای خمشی بر اثر بارهای جانبی ضریب‌دار (M_{u1L}) و بارهای ثقلی ضریب‌دار (M_{u1G}) در یک طرف اتصال که جهت لنگرخمشی ناشی از بارهای ثقلی ضریب‌دار و بارهای جانبی ضریبدار هم‌راستا هستند. ($M_{u1}=M_{u1L}+M_{u1G}$)

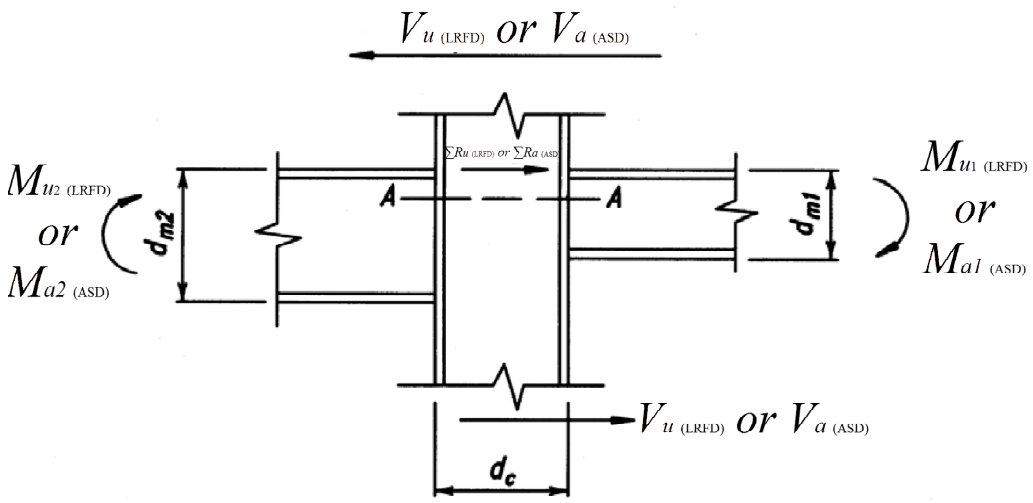
M_{u2} : اختلاف بین لنگرهای خمشی بر اثر بارهای جانبی ضریب‌دار (M_{u1L}) و بارهای ثقلی ضریب‌دار (M_{u1G}) در یک طرف اتصال که جهت لنگرخمشی ناشی از بارهای ثقلی ضریب‌دار و بارهای جانبی ضریب‌دار مخالف جهت هستند. ($M_{u2}=M_{u2L}-M_{u2G}$)

d_{m1} و d_{m2}: فاصله بین نیروها در بال‌های فوقانی و تحتانی بال تیرهای اتصال (ارتفاع کل مقطع تیر های اتصال) به ترتیب در سمت راست و چپ اتصال

توجه: بر اساس تجربیات و به طور محافظه‌کارانه مقدار d_m برابر 0.95 عمق تیر در هر طرف ستون در نظر گرفته می‌شود.

M_{a1} : مجموع لنگرهای خمشی بر اثر بارهای جانبی اسمی (M_{a1L}) و بارهای ثقلی ضریب‌دار (M_{a1G}) در یک طرف اتصال که جهت لنگرخمشی ناشی از بارهای ثقلی ضریب‌دار و بارهای جانبی ضریب‌دار هم‌راستا هستند. ($M_{a1}=M_{a1L}+ M_{a1G}$)

M_{a2} : اختلاف بین لنگرهای خمشی بر اثر بارهای جانبی ضریب‌دار (M_{a1L}) و بارهای ثقلی ضریب‌دار (M_{a1G}) در یک طرف اتصال که جهت لنگرخمشی ناشی از بارهای ثقلی ضریب‌دار و بارهای جانبی ضریب‌دار مخالف جهت هستند.($M_{a2}=M_{a2L}- M_{a2G}$)



شکل ۱-۲ : نیروی برشی طراحی چشمه اتصال

توجه: در ناحیه چشمه اتصال مقاطع ساخته شده از ورق، جوش اتصال جان (یا جان‌های) ستون به بال ستون باید برای نیروی برشی چشمه اتصال طراحی شود. برای این منظور طول اتصال جوشی برابر مجموع عمق تیر و ستون در ناحیه فوقانی و تحتانی ورق‌های پیوستگی در نظر گرفته می‌شود.

۲.۵.۳.۲.۱ مقاومت برشی طراحی

مقاومت برشی موجود چشمه اتصال (R_n) بر اساس حالات حدی تسلیم برشی بدست می‌آید. مقاومت برشی طراحی برای چشمه اتصال در روش ضرایب بار و مقاومت برابر $\phi_v R_n$ و در روش تنش مجاز R_n/Ω می باشد که R_n مقاومت برشی اسمی بر اساس حالت حدی تسلیم برشی و مطابق روابط (۱-۱۸) تا (۱-۲۱) و با در نظر گرفتن حالات ذیل محاسبه می‌گردد:

(الف) در حالتی‌که تغییرشکل چشمه اتصال بر پایداری قاب تاثیر نداشته و در تحلیل سازه در نظر گرفته نشود:

(۱-۱۸)

روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

$$P_r \le 0.4P_c \qquad R_u = \phi_v R_n \Rightarrow R_u = \phi_v (0.6F_y d_c t_W) \qquad (\phi_v = 0.9)$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$R_u = R_n / \Omega \Rightarrow R_u = (0.6F_y d_c t_W) / \Omega \qquad (\Omega = 1.67)$$

(۱۹-۱)

روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

$$R_u = \phi_v R_n \Rightarrow R_u = \phi_v \left(0.6F_y d_c t_W \left(1.4 - \frac{P_r}{P_c} \right) \right) \qquad (\phi_v = 0.9)$$

$P_r > 0.4P_c$

روش تنش مجاز (ASD)

$$R_u = R_n / \Omega \Rightarrow R_u = \left(0.6F_y d_c t_W \left(1.4 - \frac{P_r}{P_c} \right) \right) / \Omega \qquad (\Omega = 1.67)$$

توجه : رابطه (۱-۱۸) و (۱-۱۹) رفتار چشمه اتصال را به حالت الاستیک محدود نموده است. در حالت واقعی، چشمه‌های اتصال دارای ظرفیت تحمل بیشتر از تسلیم برشی می‌باشند و تغییرشکل‌های متناظر با این ظرفیت ممکن است دارای اثرات کاهنده بر روی مقاومت و پایداری قاب یا طبقه باشد. تسلیم برشی چشمه اتصال بر روی سختی قاب نیز تاثیرگذار است و بنابراین اثرات تحلیل مرتبه دوم قابل ملاحظه خواهد بود.

(ب) در حالتی‌که تأثیر تغییرشکل چشمه اتصال بر پایداری قاب تاثیر داشته و در تحلیل سازه در نظر گرفته شود:

(۱-۲۰)

روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

$$R_u = \phi_v R_n \Rightarrow R_u = \phi_v \left(\left(0.6F_y d_c t_W \left(1 + \frac{3b_{cf} t^2_{cf}}{d_b d_c t_W} \right) \right) \right) \qquad (\phi_v = 0.9)$$

$P_r \le 0.75P_c$

روش تنش مجاز (ASD)

$$R_u = R_n / \Omega \Rightarrow R_u = \left(\left(0.6F_y d_c t_W \left(1 + \frac{3b_{cf} t^2_{cf}}{d_b d_c t_W} \right) \right) \right) / \Omega \qquad (\Omega = 1.67)$$

(۱-۲۱)

روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

$$R_u = \phi_v R_n \Rightarrow R_u = \phi_v \left(0.6F_y d_c t_W \left(1 + \frac{3b_{cf} t^2_{cf}}{d_b d_c t_W} \right) \left(1.9 - \frac{1.2P_r}{P_c} \right) \right) \qquad (\phi_v = 0.9)$$

$P_r > 0.75P_c$

روش تنش مجاز (ASD)

$$R_u = R_n / \Omega \Rightarrow R_u = \left(0.6F_y d_c t_W \left(1 + \frac{3b_{cf} t^2_{cf}}{d_b d_c t_W} \right) \left(1.9 - \frac{1.2P_r}{P_c} \right) \right) / \Omega \qquad (\Omega = 1.67)$$

که در این روابط؛

A_g : سطح مقطع کل عضو

b_{cf} : عرض بال ستون

t_{cf} : ضخامت بال ستون

d_b : ارتفاع کل مقطع تیر (یا فاصله ورق‌های پوششی اتصال بال‌های تیر به ستون)

d_c : ارتفاع کل مقطع ستون در جهت اثر برش

F_y : تنش تسلیم مشخصه جان فولاد ستون

P_c : نیروی محوری ستون است که برای روش ضرایب بار و مقاومت P_y و روش تنش مجاز $0.6P_y$ می‌باشد که P_y نیروی محوری تسلیم ستون و برابر است با F_yA_g.

P_r : مقاومت محوری مورد نیاز بر اساس ترکیبات بار روش ضرایب بار و مقاومت یا تنش مجاز

t_{cf} : ضخامت بال ستون

t_w : ضخامت جان ستون

توجه: ضریب $\left(1+\frac{3b_{cf}t^2_{cf}}{d_b d_c t_W}\right)$ به عنوان اضافه مقاومت برشی رفتار غیرالاستیک در ساختگاه با خطر لرزه خیزی زیاد (High) و به منظور تامین شکل‌پذیری کافی و تغییرشکل‌های فراارتجاعی چشمه اتصال و افزایش مقاومت اعضای متصل به چشمه اتصال استفاده شده است.

تبصره: در صورتی‌که رابطه $\sum R_u \le \phi_v R_n$ برای روش ضرایب بار و مقاومت یا رابطه $\sum R_a \le R_n/\Omega$ برای روش تنش مجاز در چشمه اتصال برقرار باشد یا اینکه ضخامت مورد نیاز چشمه اتصال از ضخامت موجود جان ستون کمتر باشد آنگاه نیازی به استفاده از ورق پیوستگی و مضاعف وجود ندارد.

۳.۵.۳.۲.۱ ضخامت چشمه اتصال

ضخامت هر یک از جان (یا جان‌های) ستون و ورق‌های مضاعف چشمه اتصال به منظور کنترل پایداری ورق-های چشمه اتصال باید مطابق رابطه (۱-۲۲) باشند:

$$t_Z \ge \frac{(d_z + W_z)}{90} \qquad (۱-۲۲)$$

در این رابطه؛

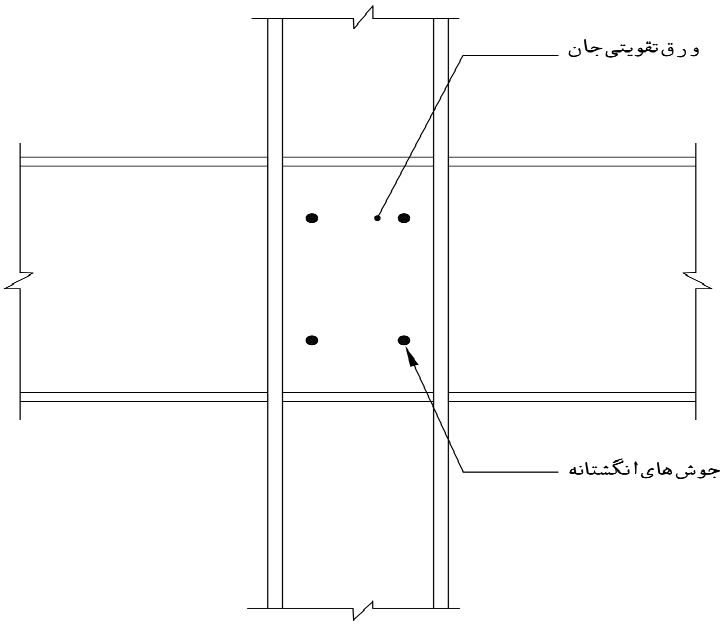
t_z: ضخامت جان (یا هر یک از جان‌های) ستون یا هر یک از ورق‌های تقویت (مضاعف) چشمه اتصال

d_z: عمق چشمه اتصال و برابر با ($d-2t_f$) مربوط به فاصله تیر عمیق تر در محل اتصال (فاصله آزاد بین ورق-های پیوستگی)

W_z : عرض چشمه اتصال بین بال‌های ستون (فاصله آزاد بین بال‌های ستون)

توجه: در صورتی که به منظور جلوگیری از کمانش موضعی جان ستون و ورق‌های مضاعف چشمه اتصال، از جوش‌های انگشتانه استفاده شده باشد آنگاه در هر بخش از ورق مضاعف (بین جوش‌های انگشتانه) بایستی در

رابطه(۱-۲۲)، t_z مجموع ضخامت جان ستون و ورق‌های تقویتی چشمه اتصال (ورق مضاعف) در نظر گرفته شود و رابطه مذکور از طریق حداقل تعداد چهار جوش انگشتانه برقرار گردد (شکل ۱-۳) .



شکل ۱-۳ : اتصال ورق‌های مضاعف از طریق جوش‌های انگشتانه در ناحیه چشمه اتصال

۴.۵.۳.۲.۱ ورق‌های پیوستگی

به دلیل وجود نیروهای کششی و فشاری ناشی از تیر در موقعیت مقابل بال‌های تیر یا ورق پوششی اتصال بال‌های فوقانی و تحتانی تیر متصل به ستون باید از ورق‌های پیوستگی (سخت‌کننده‌های عرضی) استفاده نمود.

ورق‌های پیوستگی (سخت‌کننده‌های عرضی) باید علاوه بر تامین الزامات طراحی بخش ۱۰-۲-۹-۱۰ در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باید موارد ذیل نیز در استفاده از آنها لحاظ گردد.

کاربرد ورق‌های پیوستگی در موارد ذیل ضروری نمی‌باشد:

عدم ضرورت کاربرد ورق پیوستگی از طریق انجام تحلیل اتصال تیر به ستون تحت اثر نیروهای وارده بر اتصال مشخص شود که بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان یا سایر مراجع معتبر یا از طریق انجام آزمایشات با شرایط تایید شده مشخص گردد.

در صورتی‌که در ستون‌های با مقطع بال پهن یا I شکل ساخته شده از ورق، حداقل ضخامت بال ستون، بزرگ‌تر از مقادیر روابط (۱-۲۳) و (۱-۲۴) باشد آنگاه کاربرد ورق‌های پیوستگی در چشمه اتصال ضروری نیست.

$$t_{cf} \geq 0.4\sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yb} F_{yb}}} \qquad (۱-۲۳)$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \qquad (۱-۲۴)$$

در این روابط؛

F_{yb}: حداقل تنش تسلیم مصالح بال تیر

F_{yc}: حداقل تنش تسلیم مصالح بال ستون

R_{yb}: نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده مصالح تیر

R_{yc}: نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده مصالح ستون

b_{bf}: عرض بال تیر

t_{bf}: ضخامت بال تیر

t_{cf}: حداقل ضخامت بال ستون (بدون نیاز به ورق پیوستگی)

در صورتی‌که در ستون‌های با مقطع I شکل در داخل ستون جعبه‌ای ، حداقل ضخامت بال ستون بزرگ‌تر از مقادیر روابط (۱-۲۵) و (۱-۲۶) باشد آنگاه کاربرد ورق‌های پیوستگی در چشمه اتصال ضروری نیست.

$$t_{cf} \geq 0.4\sqrt{\left[1-\frac{b_{bf}}{b_{cf}^2}\left(b_{cf}-\frac{b_{bf}}{4}\right)\right]1.8 b_{bf} t_{bf}\,\frac{F_{yb}R_{yb}}{F_{yc}R_{yc}}} \qquad (۱-۲۵)$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{12} \qquad (۱-۲۶)$$

کاربرد ورق‌های پیوستگی در اتصالات پیچی مطابق ضوابط و جزئیات ارائه شده در فصل دوم این دستورالعمل انجام می‌گیرد.

(ب) طول ورق‌ها باید برابر با فاصله خالص دو بال ستون باشد.

ضخامت ورق‌ها باید از ضخامت بال یا ورق پوششی اتصال بال تیرهای دو طرف کمتر نباشد. (ضخامت آنها حداقل برابر ضخیم‌ترین بال‌ها یا ورق‌های پوششی بال‌های تیر متصل به وجوه ستون باشد)

پهنای ورق‌ها باید در ستون‌های با مقطع قوطی شکل، باید برابر فاصله خالص دو جان ستون بوده و در ستون-های با مقطع H شکل مجموع پهنای ورق‌های پیوستگی در هر طرف جان مقطع ستون نباید از پهنای بال تیر یا پهنای ورق پوششی اتصال کمتر باشد.

برای جلوگیری از کمانش موضعی ورق پیوستگی بایستی نسبت عرض به ضخامت در ورق‌های با یک لبه متکی، نظیر ورق‌های پیوستگی ستون‌های H شکل, نباید از $0.55\sqrt{E/F_{ys}}$ و ورق‌های با دو لبه متکی, نظیر ورق‌های پیوستگی ستون‌های با مقطع قوطی شکل, نباید از $1.4\sqrt{E/F_{ys}}$ کوچک‌تر باشد (در این رابطه F_{ys} مقاومت تسلیم ورق‌های پیوستگی است.)

مجموع عرض ورق پیوستگی و نصف ضخامت جان ستون نباید کمتر از یک سوم عرض بال ستون یا عرض ورق اتصال تیر به ستون باشد.

ورق پیوستگی باید با جوش کافی به جان ستون و با استحکامی که قادر به تحمل نیروی حاصل از لنگر نامتقارن موثر بر دو بر ستون می‌باشد متصل گردد.

ضخامت ورق پیوستگی باید از نصف ضخامت بال تیر یا ورق اتصال بزرگ‌تر باشد.

هنگامی‌که نیروی فشاری بر یکی از بال‌های ستون اعمال می‌شود (یعنی اگر تنها از یک سمت ستون، تیر به آن متصل می‌شود)، طول ورق پیوستگی لازم نیست که از نصف ارتفاع مقطع ستون بیشتر باشد.

جوش ورق‌های پیوستگی به بال ستون باید به صورت نفوذی کامل در تمامی سطح تماس بوده و در هر طرف اتصال حداقل قادر به انتقال نیروهای کششی و فشاری ایجاد شده در بر ستون باشند. به جای استفاده از جوش نفوذی کامل می‌توان فقط از جوش نفوذی نسبی که ضخامت موثر آن بیشتر از نصف ضخیم‌ترین بال تیرهای متصل به وجوه ستون باشد، استفاده نمود.

در محل گوشه‌های اتصال بال به جان ستون، ورق‌های پیوستگی به اندازه حداقل ضخامت ورق ستون و حداکثر دو برابر ضخامت ورق ستون بریده می‌شوند.

ورق‌های پیوستگی باید در تمام طول خود به جان ستون جوش گردند.

در صورتیکه اتصال تیر در صفحه عمود بر جان خمشی نباشد آنگاه جوش اتصال در لبه طولی به صورت جوش گوشه دو طرفه طراحی می‌شود.

در صورتیکه اتصال تیر در صفحه عمود بر جان خمشی باشد، جوش لبه طولی باید بصورت کامل و یا نفوذی نسبی در اتصال ورق پیوستگی به بال ستون باشد.

جوش اتصال ورق پیوستگی به جان ستون باید برای حداقل نیروهای بدست آمده از موارد زیر طراحی گردد:

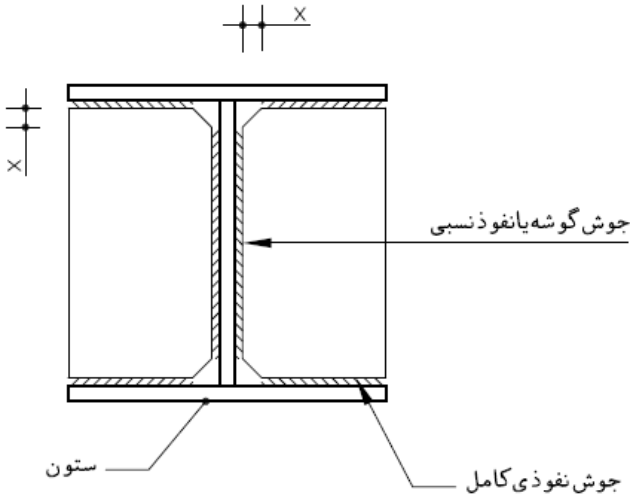
مجموع نیروهای کششی و فشاری ایجاد شده در برستون ناشی از تیرهای طرفین ورق پیوستگی

حداکثر نیروی برشی قابل تحمل توسط ورق پیوستگی در راستای طولی تیر متصل و در تماس با ورق جان ستون مطابق رابطه (۱-۲۷) بدست می‌آید:

$$F = \min\left(\sum \frac{M_{EU}}{d_b - t_{bf}}, 0.6F_y \left(w_z - 2x\right) t_{cp} \right) \quad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)}$$

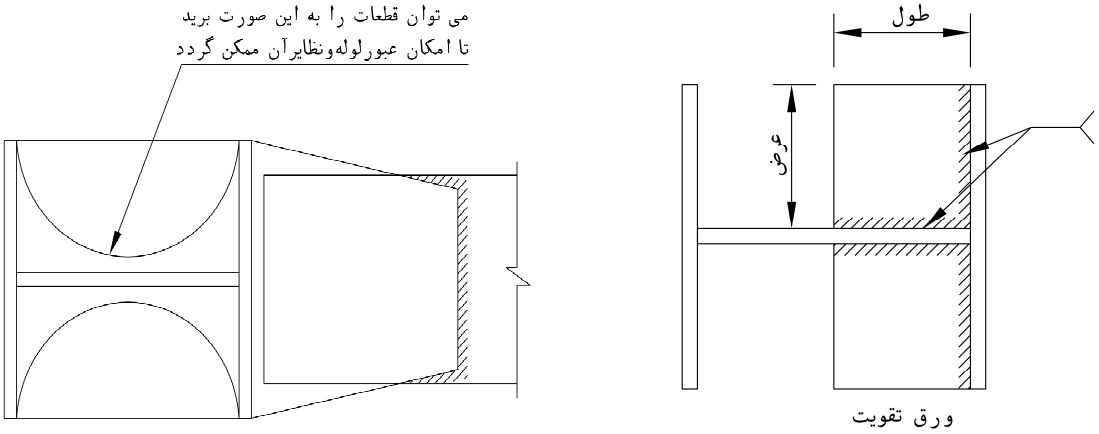
$$F = \min\left(\sum \frac{M_{ES}}{d_b - t_{bf}}, 0.4F_y \left(w_z - 2x\right) t_{cp} \right) \quad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۱-۲۷)$$

(t_{cp} ضخامت ورق پیوستگی است و جزئیات مربوط به فاصله x و نحوه ایجاد اتصال از طریق جوش بین ورق پیوستگی و تیر نیز در شکل ۱-۴ ارائه شده است.



شکل ۱-۴ : جزئیات ورق پیوستگی

در صورت بروز مشکلات اجرایی در استفاده از ورق پیوستگی، اگر اتصال تیر به ستون از یک جهت ستون انجام می‌گیرد آنگاه می‌توان ورق پیوستگی را تنها تا وسط نیمرخ ستون اجرا نمود (شکل ۱-۵) و اگر تیر از هر دو سمت به ستون متصل می‌شود آنگاه مطابق شکل ۱-۵ می‌توان ورق پیوستگی را طوری اضافه نمود که امکان عبور تاسیسات نیز فراهم باشد.



شکل ۱-۵ : نحوه استفاده از ورق پیوستگی در اتصال تیر به ستون

ورق‌های پیوستگی باید در مقابل بال‌های تیر یا ورق‌های پوششی اتصال بال بالایی و پایینی تیرهای متصل به ستون و به صورت متقارن نسبت به محور ستون قرار داده شوند.

در هر صورت به لحاظ رفتار لرزه‌ای، نصب ورق‌های پیوستگی توصیه می‌شود.

ضخامت ورق‌های پیوستگی

در صورت نیاز به استفاده از ورق‌های پیوستگی، علاوه بر رعایت الزامات طراحی موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان در خصوص ضخامت ورق‌های پیوستگی، بایستی محدودیت‌های ذیل نیز در نظر گرفته شود:

برای اتصالات یک طرفه تیر به ستون، حداقل ضخامت ورق‌های پیوستگی باید برابر بیشینه مقدار نصف ضخامت بال تیر یا ضخامت ورق‌های پوششی اتصال (ورق روسری و زیرسری) باشد.

برای اتصالات دو طرفه تیر به ستون، ضخامت ورق‌های پیوستگی باید حداقل برابر بیشینه مقدار ضخامت بال تیر یا ضخامت ورق‌های پوششی اتصال (ورق روسری و زیرسری) باشد.

جوشکاری ورق‌های پیوستگی

اتصال ورق‌های پیوستگی به بال ستون باید از طریق جوش‌های شیاری با نفوذ کامل انجام گیرد.

در اتصال ورق‌های پیوستگی به جان ستون باید از جوش‌های شیاری با نفوذ کامل یا جوش گوشه دو طرفه استفاده نمود.

مقاومت مورد نیاز مجموع اتصالات جوشی ورق‌های پیوستگی متصل به جان ستون باید برابر کمترین مقدار بدست آمده از مقادیر ذیل باشد؛

مجموع مقاومت‌های طراحی کششی برای سطوح تماس بین ورق‌های پیوستگی با بال‌های ستون متصل به بال تیرها

مقاومت طراحی برشی برای سطح تماس بین ورق پیوستگی و جان ستون

مجموع مقاومت‌های تسلیم مورد انتظار بال‌های تیر انتقال‌دهنده نیرو

۵.۵.۳.۲.۱ تعبیه ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) و یا سخت‌کننده قطری

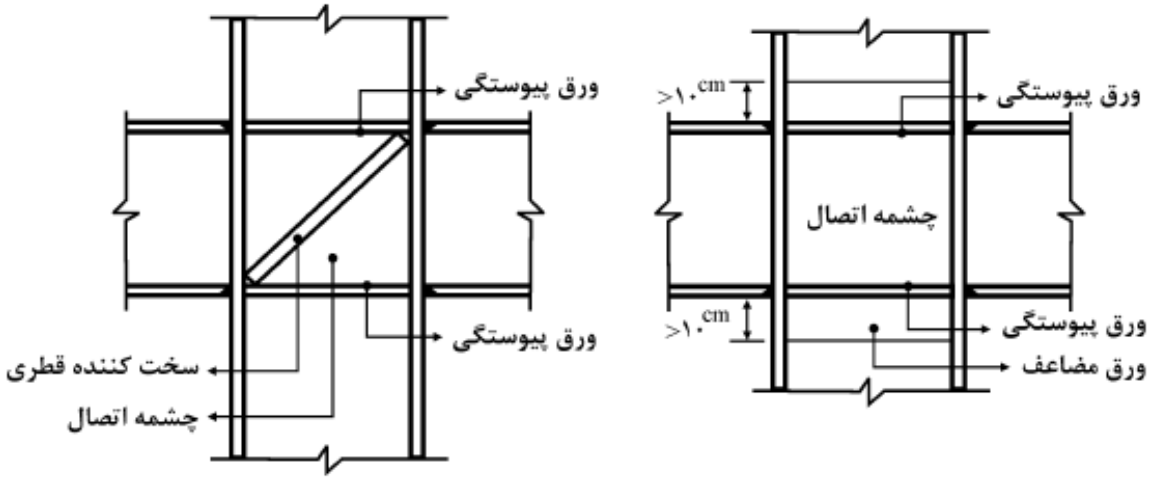
در صورتی‌که مقاومت برشی مورد نیاز چشمه اتصال از مقاومت برشی طراحی چشمه اتصال بیشتر باشد تعبیه ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) و یا یک جفت سخت‌کننده قطری دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی در محدوده چشمه اتصال ضروری است. همانند شکل ۱-۶ و شکل ۱-۸، این ورق‌ها باید در اتصال مستقیم به جان ستون و یا با فاصله از آن به صورت متقارن نسبت به محور تقارن مقطع ستون و در راستای موازی جهت اثر نیروی برشی بکار روند. ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) مورد نیاز باید شرایط ذیل را داشته باشند:

– ورق‌های مضاعف باید به طور مستقیم به جان ستون متصل شوند و در صورت وجود فاصله بین ورق‌های مضاعف و جان ستون باید ضوابط ذکر شده در این بخش رعایت شوند.

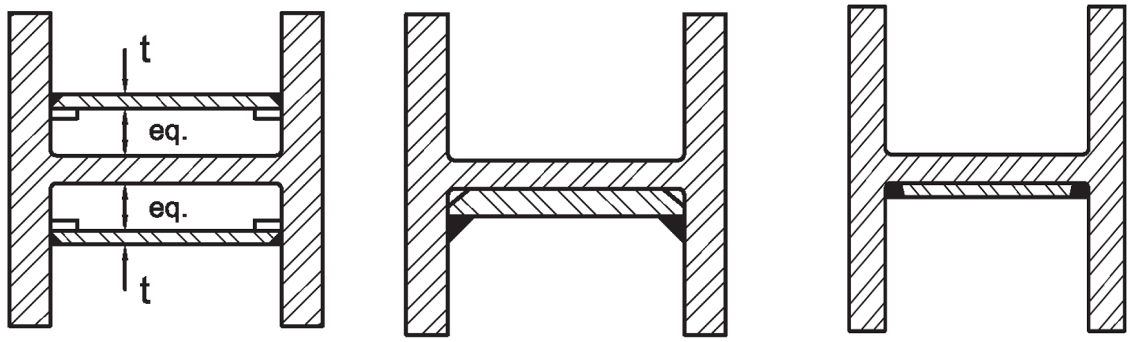
– ضخامت و ابعاد ورق مضاعف باید کمبود مقاومت طراحی (یا تنش مجاز موجود) را جبران نماید.

– ورق‌های مضاعف باید به بال‌های ستون و ورق‌های پیوستگی بالایی و پایینی متصل گردند و یا از ورق پیوستگی به اندازه ۱۰۰ میلی‌متر عبور کرده و به جان ستون جوش شوند.

جوش ورق مضاعف به جان ستون باید برای انتقال نیروی مربوط به سهم ورق مضاعف کافی باشد.



شکل ۱-۶ : استفاده از ورق‌های مضاعف و ورق‌های پیوستگی در چشمه اتصال



شکل ۱-۷ : استفاده از حالت‌های مختلف ورق‌های تقویتی (مضاعف)

طراحی ورق‌های تقویت (مضاعف) برای تامین مقاومت کششی باید بر اساس ضوابط بخش ۱۰-۲-۳ ، تامین مقاومت فشاری باید بر اساس ضوابط بخش ۱۰-۲-۴ و برای تامین مقاومت برشی بر اساس ضوابط بخش ۱۰-۲-۵ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) انجام شود. همچنین رعایت ضوابط ذیل در هر یک از حالات ذکر شده مربوط به کاربرد ورق‌های مضاعف الزامی است:

ورق‌های مضاعف متصل به جان ستون

به منظور استفاده از تمام ظرفیت مقاومتی موجود ورق‌های مضاعف باید اتصال بین ورق‌های مضاعف با ستون از طریق بال ستون نیز انجام گیرد و این اتصالات از طریق جوش نفوذی کامل یا جوش گوشه تامین گردد. در

صورت عدم استفاده از ورق‌های پیوستگی و عدم رعایت ضخامت چشمه اتصال مطابق بند ۱-۲-۳-۴-۲ ، بایستی اتصال ورق‌های مضاعف از طریق جوش‌های گوشه در امتداد فوقانی و تحتانی ورق‌های مضاعف و به منظور انتقال مناسب کلیه نیروها انجام گیرد.

ورق‌های مضاعف فاصله‌دار

به منظور استفاده از تمام ظرفیت مقاومتی موجود ورق‌های مضاعف باید اتصال بین ورق‌های مضاعف با ستون از طریق بال ستون نیز انجام گیرد و این اتصالات از طریق جوش نفوذی کامل یا جوش گوشه تامین گردد. موقعیت ورق‌های مضاعف باید به صورت متقارن و در فواصل $\frac{۱}{۳}$ تا $\frac{۲}{۳}$ بین خط مرکزی جان ستون و انتهای بال تیر به کار برده شوند.

ورق‌های مضاعف با ورق‌های پیوستگی

به منظور انتقال مناسب نیروها به ورق‌های مضاعف، بایستی هر ورق مضاعف به ورق‌های پیوستگی مجاور آن متصل گردد.

ورق‌های مضاعف بدون ورق‌های پیوستگی

در صورت عدم استفاده از ورق‌های پیوستگی و به منظور انتقال مناسب نیروها به ورق‌های مضاعف، بایستی ابعاد هر ورق مضاعف به اندازه حداقل ۱۵۰ میلیمتر از ناحیه فوقانی و تحتانی تیر عمیق تر در محل اتصال تیر به ستون بیشتر در نظر گرفته شود.

تبصره: در صورتی‌که کاربرد ورق مضاعف مانع از اتصال مستقیم ورق پیوستگی به جان ستون شود آنگاه باید مسیر مناسبی برای انتقال بار از طریق رعایت ضوابط ارائه شده در فصل دوم این دستورالعمل تامین گردد. برای این منظور و توسعه مقاومت مورد نیاز ورق پیوستگی می‌توان با ایجاد تغییر در اندازه ورق مضاعف از طریق اتصال به جان ستون مسیر مناسب برای انتقال بار فراهم نمود.

۶.۵.۳.۲.۱ جوش‌های بحرانی[1]

جوش‌ها با شرایط ذیل به عنوان جوش‌های بحرانی می‌باشند و در طراحی آنها باید ضوابط ویژه‌ای علاوه بر ضوابط طراحی اتصالات جوشی باید در نظر گرفته شوند:

کلیه جوش‌های مورد استفاده در اعضا و اتصالاتی که در سیستم باربری جانبی زلزله مشارکت می‌نمایند به عنوان جوش‌های بحرانی در نظر گرفته می‌شوند و باید ضوابط لرزه‌ای طراحی اتصالات جوشی نظیر AWS D1.8/D1.8M را تامین می‌نمایند. به دلیل اینکه در این جوش‌ها نیروی ناشی از بارهای خارجی در آنها

[1] Demand Critical welds

به عنوان تقاضای (نیاز) بیشینه (بحرانی) می‌باشند بنابراین این نوع جوش‌ها تحت عنوان جوش‌های بحرانی نامیده می‌شوند. مشخصات الکترود مورد استفاده در جوش‌های بحرانی باید علاوه بر رعایت ضوابط AWS D1.8/D1.8M دارای مشخصات جدول ۱-۳ نیز باشند:

جدول ۱-۳ : حداقل مشخصات الکترود مورد استفاده در جوش های بحرانی

مشخصه	طبقه بندی	
	E70 یا معادل آن	E80 یا معادل آن
مقاومت تسلیم مصالح (حداقل)	۴۰۰ Mpa	۴۷۰ Mpa
مقاومت کششی مصالح (حداقل)	۴۸۰ Mpa	۵۵۰ Mpa
کرنش کششی (حداقل)	۰/۲۲	۰/۱۹
معیار چقرمگی CVN (در دمای ۱۸- درجه سانتی گراد)*	۲۷ J	

*در دمای کمتر از ۱۸- درجه سانتیگراد نیز بایستی مشخصات ذکر شده برای مصالح جوش‌های بحرانی تامین شود.

علاوه بر مشخصات مصالح ذکر شده برای الکترودهای جوش‌های بحرانی لازم است مشخصات مکانیکی مصالح جوش شامل مقاومت تسلیم، مقاومت کششی و کرنش کششی نیز همانند مشخصات الکترود های مورد استفاده (جدول ۱-۳) باشند. انواع جوش‌های بحرانی که در اتصالات بکار می روند به شرح ذیل می‌باشند:

- جوش‌های شیاری در وصله ستون‌ها
- جوش‌ها در محل اتصال ستون به کف ستون

استثناء: در اتصال مفصلی بین ستون و کف ستون یا در حالتی که شرایط تکیه‌گاهی کف ستون باعث ایجاد محدودیت‌های درجات آزادی معادل تکیه‌گاه مفصلی و یا همچنین در صورت عدم وجود کشش خالص تحت اثر بارهای لرزه‌ای تشدیدیافته نیازی به استفاده از جوش‌های بحرانی وجود ندارد.

- جوش‌های شیاری با نفوذ کامل بین بال و جان تیرها با ستون

این جوش‌ها باید از طریق ضوابط نظیر ANSI/AISC 358 یا سایر اتصالات از پیش تایید شده اجرا گردند.

جوش‌های بحرانی بر اساس تقاضای بحرانی طراحی می‌شوند و باید الزامات موجود در فصل دوم این دستورالعمل، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای روش ضرایب بار و مقاومت یا روش تنش مجاز (بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌های معتبر نظیر AISC) و همچنین الزامات مربوط به ساخت، نصب و کنترل مبحث دهم مقررات ملی ساختمان را تامین نمایند.

ضوابط ارائه شده در خصوص اتصالات جوشی در اتصالات از پیش تایید شده مربوط به ضوابط جوش‌های بحرانی می‌باشند که با در نظر گرفتن ترکیبات بار و شرایط بحرانی ارائه شده‌اند.

ضوابط مربوط به طراحی جوش‌های بحرانی باید نشان‌دهنده اهمیت و ضوابط ویژه در طراحی این نوع جوش‌ها باشند.

رعایت ضوابط مربوط به جوش های بحرانی در کلیه اتصالات سیستم های باربر جانبی مربوط به قاب های خمشی متوسط و ویژه الزامی است.

۶.۳.۲.۱ اتصالات قاب‌های خمشی متوسط

طراحی قاب‌های خمشی متوسط[1] بر اساس ضوابط مبحث دهم مقررات ساختمان باعث می‌شود که انتظار وقوع ظرفیت تغییر شکل محدود از طریق تسلیم خمشی تیرها و ستون‌ها و تسلیم برشی چشمه‌های اتصال ستون‌ها فراهم گردد. طراحی اتصالات تیر به ستون شامل چشمه‌های اتصال و ورق‌های پیوستگی بر اساس الزامات این بخش مربوط به طراحی اتصالات تیر به ستون انجام می‌گیرد و نیازمند انجام تحلیل‌های اضافی دیگری نیست.

۱.۶.۳.۲.۱ مهاربندی جانبی تیرها

ضوابط مربوط به مهاربندی جانبی تیرها همانند قاب‌های خمشی ویژه است ولی در این قاب‌ها، تامین الزامات مربوط به اعضا با شکل‌پذیری متوسط انجام می‌گیرد.

۲.۶.۳.۲.۱ الزامات اتصالات تیر به ستون

اتصالات تیر به ستون که در سیستم باربر لرزه‌ای ساختمان مشارکت می‌نمایند باید الزامات ذیل را تامین نمایند:

- اتصالات باید ظرفیت چرخشی متناظر با حداقل تغییر مکان جانبی نسبی 0.02 رادیان را داشته باشند.
- مقاومت خمشی اتصال در بر ستون باید حداقل برابر با $0.8M_p$ مربوط به تیر متناظر با دوران نسبی 0.02 رادیان طبقه باشد.

۳.۶.۳.۲.۱ محدودیت‌های اتصال

به منظور مشارکت اتصالات تیر به ستون در سیستم باربری جانبی لرزه‌ای قاب خمشی متوسط بایستی حداقل یکی از ضوابط ذیل تامین گردد:

کاربرد اتصالات معرفی شده در فصل دوم این دستورالعمل برای قاب‌های خمشی متوسط

کاربرد اتصالات از پیش تایید شده برای قاب‌های خمشی فولادی مطابق الزامات طراحی مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

استفاده از نتایج آزمایشگاهی برای بررسی و تایید اتصالات تیر به ستون که در آنها حداقل از دو آزمایش چرخه‌ای مطابق ضوابط و پروتکل‌های استاندارد معتبر استفاده شده است.

[1] Intermediate Moment Frames (IMF)

۴.۶.۳.۲.۱ طراحی برای برش

طراحی برشی اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی متوسط همانند قاب‌های خمشی ویژه و مطابق بند ۵.۳.۲.۱ بایستی اتصال تیر به ستون برای برش مورد انتظار که در بر ستون ایجاد می‌شود، طراحی گردد.

۵.۶.۳.۲.۱ چشمه اتصال

برای طراحی چشمه اتصال تحت بارهای لرزه‌ای بایستی الزامات موجود در طراحی این اجزا در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و نیز ضوابط بیان شده این دستورالعمل در مورد قاب‌های خمشی ویژه رعایت گردد.

توجه: مقاومت برشی چشمه اتصال باید با مقدار بدست آمده برای آن در قاب‌های خمشی ویژه کنترل شود. مقاومت برشی مورد نیاز چشمه اتصال بر اساس لنگرهای انتهایی تیر تحت اثر بارگذاری ناشی از ترکیبات بار مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بدون در نظر گرفتن اثرات زلزله تشدید یافته محاسبه می‌شود.

۶.۶.۳.۲.۱ ورق‌های پیوستگی

ضوابط طراحی ورق‌های پیوستگی مشابه کلیه ضوابط موجود در قاب‌های خمشی ویژه می‌باشد.

۷.۳.۲.۱ اتصالات قاب‌های خمشی معمولی

با توجه به محدودیت‌های کاربرد قاب‌های خمشی معمولی بر اساس ضوابط موجود در استاندارد ۲۸۰۰ بنابراین اتصالات در قاب‌های خمشی معمولی باید حداقل ظرفیت تغییرشکل غیرالاستیک را تامین نمایند و نیاز به انجام تحلیل‌های اضافی ندارد. برای اجزای اتصالات این قاب‌ها به غیر از الزامات طراحی موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان محدودیت نسبت عرض به ضخامت وجود ندارد. همچنین تامین مهار جانبی در اتصالات و رعایت ضوابط طراحی چشمه اتصال برای قاب‌های خمشی معمولی ضروری نیست.

توجه: کاربرد اتصالات تیر به ستون به صورت کاملا گیردار[1] (FR) و نیمه گیردار[2] (PR) خمشی مطابق ضوابط ارائه شده در این بخش مجاز می‌باشد.

۱.۷.۳.۲.۱ جوش‌های بحرانی[3]

کاربرد جوش‌های نفوذی کامل برای اتصال بال تیر به ستون در قاب‌های خمشی معمولی بر اساس جوش‌های بحرانی همانند ضوابط مربوط به قاب‌های خمشی متوسط می‌باشد.

[1] Fully Restrained
[2] Partially Restrained
[3] Demand Critical Welds

۲.۷.۳.۲.۱ انواع اتصالات خمشی تیر به ستون

اتصالات گیردار خمشی

برای ایجاد اتصالات گیردار خمشی به عنوان جزئی از سیستم باربر جانبی سازه بایستی حداقل یکی از ضوابط ذیل برقرار باشد:

طراحی اتصالات گیردار خمشی باید برای مقاومت خمشی مورد نیاز برابر با حاصلضرب مقاومت خمشی مورد انتظار تیر (R_yM_p) در ضریب 1.1 برای روش ضرایب بار و مقاومت و ضریب (1.1/1.5) برای روش تنش مجاز انجام گیرد.

مقاومت برشی مورد نیاز اتصال در روش ضرایب بار و مقاومت (V_u) و روش تنش مجاز (V_a) بر اساس ترکیبات بارگذاری مبحث ششم مقررات ملی ساختمان شامل بارهای زلزله تشدید یافته تعیین می‌شود.

توجه : برای ضریب تشدید نیروهای راستای افقی زلزله که شامل اثرات ناشی از اضافه مقاومت است رابطه (۱-۲۸) ارائه شده است:

$$E_{mh} = 2\left[1.1R_y M_p\right] / L_{cf} \qquad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)} \qquad (۱-۲۸)$$

در این رابطه؛

L_{cf}: طول آزاد دهانه تیر بر اساس میلیمتر

M_p: لنگر خمشی پلاستیک تیر [N-mm] $(M_p=F_yZ)$

R_y: نسبت تنش تسلیم مورد انتظار (F_{ye}) به حداقل تنش تسلیم مشخصه (F_y)

اتصالات خمشی گیردار باید برای مقاومت خمشی و برشی مورد نیاز برابر با بیشینه لنگر خمشی و برش ناشی از بارهای وارده از سازه به اتصال تیر به ستون و با در نظر گرفتن اثرات ناشی از اضافه مقاومت و سخت‌شدگی کرنشی طراحی شوند.

توجه : عوامل محدودکننده بیشینه لنگر خمشی و برش ناشی از بارهای وارده از سازه به اتصال تیر به ستون شامل مقاومت ستون‌ها و میزان پایداری فونداسیون‌ها در مقابل بلندشدگی است.

برای عوامل ذکر شده، ورق‌های پیوستگی باید مطابق الزامات طراحی مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تامین شوند.

لنگر خمشی مورد استفاده برای کنترل ورق‌های پیوستگی باید برابر لنگر خمشی مورد استفاده در طراحی اتصال تیر به ستون ($(1.1R_yM_P)$ در روش ضرایب بار و مقاومت و $((1.1/1.5)R_yM_P)$ در روش تنش مجاز یا بیشینه لنگر خمشی قابل انتقال به اتصال از طرف سازه خواهد بود.

اتصالات خمشی گیردار بین تیرها و ستون‌های بال پهن باید الزامات طراحی مبحث دهم مقررات ملی ساختمان یا الزامات ذیل را تامین نمایند:

کلیه جوش‌ها باید الزامات اتصالات تیر به ستون را مطابق ضوابط اتصالات معرفی شده در فصل دوم این دستورالعمل تامین نمایند.

اتصال بال تیرها به ستون‌ها باید از طریق جوش نفوذی کامل برقرار گردد.

شکل و ابعاد سوراخ دسترسی جوش باید مطابق الزامات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و در صورت نیاز ضوابط AWS D1.8/D1.8M باشد.

ورق‌های پیوستگی باید الزامات ضوابط طراحی و لرزه‌ای موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان را تامین نمایند.

در اتصالات بین ورق‌های پیوستگی و بال ستون‌ها استفاده از جوش نفوذی کامل، جوش نفوذی نیم جناغی دو طرفه یا جوش گوشه در دو طرف امتداد اتصال مجاز است. مقاومت مورد نیاز این جوش‌ها نباید کمتر از مقاومت موجود سطح تماس اتصال ورق با بال ستون باشد.

اتصال جان تیر به بال ستون بین سوراخ‌های دسترسی جوش باید با استفاده از جوش نفوذی کامل یا با استفاده از ورق برشی با اتصال پیچی دارای مقاومت برشی مورد نیاز بیان شده در این بخش انجام گیرد.

توجه: مقاومت برشی چشمه اتصال در اتصالات خمشی گیردار باید مطابق الزامات طراحی مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و ضوابط AISC در نظر گرفته شود. بنابراین مقاومت برشی چشمه اتصال باید بر اساس لنگرهای خمشی انتهایی تیر ناشی از ترکیبات بارگذاری بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و بدون در نظر گرفتن اثرات زلزله تشدید یافته باشد.

اتصالات نیمه گیردار خمشی

اتصالات نیمه گیردار خمشی در قاب‌های خمشی معمولی بایستی ضوابط ذیل را تامین نمایند:

اتصالات نیمه‌گیردار خمشی باید برای بیشینه لنگر خمشی و برشی بر اساس ترکیبات بارگذاری مبحث ششم مقررات ملی ساختمان انجام گیرد.

سختی، مقاومت و ظرفیت شکل‌پذیری اتصالات نیمه گیردار خمشی بایستی در طراحی این قاب ها برای اثرات مربوط به پایداری کلی قاب لحاظ شوند.

مقاومت خمشی اسمی اتصال (Mn,PR) نباید کمتر از 50% لنگر خمشی پلاستیک تیر متصل باشد.

استثنا : برای ساختمان‌های یک طبقه مقاومت خمشی اسمی اتصال ($M_{n,PR}$) نباید کمتر از 50% لنگر خمشی پلاستیک ستون متصل باشد.

مقاومت برشی مورد نیاز (V_u یا V_a) باید بر اساس ضوابط این بخش انجام گیرد و لنگر خمشی پلاستیک ($M_p=F_yZ$) به عنوان مقاومت خمشی اسمی اتصال ($M_{n,PR}$) در نظر گرفته شود.

۴.۲.۱ الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع اعضای اتصالات تیر به ستون تحت اثر بارهای متمرکز در قاب‌های خمشی

به منظور تامین عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار در اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی ویژه و متوسط، بایستی اجزای بال و جان اعضای تیر و ستون اتصالات در مقابل نیروهای متمرکز وارد بر امتداد عمود بر صفحه بال و متقارن نسبت به جان به صورت تک یا زوج نیرو که شامل اثرات تنش کششی، فشاری، یا لنگر خمشی دارای مقاومت کافی باشند، برای این منظور الزامات طراحی برای بال و جان اعضای تیر و ستون تحت اثر بارهای متمرکز مطابق ضوابط بند ۱۰-۲-۹-۱۰ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باید تامین گردد. علاوه بر ضوابط بیان شده در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، الزامات لرزه‌ای ذیل بر اساس هر یک از روش‌های طراحی بر اساس تنش مجاز و ضرایب بار و مقاومت باید تامین شود؛

خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی

تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری

لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز متقابل فشاری که بر هر دو بال عضو اثر می‌نماید

برش در چشمه اتصال

تامین الزامات تکمیلی برای سخت‌کننده‌ها تحت اثر بارهای متمرکز

تامین الزامات تکمیلی برای ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) تحت اثر بارهای متمرکز

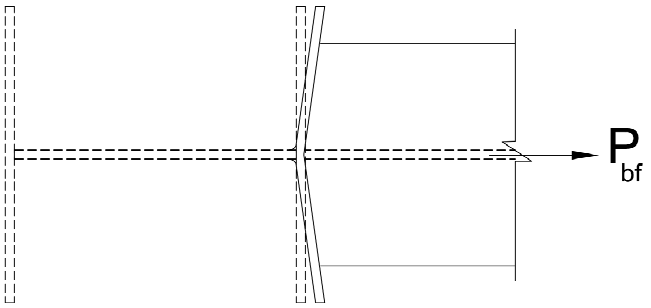
تامین الزامات تکمیلی برای پایداری ورق‌های چشمه اتصال

توجه: برای ضوابط ارائه شده در این بند، در صورتیکه مقاومت مورد نیاز بیشتر از مقاومت طراحی بیشتر باشد آنگاه لازم است از یک جفت سخت‌کننده یا ورق‌های تقویتی یا هر دو دارای مقاومتی برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی در محل بارهای متمرکز استفاده شود. سخت‌کننده‌ها و ورق‌های تقویتی (مضاعف) بایستی کلیه الزامات طراحی موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و این دستورالعمل را تامین نمایند.

۱.۴.۲.۱ خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی

به منظور کنترل بال مقطع در اثر نیروی کششی متمرکز تکی یا مولفه کششی زوج نیروی متمرکز (همانند شکل ۱-۸) لازم است خمش موضعی در بال ستون در مقابل بال کششی تیر در اتصال خمشی گیردار تیر به ستون

کنترل گردد. برای این منظور مقاومت طراحی خمشی موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی (ϕR_n) و بر اساس $\phi=0.9$ و $\Omega=1.67$ بدست می‌آید. در این روابط R_n مقاومت اسمی مقطع بر اساس حالات حدی خمش موضعی بال است و مطابق ضوابط بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۱ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تعیین می‌شود.



شکل ۱-۸ : خمش موضعی بال ستون در مقابل بال کششی تیر در اتصال خمشی گیردار تیر به ستون تحت نیروی متمرکز کششی

۲.۴.۲.۱ تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری

به منظور کنترل جان مقطع در اثر نیروی کششی متمرکز تکی، نیروی فشاری متمرکز تکی و هر دو مولفه فشاری و کششی زوج نیروی متمرکز لازم است جان ستون در مقابل جاری شدن در اتصال قاب خمشی تیر به ستون کنترل گردد. برای این منظور مقاومت طراحی تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری (ϕR_n) و مقاومت مجاز (R_n/Ω) و بر اساس $\phi=1$ و $\Omega=1.50$ بدست می‌آید. در این روابط R_n مقاومت اسمی مقطع بر اساس حالات حدی تسلیم موضعی جان است و بر اساس موقعیت بار متمرکز و مطابق ضوابط بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۲ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تعیین می‌شود.

۳.۴.۲.۱ لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

به منظور کنترل جان مقطع در اثر نیروی فشاری متمرکز تکی و مولفه فشاری زوج نیروی متمرکز لازم است جان ستون در مقابل لهیدگی در اتصال قاب خمشی تیر به ستون کنترل گردد. برای این منظور مقاومت طراحی لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری (ϕR_n) و مقاومت مجاز (R_n/Ω) و بر اساس $\phi=0.75$ و $\Omega=2.00$ بدست می‌آید. در این روابط R_n مقاومت اسمی مقطع بر اساس حالات حدی لهیدگی موضعی جان است و بر اساس موقعیت بار متمرکز و مطابق ضوابط بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۳ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تعیین می‌شود. در صورتی‌که مقاومت مورد نیاز از مقاومت طراحی بیشتر شود آنگاه استفاده از یک جفت سخت‌کننده یا ورق‌های تقویتی (مضاعف) در حداقل نصف ارتفاع جان مقطع الزامی است.

۴.۴.۲.۱ کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

به منظور کنترل جان مقطع در مقابل کمانش جانبی در اثر نیروی فشاری متمرکز تکی که در آن از حرکت جانبی بین بال فشاری تحت بار متمرکز و بال کششی در محل اثر نیروی متمرکز جلوگیری نشده باشد بایستی مقاومت طراحی کمانش جانبی جان در مقابل نیروی فشاری برابر (ϕR_n) و مقاومت مجاز برابر (R_n/Ω) و بر اساس $\phi=0.85$ و $\Omega=1.76$ بدست آید. در این روابط R_n مقاومت اسمی مقطع بر اساس حالات حدی کمانش جانبی جان است و بر اساس شرایط مقطع مطابق بند ۱۰-۲-۹-۴ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تعیین می‌شود. در صورتی‌که مقاومت مورد نیاز از مقاومت طراحی بیشتر شود آنگاه استفاده از مهار جانبی موضعی در بال کششی یا یک جفت سخت‌کننده یا ورق‌های تقویتی (مضاعف) الزامی است

۵.۴.۲.۱ کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز متقابل فشاری

به منظور کنترل جان مقطع در مقابل کمانش فشاری در اثر نیروی فشاری متمرکز تکی یا یک جفت مولفه نیروی فشاری در یک مقطع در جهت مخالف به بال‌های مقابل مقطع بایستی مقاومت طراحی کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری برابر (ϕR_n) و مقاومت مجاز برابر (R_n/Ω) و بر اساس $\phi=0.90$ و $\Omega=1.67$ بدست آید. در این روابط R_n مقاومت اسمی مقطع بر اساس حالات حدی کمانش موضعی جان است و بر اساس ضوابط بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۵ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و مطابق رابطه ۱۰-۲-۹-۳۱ تعیین می‌شود.

۶.۴.۲.۱ برش در چشمه اتصال

به منظور کنترل برش در چشمه اتصال در اثر یک زوج نیروی متمرکز در یک یا هر دو بال عضو بایستی مقاومت برشی طراحی چشمه اتصال برابر (ϕR_n) و مقاومت مجاز برابر (R_n/Ω) و بر اساس $\phi=0.90$ و $\Omega=1.67$ بدست آید. در این روابط R_n مقاومت اسمی بر اساس حالات حدی تسلیم برشی است و بر اساس ضوابط بیان شده برای چشمه‌های اتصال در این دستورالعمل و نیز بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۶ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تعیین می‌شود.

۷.۴.۲.۱ تامین الزامات تکمیلی برای سخت‌کننده‌ها تحت اثر بارهای متمرکز

بر اساس ضوابط بیان‌شده در بندهای قبلی، در صورتی‌که تحت اثر بارهای متمرکز مقاومت مورد نیاز بیشتر از مقاومت طراحی بیشتر باشد آنگاه لازم است از یک جفت سخت‌کننده یا ورق‌های تقویتی یا هر دو دارای مقاومتی برابر با اختلاف مقاومت موردنیاز و مقاومت طراحی در محل بارهای متمرکز استفاده شود. سخت‌کننده‌ها بایستی کلیه الزامات طراحی موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و این دستورالعمل را تامین نمایند و علاوه بر آن

بر اساس نوع نیروی متمرکز (کششی یا فشاری) و همچنین نحوه استفاده از سخت‌کننده (عرضی یا قطری) بایستی الزامات تکمیلی بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۷ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تامین گردد.

توجه : تعبیه یک جفت سخت‌کننده عرضی به ارتفاع جان مقطع در انتهای آزاد تیرها و شاه‌تیرها بدون محدودیت در مقابل دوران حول محور راستای طولی، الزامی است.

۸.۴.۲.۱ تامین الزامات تکمیلی برای ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) تحت اثر بارهای متمرکز

بر اساس ضوابط بیان‌شده در بندهای قبلی، در صورتی‌که تحت اثر بارهای متمرکز مقاومت مورد نیاز بیشتر از مقاومت طراحی بیشتر باشد آنگاه لازم است از یک جفت سخت‌کننده یا ورق‌های تقویتی یا هر دو دارای مقاومتی برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی در محل بارهای متمرکز استفاده شود. ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) بایستی کلیه الزامات طراحی موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و این دستورالعمل را تامین نمایند و علاوه بر آن ضخامت و جوش ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) بایستی الزامات تکمیلی بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۸ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تامین نماید.

۹.۴.۲.۱ تامین الزامات تکمیلی برای پایداری ورق‌های چشمه اتصال

به منظور تامین پایداری ورق‌های چشمه اتصال بایستی ضخامت چشمه اتصال مطابق ضوابط ارائه شده در این دستورالعمل برای چشمه اتصال در قاب‌های خمشی ویژه باشد.

۳.۱ الزامات لرزه‌ای اتصالات وصله ستون‌ها و تیرها در قاب‌های خمشی ویژه و متوسط

۱.۳.۱ وصله ستون‌ها

موقعیت و مقاومت لرزه‌ای وصله ستون‌های باربر و غیر باربر جانبی باید کلیه الزمات طراحی موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان را رعایت نمایند و علاوه بر آن، ضوابط ذیل نیز باید تامین گردد:

در صورت کاربرد جوش برای اتصال وصله به ستون باید از جوش نفوذی کامل استفاده شود.

در صورت استفاده از وصله با اتصالات پیچی، بایستی حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز وصله‌ها متناسب با ظرفیت خمشی ستون کوچک‌تر و به صورت رابطه (۱-۲۹) تامین شود:

$$M_{ru-splice} \geq R_y F_y Z_x \qquad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)}$$
$$M_{ra-splice} \geq R_y F_y Z_x / 1.5 \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۱-۲۹)$$

حداقل مقاومت برشی مورد نیاز وصله‌های جان ستون‌ها دارای حداقل مقادیر رابطه (۱-۳۰) می باشد:

$$V_{ru-splice} \geq \left(\sum M_{pc} / H\right) \qquad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)} \qquad (۱-۳۰)$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$V_{ru-splice} \geq \left(\sum M_{pc} / 1.5H\right)$$

در این رابطه $\sum M_{pc}$ مقاومت‌های خمشی اسمی پلاستیک ستون در ناحیه فوقانی و تحتانی وصله با رعایت اثر بار محوری و در نظر گرفتن ارتفاع طبقه است.

رعایت محدودیت‌های ذیل در اجرای وصله ستون‌های باربر جانبی و غیرباربر جانبی الزامی است:

وصله ستون‌ها باید دارای مقاومتی حداقل برابر با مقاومت ستون با مقطع کوچک‌تر وصله‌شونده باشند.

اتصال وصله مستقیم باید با جوش نفوذی کامل انجام گیرد.

در محل وصله ستون‌های متشکل از چند نیمرخ لازم است هر یک از ستون‌های وصله‌شونده در ارتفاعی حداقل به اندازه بزرگ‌ترین بعد مقطع ستون به صورت یکپارچه شده و سپس وصله شوند.

مقاومت‌های خمشی و برشی برای وصله پوششی، در ستون‌هایی که در ترکیبات بارگذاری عادی یا ترکیبات بارگذاری زلزله تشدیدیافته تحت اثر کشش قرار می‌گیرند، باید وصله هر کدام از بال‌های آنها در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت برای تحمل نیرویی برابر $\phi_t(0.5F_{ye}A_f)$ $(\phi_t=0.9)$ و روش تنش مجاز $(0.5F_{ye}A_f)/\ \Omega_t$ $(\Omega_t=1.67)$ باشد که در این روابط A_f سطح مقطع بال ستون کوچک‌تر است.

توجه : مقاومت مورد نیاز وصله ستون با در نظر گرفتن ضرایب تمرکز تنش یا ضرایب مربوط به شدت تنش-های گسیختگی نباید از نتایج مربوط به مقادیر مقاومت بدست آمده از تحلیل‌های غیرخطی مطابق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ و دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰) تجاوز نماید.

در وصله ستون‌هایی که تحت اثر بارهای کششی ناشی از ترکیبات بارگذاری مبحث ششم مقررات ملی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات بار زلزله تشدید یافته قرار می‌گیرند باید شرایط ذیل را تامین گردد:

مقاومت موجود اتصالات با جوش نفوذی نسبی باید حداقل دو برابر مقاومت مورد نیاز باشند.

مقاومت موجود برای هر وصله بال ستون باید حداقل برابر با $0.5R_yF_yb_ft_f$ در روش ضرایب بار و مقاومت و $(0.5/1.5)R_yF_yb_ft_f$ در روش تنش مجاز باشد. در این روابط R_yF_y تنش تسلیم مورد انتظار مصالح تشکیل‌دهنده ستون و b_ft_f مساحت بال ستون کوچک‌تر است.

هنگامی در اتصال لب به لب وصله‌های ستون از جوش نفوذی کامل استفاده شود و تنش کششی در هر موقعیتی از بال کوچک‌تر از مقدار $0.3F_y$ در روش ضرایب بار و مقاومت یا $0.2F_y$ در روش تنش مجاز تجاوز نماید آنگاه تغییر تدریجی ابعاد بین بال‌ها با ضخامت‌ها یا پهنای نامساوی باید انجام گیرد. این تغییر ابعاد باید مطابق الزامات طراحی مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باشد.

در ستون‌هایی که در طراحی به عنوان جزئی از سیستم باربر جانبی در نظر گرفته نمی‌شوند ، مقاومت برشی مورد نیاز وصله‌های ستون در امتداد محورهای متعامد ستون باید در روش ضرایب بار و مقاومت برابر (M_{pc}/H) و در روش تنش مجاز $(M_{pc}/1.5H)$ در نظر گرفته شود که در این روابط M_{pc} مقاومت خمشی پلاستیک اسمی

کوچک‌تر مقاطع ستون برای جهت مورد بررسی و H ارتفاع طبقه است. مقاومت وصله‌های ستون‌هایی که در سیستم باربر جانبی در نظر گرفته می‌شوند باید بیشتر از مقدار آنها برای ستون‌های غیربار جانبی یا بیشتر از مقاومت مورد نیاز آنها بر اساس الزامات طراحی لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و ضوابط این بند از دستورالعمل باشد.

وصله‌های مورد استفاده به صورت ورق یا مقطع ناودانی که در ستون‌های باربر جانبی برای تامین وصله جان ستون مورد استفاده قرار می‌گیرند باید در هر دو طرف جان ستون استفاده شوند.

در اتصالات لب به لب جوشی وصله‌ها با جوش‌های نفوذی ، زبانه جوش باید مطابق ضوابط استاندارد جوشکاری برداشته شود ولی نیازی به حذف جوش برگشتی نیست.

برای ستون‌های کامپوزیتی محاط شده با بتن، وصله‌های ستون باید مطابق ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تامین شوند.

۲.۳.۱ وصله تیرها

وصله تیرهای باربر جانبی باید کلیه الزامات طراحی موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان را رعایت نمایند. علاوه بر آن ضوابط ذیل نیز باید تامین گردد:

در طراحی وصله‌ها مقادیر لنگر خمشی و تلاش برشی در محل وصله و براساس مقادیر نیروهای موجود در اعضای اتصالات در نظر گرفته شود.

در صورت استفاده از ورق وصله در بال، ظرفیت باربری ورق وصله و اتصال‌دهنده‌های جوشی و یا پیچی آن باید حداقل ۱/۱ برابر ظرفیت باربری مقطع ضعیف‌تر وصله‌شونده باشد. در صورت استفاده از ورق وصله برای جان این ورق‌ها باید به صورت متقارن و در دو طرف جان بکار برده شوند.

چنانچه از جوش نفوذی برای وصله اجزای مقطع در بال‌ها و جان استفاده شود آنگاه محل وصله بال‌ها و محل وصله جان نباید در یک مقطع واقع گردند.

۴.۱ الزامات لرزه‌ای اتصالات کف ستون‌ها

در طراحی لرزه‌ای کف ستون‌ها باید کلیه الزامات طراحی موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان رعایت گردند. علاوه بر آن، مقاومت مورد نیاز کف ستون‌ها در ستون‌هایی که جزء سیستم باربر جانبی سازه نمی‌باشند باید ضوابط ذیل برای طراحی لرزه‌ای کف ستون‌ها در نظر گرفته شود:

مقاومت موجود اجزای فولادی در کف ستون شامل ورق‌های کف ستون، میل‌مهارها، ورق‌های سخت‌کننده و اجزای برش‌گیرها باید کلیه الزامات طراحی مربوط به این اعضا را مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تامین نمایند.

هنگامی‌که ستون‌ها از طریق جوش‌های نفوذی به کف ستون‌ها وصل می‌شوند، آنگاه زبانه‌های جوش و جوش‌های برگشتی باید برداشته شوند.

– در صورتی‌که جوش پشت‌بند در روی ناحیه داخلی بال‌ها یا بر روی جان مقطع I شکل استفاده شود و پشت-بندی به کف ستون با جوش گوشه پیوسته با بعد ۸ میلیمتر اجرا شود آنگاه نیازی به برداشتن آن نیست.

تذکر : استفاده از جوش گوشه پشت‌بند در ناحیه داخل بال‌های ستون غیرمجاز است.

مقاومت موجود اجزای بتنی کف ستون شامل پوشش بتنی میل‌مهارها و میلگردهای فولادی باید مطابق الزامات طراحی مبحث نهم مقررات ملی ساختمان باشد.

– در صورتی‌که از بتن مسلح به عنوان بخشی از پوشش مهار در طراحی استفاده شود آنگاه در نظر گرفتن حالت گسیختگی مهار و استفاده از میلگردهای فولادی درهر طرف سطوح گسیختگی مورد انتظار، ضروری است.

مقاومت محوری مورد نیاز کف ستون‌هایی که به عنوان جزئی از سیستم باربر جانبی تعریف می‌شوند، باید از مجموع مقاومت‌های مورد نیاز اتصال در راستای قائم برای اجزای فولادی متصل به کف ستون محاسبه شود اما نباید کمتر از بیشینه مقادیر ذیل باشد؛

بار محوری ستون بر اساس ترکیبات بارگذاری مبحث ششم مقررات ملی ساختمان شامل بارهای زلزله تشدید یافته.

مقاومت محوری مورد نیاز برای وصله ستون‌ها بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و ضوابط این دستورالعمل.

مقاومت‌های مورد نیاز اتصال در راستای قائم شامل بار محوری ستون‌ها و ترکیبات راستای قائم نیروهای محوری ناشی از اعضای قطری قاب متصل به کف ستون‌ها می‌باشد.

مقاومت برشی مورد نیاز کف ستون‌هایی که در سیستم باربرجانبی مشارکت ندارند و پی مربوط به آنها باید برابر مجموع مقاومت‌های مورد نیاز اتصالات راستای افقی اجزای فولادی متصل به کف ستون‌ها و مطابق ضوابط ذیل باشد:

برای مهاربندهای قطری مقاومت راستای افقی باید بر اساس مقاومت مورد نیاز اتصالات مهاربند قطری به عنوان سیستم باربری جانبی در نظر گرفته شود.

برای ستون‌ها، مقاومت راستای افقی باید برابر با مقاومت برشی مورد نیاز برای وصله ستون‌ها مطابق الزامات طراحی مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و ضوابط این دستورالعمل در نظر گرفته شود.

استثنا : برای ستون‌های ساختمان‌های یک طبقه با اتصالات ساده (مفصلی) در دو انتهای ستون، تامین ضوابط مربوط به مقاومت برشی مورد نیاز ستون الزامی نیست.

توجه: مقاومت راستای افقی ناشی از بار برشی ناشی از ستون‌ها و نیروهای محوری راستای افقی ناشی از اعضای قطری قاب وارد بر کف ستون‌ها می‌باشد.

در صورتی‌که کف ستون‌ها به عنوان اتصالات خمشی به پی طراحی شوند آنگاه مقاومت خمشی مورد نیاز کف ستون‌هایی که در سیستم باربر جانبی مشارکت می‌نمایند به همراه پی برابر است با مجموع مقاومت‌های مورد نیاز اتصالات اجزای فولادی متصل به کف ستون و مطابق ضوابط ذیل تعیین می شود:

برای مهاربندهای قطری، مقاومت خمشی مورد نیاز باید حداقل برابر مقاومت خمشی مورد نیاز اتصالات مهاربند قطری باشند.

برای ستون‌ها، مقاومت خمشی مورد نیاز باید حداقل برابر با کمینه مقادیر $1.1RyFyZ$ در روش ضرایب بار و مقاومت یا $(1.1/1.5)RyFyZ$ در روش تنش مجاز یا لنگر خمشی ناشی از ترکیبات بار بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و با در نظر گرفتن اثرات ناشی از زلزله تشدید یافته باشد.

توجه : لنگرهای خمشی ستون‌ها نسبت به لنگرهای خمشی اتصالات مفصلی در کف ستون‌ها قابل صرفنظر هستند.

فصل ۲ طراحی اتصالات تیر به ستون

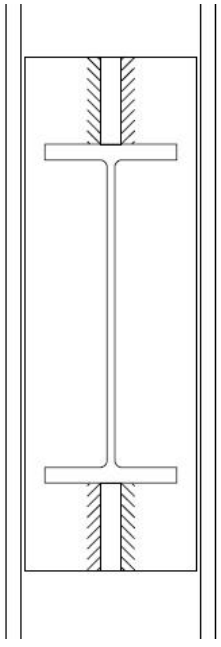
- اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی
- مشخصات مصالح اتصالات تیر به ستون
- معرفی انواع اتصالات از پیش تایید شده گیردار تیر به ستون :
  - اتصال پیچی تیر به ستون از طریق ورق روسری و زیرسری (BFP)
  - اتصال گیردار مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته (RBS)
  - اتصال تیر به ستون از طریق ورق انتهایی با ورق سخت‌کننده (با ورق لچکی) (BSEEP) و بدون سخت‌کننده (بدون ورق لچکی) (BUEEP) (اتصالات فلنجی تیر به ستون)
  - اتصال مستقیم تقویت‌نشده جوشی (WUF-W)
  - اتصال جوشی از طریق ورق‌های روسری و زیرسری (WFP)

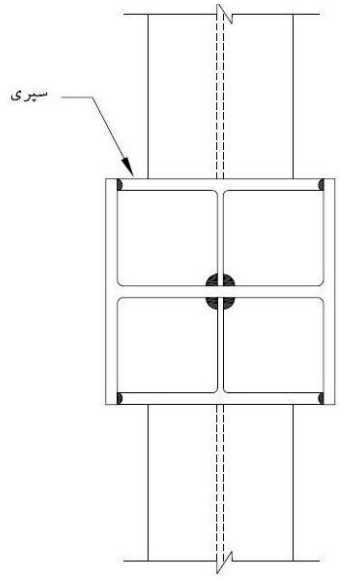
۱.۲ اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی

اتصالات خمشی تیر به ستون مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. چون عمده لنگر خمشی تیر در بال‌های آن توسعه می‌یابد، بنابراین برای فراهم نمودن یک اتصال خمشی باید به نحو مقتضی بال‌های تیر به ستون متصل گردند. اتصال بال‌های تیر به ستون از طرق مختلف نظیر اتصال مستقیم و با استفاده از جوش نفوذی و یا پیچ، به صورت غیرمستقیم و توسط ورق‌های روسری و زیرسری و یا توسط ورق فوقانی و نشیمن انجام گیرد.

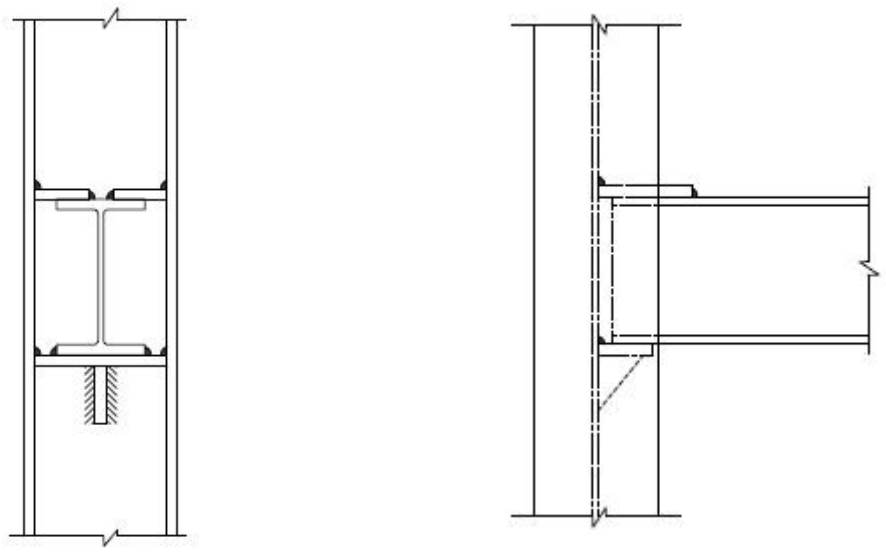
اتصال مستقیم بال‌های تیر به ستون به دلیل نیاز به پخ‌زنی (کونیک نمودن) بال برای جوش شیاری چندان متداول نیست و استفاده از ورق‌های انتهایی، ورق‌های فوقانی و تحتانی و یا نبشی نشیمن متداول‌تر است.

اجرای اتصال خمشی تیر به جان ستون مشکل‌تر از ایجاد اتصال به بال ستون می‌باشد. بنابراین برای اجرای مناسب اتصال تیر به جان ستون می‌توان از یک نیمرخ سپری با طول حدود ۲ برابر ارتفاع تیر که بال‌ها و جان آن برای قرار گرفتن مناسب در فاصله بال‌ها و جان ستون بریده شده است، استفاده نمود(شکل ۲-۱). اتصال سپری به جان ستون توسط جوش گوشه و به بال ستون توسط جوش شیاری انجام می‌گیرد. راهکار دیگر اتصال تیر به جان ستون، استفاده از ورق‌های فوقانی و نشیمن تقویت شده است، که در این اتصال جان ستون به شدت در معرض تنش‌های خمش و موضعی قرار می‌گیرد بنابراین استفاده از مقطع سپری مناسب‌تر است (شکل ۲-۱)





(الف)



(ب)

شکل ۲-۱ : اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی : (الف) اتصال تیر به جان ستون با استفاده نیمرخ سپری برای اتصال تیر به جان ستون (ب) اتصال تیر به جان ستون با استفاده از ورق‌های فوقانی و نشیمن تقویت شده

اتصالات تیر به ستون باید بگونه‌ای طراحی شوند که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک در داخل تیر و خارج از اجزای اتصال را فراهم نمایند.

در اتصالات جوشی تیر به ستون، اتصال بال تیر یا ورق پوششی آن به وجه ستون یا به ورق پیشانی (فلنج) که به ستون پیچ می‌شود باید منحصراً از نوع نفوذی کامل باشد. برای اتصال جان تیر یا ورق اتصال جان، به بال ستون یا ورق انتهایی، استفاده از جوش نفوذی نسبی یا جوش گوشه مجاز است.

رفتار اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی به عنوان اعضای کنترل‌شونده توسط نیرو در نظر گرفته می‌شوند.

انواع اتصالات تیر به ستون‌ها به صورت ذیل طبقه می‌شوند:

– اتصالات ساده تیر به ستون

– اتصالات خمشی کاملاً گیردار تیر به ستون

– اتصالات خمشی نیمه‌گیردار تیر به ستون

معیار طبقه‌بندی میزان گیرداری اتصالات بر اساس میزان نسبت لنگر خمشی، تغییر شکل‌ها و دوران‌های ارتجاعی و غیرارتجاعی اتصالات در قاب‌های خمشی ویژه و متوسط و نیز مقاومت و شکل‌پذیری اتصال بر اساس محدوده عملکرد ارتجاعی و غیرارتجاعی آنها طبق پارامترهای ذیل طبقه بندی می‌گردد:

– میزان انتقال لنگر

– سختی اتصالات

– شکل‌پذیری اتصالات

توجه: با توجه به ضوابط ارائه شده در خصوص اتصالات موجود در این فصل از دستورالعمل، کلیه اتصالات معرفی شده بجز در مواردی‌که مشخص شده‌اند به عنوان اتصالات گیردار خمشی تیر به ستون در نظر گرفته می‌شوند.

۲.۲ مشخصات مصالح اتصالات تیر به ستون

مشخصات مصالح اعضای اتصالات تیر به ستون موجود در این دستورالعمل بایستی شرایط مورد نیاز مطابق مشخصات مصالح فولادی بند ۱۰–۱–۴ و الزامات لرزه ای مشخصات مصالح بند ۱۰–۳–۳ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان(۱۳۹۲) را داشته باشد و در صورتیکه مشخصات مورد نیاز مصالح در اعضا در این مبحث وجود نداشته باشد آنگاه می توان از مشخصات مصالح موجود در استاندارد ANSI/AISC360-10 ، ANSI/AISC341-10 ، ANSI/AISC 358-10 و ANSI/AISC 358s1-11 را داشته باشد.

در ادامه، مشخصات مصالح مورد استفاده در اتصالات معرفی شده در این دستورالعمل ارائه شده است.

۱.۲.۲ مقاطع نورد شده

مقاطع نورد شده علاوه بر الزامات موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان بایستی ضوابط و محدودیت‌های این دستورالعمل را نیز تامین نمایند.

۲.۲.۲ مقاطع ساخته‌شده از ورق

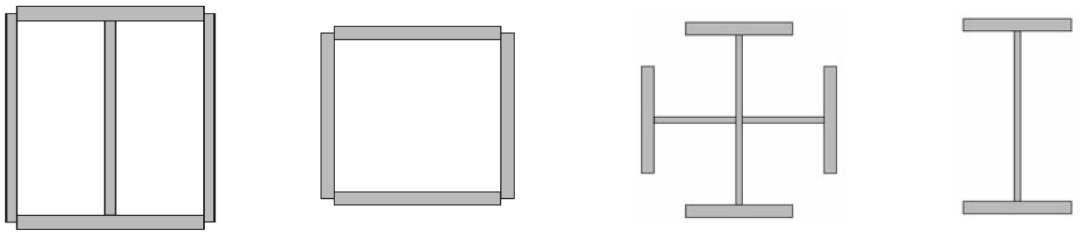
بال و جان مقاطع I شکل ساخته‌شده از ورق بایستی دارای عمق، عرض و ضخامت کافی و مشابه با مقاطع نورد شده بال پهن معادل باشند و همچنین الزامات طراحی برای مقاطع نورد شده بال پهن، برای مقاطع ساخته شده از ورق مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان نیز رعایت گردد.

برای اعضای تیر ورق‌ها –بجز در مواردی که مشخص شده است– بایستی اتصالات جان و بال باید با استفاده از جوش نفوذی کامل (CJP) با یک جفت جوش گوشه در فاصله‌ای بین انتهای تیر تا فاصله‌ای حداقل برابر عمق تیر انجام گیرد. حداقل اندازه جوش‌های گوشه باید برابر کمترین مقدار مربوط به ضخامت جان تیر و ۸ میلیمتر باشد. جان مقاطع نیز باید الزامات طراحی مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) تامین نمایند و به طور پیوسته به بال‌ها اتصال داشته باشند.

توجه ۱: اجرای جوش نفوذی کامل با یک جفت جوش گوشه نباید در محل موقعیت مفصل پلاستیک (S_h) انجام گیرد.

توجه ۲: اجرای این نوع از اتصالات جان و بال برای اعضای تیر ورق‌ها –بجز در مواردی که مشخص شده است– در اتصالات خمشی تیر به ستون که نیازمند رعایت الزامات طراحی اضافی (به علت بارهای وارده (اضافی) یا نوع قاب‌های خمشی (ویژه یا متوسط)) قابل کاربرد نیست.

ستون‌های ساخته‌شده از ورق باید کلیه الزامات طراحی بند ۱۰-۲-۴-۷ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان را – بجز در مواردی‌که مشخص شده است– تامین نمایند. انتقال کلیه نیروهای داخلی و تنش‌ها بین اجزای این ستون‌ها باید از طریق جوش‌ها انجام گیرد. چند نمونه از مقاطع ساخته شده از ورق برای ستون‌ها در شکل ۲-۲ نشان داده است. در مقاطع ستون‌های ساخته‌شده از ورق باید کلیه ضوابط ذیل تامین گردد.

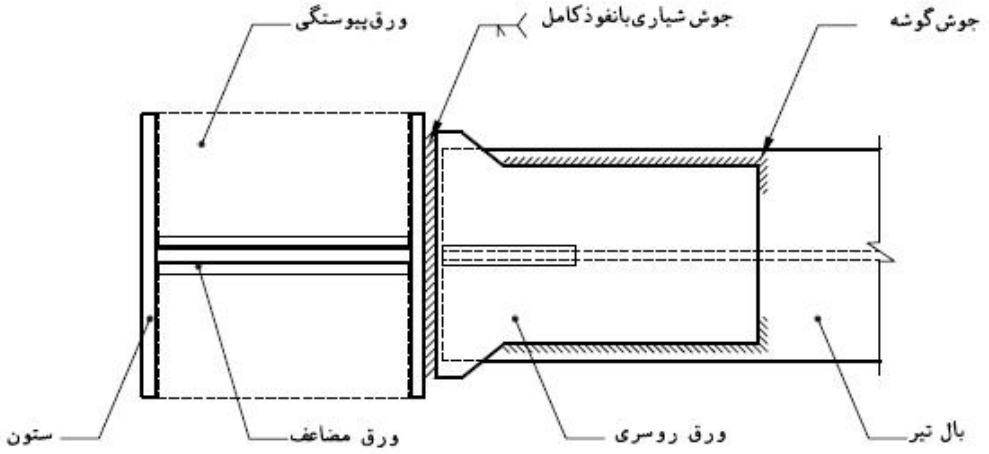


مقطع I شکل | مقطع صلیبی شکل بال دار | مقطع جعبه ای شکل | مقطع جعبه ای شکل ساخته شده از مقطع I بال پهن

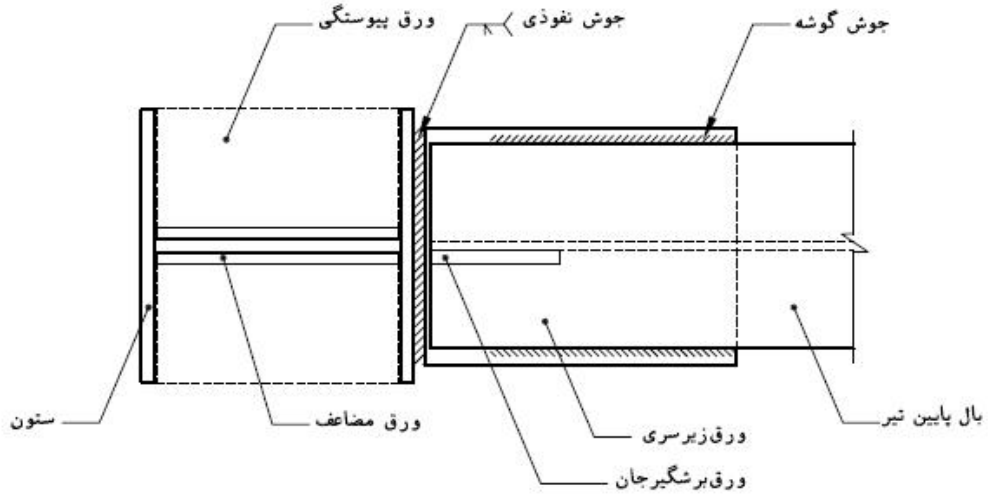
شکل ۲-۲ : مقاطع ساخته شده

۱.۲.۲.۲ ستون‌های H شکل

اجزای تشکیل‌دهنده ستون‌های H شکل همانند شکل ۲-۳ باید الزامات طراحی بند ۱۰-۲-۴-۷ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان را تامین نمایند. در محل اتصال تیر به ستون، ورق‌های مورد استفاده در جان ستون‌ها و بال-ها باید از طریق جوش نفوذی کامل و یک جفت جوش گوشه در ناحیه‌ای به اندازه حداقل ۳۰۰میلیمتر بالا و پایین بال تیر در محل اتصال امتداد داشته باشند. حداقل اندازه جوش گوشه باید کمترین مقدار ضخامت جان ستون و ۸میلیمتر باشد. در صورت نیاز (بر اساس ضوابط و محاسبات) به ورق پیوستگی و ورق مضاعف این اجزای اتصال باید در محل مناسب و با اتصال کافی و مناسب به جان و بال ستون متصل شوند.



(۲-۳-الف) : اتصال تیر به ستون ساخته شده H شکل با ورق روسری ذورنقه ای شکل



(۲-۳-ب) : اتصال تیر به ستون ساخته شده H شکل با ورق زیرسری

شکل ۲-۳ : اجزای اتصالات تیر به ستون های H شکل ساخته شده از ورق

۲.۲.۲.۲ ستون‌های جعبه‌ای شکل بال پهن

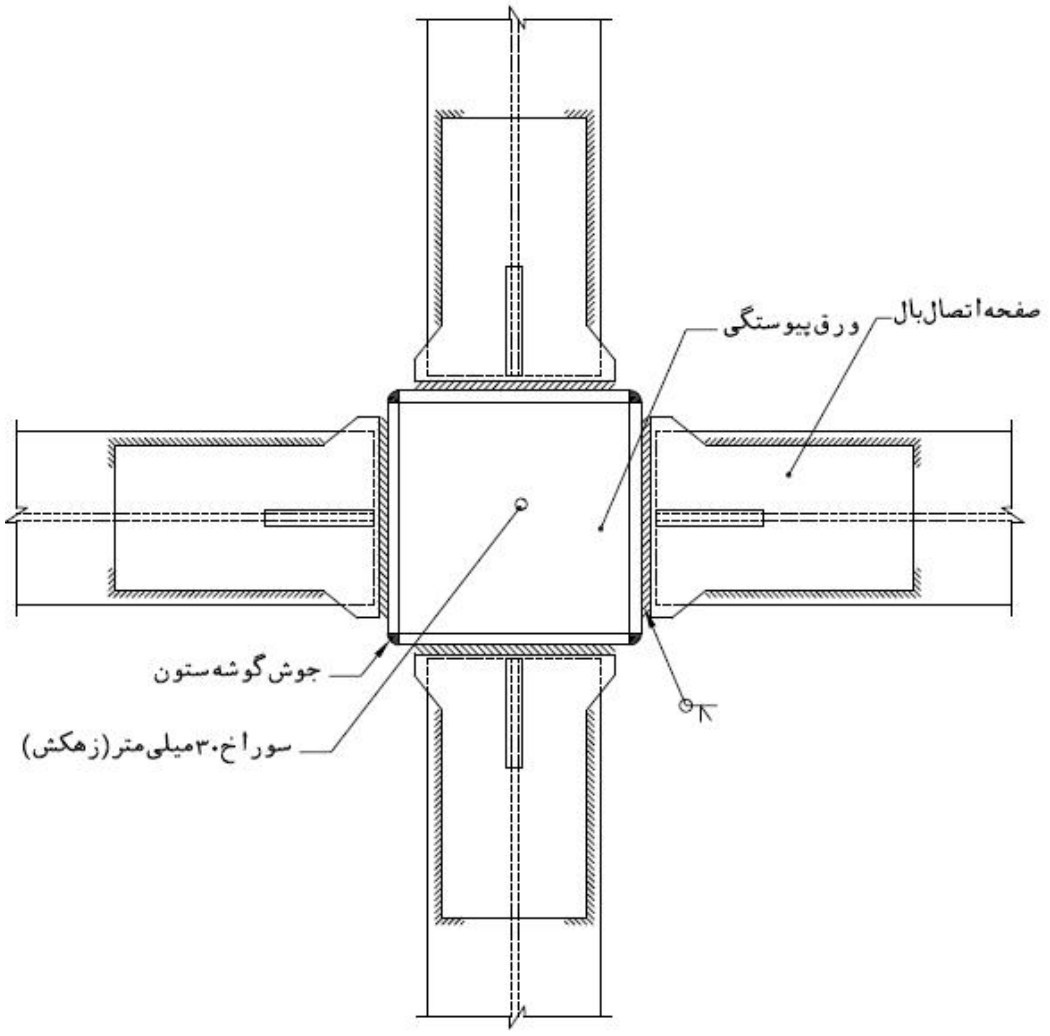
ستون‌های جعبه‌ای شکل بال پهن باید الزامات ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (بند ۱۰-۲-۲-۲) برای کنترل کمانش موضعی اجزای مقطع تحت اثر تنش های فشاری و خمشی و ضوابط AISC (در صورت نیاز) را تامین نمایند. همچنین برای نسبت عرض به ضخامت (b/t) ورق‌های مورد استفاده در بال ستون‌ها باید رابطه (۲-۱) برقرار باشد:

$$\frac{b}{t} \le \sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad (۲-۱)$$

که در این رابطه b نباید کمتر از فاصله خالص بین ورق‌ها در نظر گرفته شود. همچنین برای ورق‌های جان ستون‌ها، نسبت عرض ورق جان (h) به ضخامت (t_w) باید الزامات طراحی مربوط به نسبت پهنا به ضخامت اجزای

فشاری تقویت نشده (جدول ۱۰-۲-۲-۱) یا تقویت شده (۱۰-۲-۲-۲) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) و یا (در صورت نیاز) جدول I-8-1 آیین نامه AISC341-10 را تامین نمایند.

اتصال ورق‌های مورد استفاده در جان و بال ستون‌ها باید از طریق جوش شیاری با نفوذ کامل و یک جفت جوش گوشه در ناحیه‌ای به اندازه حداقل ۳۰۰ میلیمتر در بالا و پایین بال فوقانی و تحتانی محل اتصال تیر به ستون امتداد داشته باشند. در خارج از این ناحیه، اجزای ورق باید به صورت پیوسته توسط جوش گوشه یا شیاری متصل شده باشند.

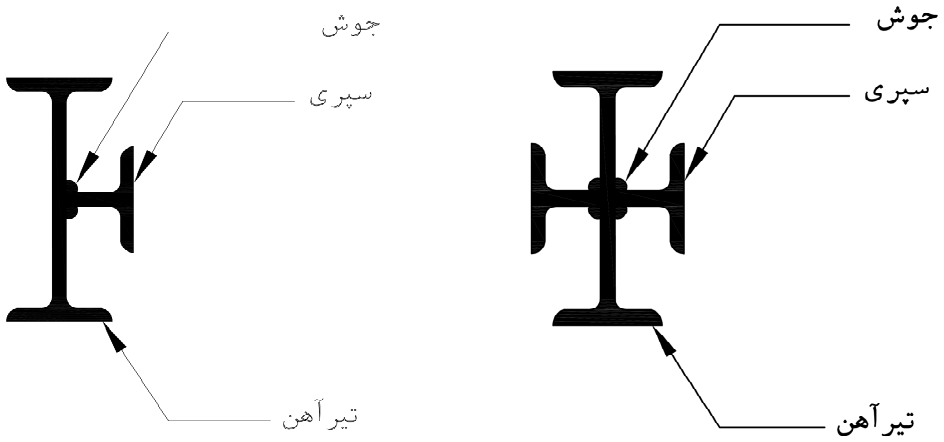


شکل ۲-۴ : نحوه اتصال بین ورق های بال و جان ستون ساخته شده در ستون های با مقطع جعبه‌ای شکل

۳.۲.۲.۲ ستون‌های با مقطع سپری و نورد شده

ستون‌های با مقطع با سپری و تیر آهن شامل اجزای نورد شده یا ساخته شده از ورق (شکل ۲-۵) باید الزامات طراحی برای مقاطع ساخته شده تحت اثر فشار (بند ۱۰-۲-۴-۷) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) و بخش E6 آیین نامه AISC360-10 را تامین نمایند. اتصال بین جان T شکل و مقطع I شکل پیوسته باید از

طریق جوش شیاری با نفوذ کامل و یک جفت جوش گوشه به در ناحیه‌ای به اندازه حداقل ۳۰۰ میلیمتر در بالا و پایین بال فوقانی و تحتانی محل اتصال تیر به ستون امتداد داشته باشد. حداقل اندازه جوش گوشه باید کمترین مقدار ضخامت جان ستون و ۸ میلیمتر باشد. ورق‌های پیوستگی باید ضوابط طراحی ستون‌ها با مقاطع بال پهن (الزامات لرزه ای کمانش موضعی مطابق بند ۱۰-۳-۴ مبحث دهم مقرات ملی ساختمان) را تامین نمایند.



شکل ۲-۵ : ستون های مرکب با مقطع سپری و مقطع نورد شده

۳.۲.۲ انواع اتصالات خمشی گیردار از پیش تایید شده تیر به ستون

در صورتی‌که اتصالات معرفی شده در این بخش ضوابط و محدودیت‌های بیان شده را تامین نمایند آنگاه به عنوان اتصالات خمشی گیردار از پیش تایید شده تیر به ستون و در قاب‌های خمشی ویژه (SMF) و متوسط (IMF) قابل استفاده خواهند بود.

- اتصال پیچی با ورق‌های روسری و زیرسری (BFP)
- اتصال مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته (RBS)
- اتصال از طریق ورق انتهایی با سخت‌کننده (با ورق لچکی) (BSEEP) و بدون سخت‌کننده (بدون ورق لچکی) (BUEEP) (اتصالات فلنجی تیر به ستون)
- اتصال مستقیم تقویت‌نشده جوشی (WUF-W)
- اتصال جوشی با ورق‌های روسری و زیرسری (WFP)
- اتصال تیر به ستون با اتصال لچکی پیچ شده Kaiser (KBB)
- اتصال تیر به ستون از نوع ConXL

رعایت ضوابط و محدودیت‌های بیان شده برای اتصالات معرفی شده باعث تامین گیرداری[1] (FR) می‌گردد. ضوابط و محدودیت‌های اتصالات تیر به ستون نیمه‌گیردار[2] (PR) در قاب‌های خمشی معمولی در بخش ۷.۳.۲.۱ ارائه شده است.

۱.۳.۲.۲ ویژگی‌ها و مشخصات اتصالات خمشی گیردار از پیش تایید شده

۱.۱.۳.۲.۲ ضرایب مقاومت

هنگامی‌که مقادیر مقاومت‌های موجود بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌ای مشخص می‌گردد، لازم است برای در نظر گرفتن اثرات ناشی از عوامل مختلف نظیر کیفیت مصالح و ساخت، تجهیزات کارگاهی و رفتار مورد انتظار اتصالات پیش تایید شده و در جهت محافظه‌کارانه و تامین قابلیت اعتماد لازم در این اتصالات از ضرایب کاهش مقاومت استفاده گردد. بنابراین برای حالات حدی شکل‌پذیر (Ductile) از ضریب مقاومت $\phi_d=1.00$ و برای حالات حدی غیرشکل‌پذیر از ضریب مقاومت (Nonductile) $\phi_n=0.9$ در محاسبه ظرفیت و مقاومت اعضای مختلف اتصالات تیر به ستون استفاده شده است.

۲.۱.۳.۲.۲ ناحیه حفاظت شده

مطابق تعریف و ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ناحیه حفاظت شده در یک عضو از سازه ناحیه‌ای شکل‌پذیر از عضو است که انتظار می‌رود در آن مفصل پلاستیک تشکیل شود. به دلیل اهمیت این ناحیه و رفتار حساس آن در حرکات رفت و برگشتی سازه، این ناحیه باید عاری از هر گونه عملیاتی که موجب دگرگونی عملکرد عضو در این ناحیه می‌شود، باشد. ناحیه حفاظت شده در دو انتهای تیر، فاصله بین بر ستون تا نصف عمق تیر از محل تشکیل مفصل پلاستیک به سمت داخل دهانه در نظر گرفته می‌شود. این ناحیه – بجز در مواردی‌که مشخص شده است – باید کلیه الزامات لرزه‌ای مربوط به اتصالات و مقاطع را تامین نماید.

در اتصالات گیردار خمشی تیر به ستون از پیش تایید شده، ناحیه حفاظت شده برای هر نوع از این اتصالات به طور جداگانه قابل تعریف است.

نظر به اهمیت ناحیه‌ی حفاظت شده‌ی اعضا در تامین شکل‌پذیری مورد نیاز، الزامات عمومی که باید در اجزای ناحیه حفاظت شده در نظر گرفته شود به شرح ذیل است؛

بکار بردن وصله مستقیم یا غیرمستقیم جوشی یا پیچی نیمرخ‌ها یا ورق‌های تشکیل‌دهنده‌ی عضو در ناحیه حفاظت شده ممنوع است.

[1] Fully Restrained
[2] Partially Restrained

هرگونه ناپیوستگی ناشی از عملیات ساخت و نصب مانند جوش‌های موضعی، وسایل کمکی برای نصب، ناصافی‌های ناشی از برش‌های حرارتی در ناحیه حفاظت شده ممنوع بوده و در صورت وجود باید به نحو مناسبی بر طرف شده و تعمیر گردد.

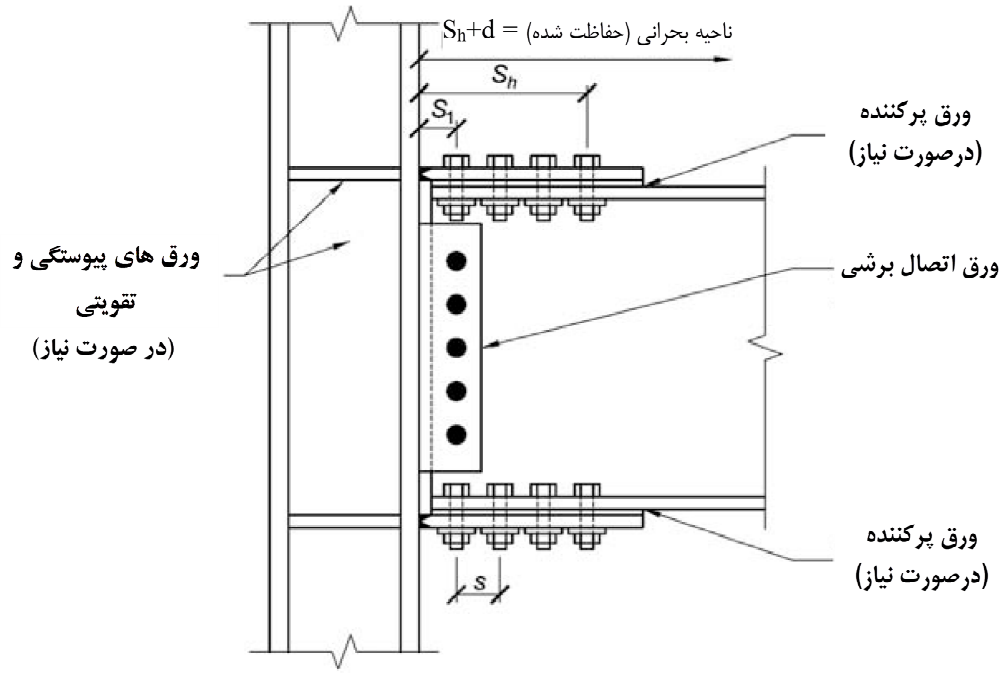
خال جوش کردن ورق‌های ذوزنقه‌ای تیرهای مختلط و نیز جوش برشگیرهای از نوع گل‌میخ در تیرهای مختلط در ناحیه حفاظت شده، در صورت تامین ضوابط این فصل (اتصالات از پیش تایید شده) مجاز است.

۳.۱.۳.۲.۲ ورق‌های پرکننده انگشتی

این ورق‌ها به منظور هم‌راستا نمودن (هم‌محور نمودن) و سهولت در اجرای اجزای سازه‌ای اتصالات بکار برده می‌شوند. ضوابط مربوط به کاربرد این ورق ها در اتصالات جوشی و پیچی در بند ۱۰-۲-۹-۵ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ارائه شده است. در صورت کاربرد مناسب ورق‌های پرکننده انگشتی تاثیر سازه‌ای بر روی پیش تنیدگی و آزادشدگی پیچ‌ها و عملکرد اتصالات ندارند. در صورت کاربرد کامل این ورق‌های پرکننده، تکیه‌گاهی به اندازه ۷۵٪ قطر پیچ در مقایسه با سطح کاهش یافته‌ی دارای پیچ در وسط آن و در امتداد طولی سوراخ لوبیایی تامین می‌شود. به عبارت دیگر نقش ورق‌های پرکننده انگشتی در هر دو طرف عضو و احاطه آنها توسط مصالح اجزای اتصالات به عنوان رابط بین سوراخ‌های انگشتانه می‌باشند. طبق ضوابط بند ۱۰-۳-۱۳-۳ و ۱۰-۳-۱۳-۴ کاربرد این ورق ها در هر دو نوع از اتصالات گیردار از پیش تایید شده فلنجی (BSEEP & BUEEP) و اتصال گیردار پیچی به کمک ورق های روسری و زیرسری (BFP) مجاز می باشد.

۲.۳.۲.۲ اتصال گیردار پیچی تیر به ستون از طریق ورق روسری و زیرسری[1] (BFP)

یک نمونه از اتصال گیردار پیچی تیر به ستون با ورق روسری و زیرسری (BFP) که در آن ورق فوقانی و تحتانی به بال تیر پیچ‌شده و اتصال ورق جان تیر به بال ستون مطابق شکل ۲-۶ از طریق کنترل برش اتصال تامین شده است.



شکل ۲-۶: جزئیات اتصال گیردار پیچی تیر به ستون با ورق روسری و زیرسری[2] (BFP)

اتصالات خمشی گیردار تیر به ستون با ورق فوقانی و تحتانی پیچ شده به بال تیر (BFP) از طریق اتصال جوشی بین ورق‌های پوششی یا ورق‌های فوقانی و تحتانی به ستون و نیز اتصال پیچی بین بال تیر و ورق‌های فوقانی و تحتانی برقرار می‌گردد و کلیه اتصالات از نوع اصطکاکی می‌باشند. برای این نوع اتصال ورق‌های فوقانی و تحتانی باید یکسان باشند، اتصال بین ورق‌های فوقانی و تحتانی به بال ستون از طریق جوش‌های شیاری با نفوذ کامل (CJP)[3] و اتصال این ورق‌ها به بال تیرها از طریق پیچ‌های پر مقاومت ایجاد شده باشد. اتصال جان تیر به بال ستون از طریق یک ورق به صورت نوار برشی و با جوش و پیچ برقرار می‌گردد. شروع تسلیم و تشکیل مفصل پلاستیک در تیر و در ناحیه مجاور انتهای ورق‌های فوقانی و تحتانی یا ورق‌های پوششی رخ می‌دهد.

با رعایت محدودیت‌های ضوابط لرزه‌ای، این نوع اتصالات شرایط لازم را برای استفاده در قاب‌های خمشی ویژه و متوسط را دارا می‌باشند. بایستی توجه نمود که کاربرد این اتصالات در قاب‌های خمشی ویژه با دال بتنی سازه‌ای در صورتی مجاز است که امکان تغییر شکل و دوران را در اتصالات تیر به ستون از طریق ایجاد فاصله بین دال

[1] Bolted Flange Plate (BFP) Moment Connection
[2] Bolted Flange Plate (BFP) Moment Connection
[3] Complete-Joint-Penetration (CJP) Groove Welds

بتنی و ستون به اندازه حداقل ۲۵میلیمتر از دو طرف بال ستون و از مصالح شکل‌پذیر در فضای بین بال ستون‌ها و بتن سازه‌ای دال مجاز می‌باشد.

۱.۲.۳.۲.۲ ضوابط و محدودیت‌های اتصال BFP

در این نوع اتصال، طبق ضوابط برای تیرها، استفاده از مقاطع نوردشده IPE یا مقاطع ساخته شده با ورق‌های فولادی برای مقاطع I شکل مجاز می‌باشد. در ستون‌ها نیز با رعایت ضوابط این مجموعه و الزامات بند ۱۰-۳-۱۳-۴ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان می‌توان از نیمرخ نورد شده یا مقاطع ساخته شده نیز استفاده نمود.

اتصال تیر به بال ستون بواسطه ورق‌های فوقانی و تحتانی یا ورق‌های پوششی باید از طریق جوش‌های شیاری با نفوذ کامل برقرار گردد.

حداکثر ارتفاع تیرها برای مقاطع نورد شده ۱۰۰سانتیمتر و برای مقاطع ساخته شده از ورق به ارتفاع مقطع نورد شده معادل محدود شده است. حداکثر ارتفاع مقطع نورد شده ستون‌ها هنگامی که از دال سازه‌ای بتنی استفاده می شود به مقدار ۱۰۰سانتیمتر محدود شده است. در صورت عدم استفاده از دال سازه‌ای بتنی حداکثر ارتفاع به مقدار ۴۰ سانتیمتر محدود گردد. ستون‌ها با مقطع صلیبی نباید عرض یا عمق بیشتر از مقادیر مجاز مقاطع نورد شده را داشته باشند. مقاطع ستون‌های جعبه‌ای بال پهن در صورت مشارکت در عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی در دو راستای متعامد نباید عرض یا عمق بیشتر از ۷۰ سانتیمتر را داشته باشند.

به منظور تامین شکل‌پذیری کافی در قاب‌های خمشی ویژه (SMF) حداکثر وزن واحد طول تیرها به مقدار ۲۵۰ کیلوگرم بر متر محدود شده است ولی هیچگونه محدودیتی برای وزن واحد طول ستون‌ها وجود ندارد.

به منظور تامین شکل‌پذیری کافی در قاب‌های خمشی ویژه (SMF) حداکثر ضخامت بال تیر به مقدار ۳۰ میلیمتر محدود شده است.

به منظور تامین تقاضای دوران اتصالات در محدوده غیرخطی برای قاب‌های خمشی ویژه (SMF) حداقل نسبت فاصله خالص دهانه به عمق تیر در قاب‌های خمشی ویژه برابر ۹ و در قاب‌های خمشی متوسط به مقدار ۷ محدود شده است.

نسبت عرض به ضخامت در بال‌ها و جان تیرها و ستون‌ها بایستی مطابق الزامات ضوابط لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باشد.

مهار جانبی تیرها بایستی مطابق بند ۱۰-۳-۶ الزامات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تامین گردد. مطابق بند ۱۰-۳-۱۳-۴ الزامات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای مهار جانبی در محل مفاصل پلاستیک، بایستی در فاصله‌ی d تا 1.5d از دورترین پیچ از بر ستون (S_h) جانبی الحاقی در بال‌های بالا و پایین تیر نیز تامین شود و

نباید هیچ‌گونه قطعه اضافی (نظیر برش‌گیرها، قطعات الحاقی نگهدارنده) و ناپیوستگی در این ناحیه ($S_h+\{d_1.5d\}$) ایجاد گردد.

تبصره: برای سیستم‌های خمشی ویژه و متوسط که در دال سازه‌ای بتنی آنها در امتداد دهانه تیر و بین فواصل ($S_h+\{d_1.5d\}$) از بر ستون (فاصله بین دو مفصل پلاستیک در داخل دهانه) با استفاده از برشگیرهای جوش شده به فواصل حداکثر ۳۰۰میلیمتر استفاده شده است آنگاه مهار جانبی الحاقی بال تیر در محل مفاصل پلاستیک نیاز نمی‌باشد.

ناحیه بحرانی[1] (حفاظت شده) فاصله‌ای برابر با عمق تیر از مرکز موقعیت آخرین پیچ نسبت به بر ستون (S_h+d) می‌باشد.

۲.۲.۳.۲.۲ محدودیت‌های اتصالات تیر به ستون

اتصالات تیر به ستون باید محدودیت‌های ذیل را تامین نماید:

چشمه‌های اتصال باید مطابق بندهای ۱۰-۲-۹-۱۰ و ۱۰-۳-۸-۴ الزامات لرزه‌ای موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باشند.

نسبت لنگر ستون به تیر باید مطابق بند ۱۰-۳-۹-۲ الزامات لرزه‌ای موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و فصل اول این دستورالعمل (بند ۴.۳.۲.۱ تیر ضعیف – ستون قوی) باشند.

۳.۲.۳.۲.۲ جزئیات اتصالات

مشخصات مصالح ورق‌ها

کلیه ورق‌های اتصالات باید مطابق یکی از مشخصات استانداردهای مرسوم و معتبر موجود باشند.

جوش ورق بال تیر

ورق‌های فوقانی و تحتانی بال تیرها باید از طریق جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP) و با در نظر گرفتن نیروهای لرزه‌ای مورد نیاز بحرانی به بال ستون متصل شوند. جوش‌های نفوذی فوقانی و تحتانی ورق نباید به یکدیگر متصل شوند. همچنین اگر در اتصال تیر به ستون از ورق پشت‌بند برای جوشکاری استفاده شود آنگاه باید بعد از جوشکاری این ورق برداشته شود. به منظور دسترسی به جوش بی‌عیب و بعد جوش مناسب ناحیه زیر پاس ریشه جوش باید تمیزکاری گردد.

اتصالات ورق برشی جان تیر

[1] Protected Zone

اتصال ورق برشی به بال ستون بایستی از طریق جوش انجام گیرد. اتصال هر ورق برش به بال ستون باید شامل جوش‌های شیاری با نفوذ کامل (CJP)، جوش‌های دو طرفه نفوذی نسبی (PJP) یا جوش‌های گوشه دو طرفه باشد.

پیچ‌های اتصالات

آرایش پیچ‌ها به طور متقارن و حول محورهای تیر قرار گیرد و تعداد آنها در صفحات بال اتصالات به دو پیچ در هر ردیف محدود گردد. طول مجموعه پیچ‌ها نباید بیش از عمق تیر باشد و از سوراخ‌های استاندارد در بال تیر و ورق بال‌ها استفاده شود.

توجه: سوراخ پیچ‌ها در بال تیرها و در ورق‌های بال باید از طریق دستگاه سوراخکاری و دستگاه مته‌کاری ایجاد شوند. استفاده از سوراخ‌های منگنه‌ای (پانچ) مجاز نمی‌باشد.

پیچ‌ها در ورق‌های بال باید بر اساس الزامات ساخت و از نوع پیچ‌های پر مقاومت طبق بند ۱۰-۲-۹-۳ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باشند. دندانه‌های پیچ‌ها باید خارج از سطح برش قرار گیرند و حداکثر قطر پیچ به مقدار ۲۷میلیمتر محدود گردد.

۴.۲.۳.۲.۲ مراحل طراحی اتصالات BFP

برای طراحی اتصالات BFP لازم است مراحل ذیل به ترتیب انجام گردند:

۱) محاسبه لنگر خمشی بیشینه در محل مفصل پلاستیک تیر (M_{pr})

۲) محاسبه حداکثر قطر پیچ به منظور جلوگیری از گسیختگی کششی در بال تیر

برای سوراخ‌های استاندارد دارای دو پیچ در هر ردیف می‌توان از رابطه (۲-۲) استفاده نمود:

$$d_b \le \frac{b_f}{2}\left(1-\frac{R_y F_y}{R_t F_u}\right)-3mm \qquad (۲-۲)$$

که در این رابطه:

d_b : قطر سوراخ پیچ [mm]

b_f : عرض بال تیر[mm]

R_y : نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم مشخصه (F_y) که مقدار آن مطابق جدول ۲-۱ است.

R_t : نسبت مقاومت کششی مورد انتظار به حداقل مقاومت کششی مشخصه مصالح بال مقطع که مقدار آن مقدار آن مطابق جدول ۲-۱ است.

جدول ۲-۱ : مقادیر R_y و R_t برای انواع تولیدات فولاد

نوع محصول	R_y	R_t
مقاطع نورد شده و میلگردها (ASTM A36/A36M)	1.5	1.2
مقاطع توخالی(HSS) ASTM A500/A500M (Gr. B or C), ASTM A501	1.4	1.3
مقاطع ساخته شده از ورق‌ها، تسمه‌ها و صفحه‌ها(ASTM A36/A36M)	1.3	1.2

جهت تعیین R_y و R_t برای سایر انواع فولادها و نیز سایر تولیدات فولادی می‌توان از مراجع معتبر نظیر ASTM استفاده نمود.

F_u : تنش گسیختگی و F_y تنش تسلیم می‌باشند.

توجه: بعد از انتخاب قطر پیچ باید ضوابط مربوط به فاصله از لبه برای سوراخ‌های بال تیر طبق ضوابط و الزامات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان کنترل گردد.

۳) برای در نظر گرفتن مقاومت اتکایی در جدار سوراخ پیچ‌ها و همچنین محدود نمودن مقاومت برشی طراحی پیچ‌های اتصال لازم است مقاومت برشی اتصال پیچ ها به کمترین مقدار حاصل از مقاومت برشی پیچ در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه دار نگذرد و مقاومت اتکایی جدار سوراخ پیچ در اتصالات اتکایی و اصطکاکی با در نظر گرفتن برش قالبی و بطور جداگانه برای بال ورق بال و همچنین بال مقطع تیر کنترل گردد. بنابراین با رعایت ضوابط مربوط به فاصله پیچ‌ها از لبه‌های ورق، ضوابط عرض بال تیر و ضوابط مربوط به اندازه پیچ‌ها، مقاومت برشی اسمی (r_n) و طراحی (ϕr_n در روش ضرایب بار و مقاومت و r_n/Ω در روش تنش مجاز) کنترل‌کننده هر پیچ با در نظر گرفتن برش هر پیچ و ظرفیت باربری آن بر اساس رابطه (۲-۵) محدود می‌شود:

$$r_n = \min\left(1.0F_{nv}A_{nb}, 2.4F_{ub}d_bt_f, 2.4F_{up}d_bt_p\right) \qquad (۲-۳)$$

$\phi = 0.75$ روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$\Omega = 2.00$ روش تنش مجاز (ASD)

در این رابطه؛

F_{nv}: تنش برشی اسمی مطابق جدول ۱۰-۲-۹-۱۰ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

F_{nv}: مقاومت اسمی کششی مشخصه مصالح تیر

F_{up}: مقاومت اسمی کششی مشخصه مصالح ورق

A_{nb}: سطح مقطع اسمی (مقطع بدون دندانه) وسیله اتصال (پیچ یا قطع دندانه شده)

d_{nb}: قطر اسمی پیچ

t_f: ضخامت بال تیر

t_p: ضخامت ورق

۴) با در نظر گرفتن یک فرض مشخص برای ضخامت ورق بال (t_p) تعداد پیچ‌ها از رابطه (۲-۴) محاسبه می‌شوند:

$$n \geq \frac{1.25M_{pr}}{\phi_n r_n \left(d + t_p\right)} \qquad \phi_n = 0.9 \qquad (۲-۴)$$

در این رابطه n تعداد پیچ‌ها است (که به تعداد بزرگتر گرد می‌شود) و ϕ_n ضریب مقاومت برای حالات حدی غیرشکل‌پذیر و d عمق تیر بر حسب میلیمتر است.

۵) مشخص نمودن موقعیت محل مفصل پلاستیک (S_h) نسبت به بر ستون از رابطه (۲-۵)؛

$$S_h = S_1 + s\left(\frac{n}{2} - 1\right) \qquad (۲-۵)$$

که در این رابطه S_1 فاصله از بر ستون تا نزدیک‌ترین ردیف پیچ‌های موجود و s فاصله ردیف‌های پیچ بر حسب میلیمتر می‌باشند.

تبصره : فواصل اتصالات پیچی نسبت به یکدیگر و نسبت به لبه ورق برای روش ضرایب بار و مقاومت باید مطابق ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ۱۳۹۲ (بند ۱۰-۲-۹-۳-۲) و برای روش تنش مجاز باشد.

۶) محاسبه نیروی برشی در موقعیت محل مفصل پلاستیک در هر انتهای تیر

برای این منظور لازم است با استفاده از دیاگرام آزاد تیر بین موقعیت‌های مفاصل پلاستیک دو انتهای تیر، نیروی برشی در محل مفصل پلاستیک محاسبه شود. این نیروی برشی، ناشی از لنگر خمشی پلاستیک (M_{pr}) و بار ثقلی ضریب‌دار (روش ضرایب بار و مقاومت) و بدون ضریب (روش تنش مجاز) است.

$$V_h = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_u \qquad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)} \qquad (۲-۶)$$
$$V_u = \frac{W_u L_h}{2}$$

$$V_h = \frac{2(0.6M_{pr})}{L_h} + V \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۲-۷)$$
$$V = \frac{WL_h}{2}$$

۷) محاسبه لنگر مورد انتظار در بر بال ستون

برای این منظور از روابط بیان شده در بند ۱-۲-۳-۲ برای لنگر مورد انتظار در بر بال ستون استفاده می‌شود.

۸) محاسبه نیروی ایجاد شده در ورق بال تحت اثر لنگر مورد انتظار در بر بال ستون (M_f)

$$F_{pr_u} = \frac{M_{EU}}{\left(d + t_p\right)} \qquad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)} \qquad (۲-۸)$$

$$F_{pr_s} = \frac{M_{ES}}{\left(d + t_p\right)}$$ روش تنش مجاز (ASD) (۹-۲)

که در این رابطه d عمق تیر [mm] و t_p ضخامت ورق بال [mm] می‌باشد.

۹) بررسی کنترل کفایت تعداد پیچ‌های انتخاب شده در مرحله (۴)

$$n \geq \frac{F_{pr_u}}{\phi_n r_n} \qquad \phi_n = 0.9$$ روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) (۱۰-۲)

$$n \geq \frac{F_{pr_s}}{\phi_n r_n} \qquad \phi_n = 0.9$$ روش تنش مجاز (ASD) (۱۱-۲)

۱۰) کنترل کفایت ضخامت ورق پوشش یا اتصال بال مشخص شده در مرحله (۴)

$$t_p \geq \frac{F_{pr_u}}{\phi_d F_y b_{fp}} \qquad \phi_d = 1$$ روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) (۱۲-۲)

$$t_p \geq \frac{F_{pr_s}}{\phi_d F_y b_{fp}} \qquad \phi_d = 1$$ روش تنش مجاز (ASD) (۱۳-۲)

در این رابطه F_y حداقل تنش تسلیم مشخصه ورق بال [MPa] و ϕ_d ضریب مقاومت برای حالات حدی شکل‌پذیر و b_{fp} عرض ورق بال [mm] می‌باشد.

۱۱) کنترل کفایت ورق پوششی بال برای گسیختگی کششی مطابق رابطه (۲-۱۶)

$$F_{pr_u} \leq Min \begin{cases} \phi_t F_y A_g & \phi_t = 0.9 \\ \phi_t F_u A_e & \phi_t = 0.75 \end{cases}$$ روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$A_e = U A_n$$ (۱۴-۲)

$$F_{pr_s} \leq Min \begin{cases} 0.6 F_y A_g \\ 0.5 F_u A_e \end{cases}$$ روش تنش مجاز (ASD)

$$A_e = U A_n \leq 0.85 A_g$$

در این رابطه برای روش ASD در صورت وجود حداقل سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو U=0.85 و برای دو وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو U=0.75 و برای روش LRFD مقدار U از جدول ۱۰-۲-۳-۱ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان استفاد گردد، A_e سطح مقطع خالص موثر، A_g سطح مقطع کل و A_n سطح مقطع خالص عضو می‌باشد.

۱۲) کنترل بال تیر برای گسیختگی قالبی مطابق رابطه (۲-۱۷)

$$F_{pr_u} \leq \phi R_n$$

$$\phi = 0.75$$ روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$R_n = 0.6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$ (۱۵-۲)

$$F_{pr_s} \leq R_n$$

$$R_n = 0.3 F_u A_{nv} + 0.5 U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.3 F_y A_{gv} + 0.5 U_{bs} F_u A_{nt}$$ روش تنش مجاز (ASD)

در این رابطه A_{gv} سطح مقطع کلی تحت برش، A_{nt} سطح مقطع کلی تحت کشش، A_{nt} سطح مقطع خالص تحت برش، F_u تنش کششی گسیختگی فولاد، F_y تنش تسلیم فولاد و U_{bs} ضریب تنش که برای توزیع یکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی یک و برای توزیع غیریکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی ۰/۵ است.

۱۳) کنترل ورق بال برای کمانش فشاری

برای کنترل کمانش بال تحت اثر بار فشاری و برای $KL/r\leq 25$ مطابق رابطه (۲-۱۶) خواهیم داشت:

$$F_{pr_u} \leq 0.9F_y A_g \quad \text{روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)}$$
$$F_{pr_s} \leq 0.6F_y A_g \quad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۲-۱۶)$$

اگر $KL/r>25$ باشد آنگاه کنترل ضوابط مربوط به کمانش موضعی ورق ضروری است.

تبصره ۱: در کنترل کمانش فشاری ورق بال، می‌توان طول موثر (KL) را مقدار $0.65S_1$ در نظر گرفت.

تبصره ۲: برای تعیین اندازه قابل قبول برای ورق بال می‌توان محاسبات مرحله (۳) تا (۱۳) را با روش سعی و خطا تکرار نمود.

۱۴) محاسبه مقاومت برشی مورد نیاز (V_{ES} یا V_{EU}) تیر برای اتصال جان تیر به ستون

برای این منظور از روابط بیان شده در بند ۲.۳.۲.۱ برای نیروی برشی مورد نیاز در بر بال ستون استفاده می‌شود.

۱۵) طراحی یک ورق برشی اتصال بر اساس مقاومت برشی مورد نیاز (V_u) (محاسبه شده در مرحله (۱۵)) در موقعیت بر ستون اتصال که الزامات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان را نیز تامین نماید.

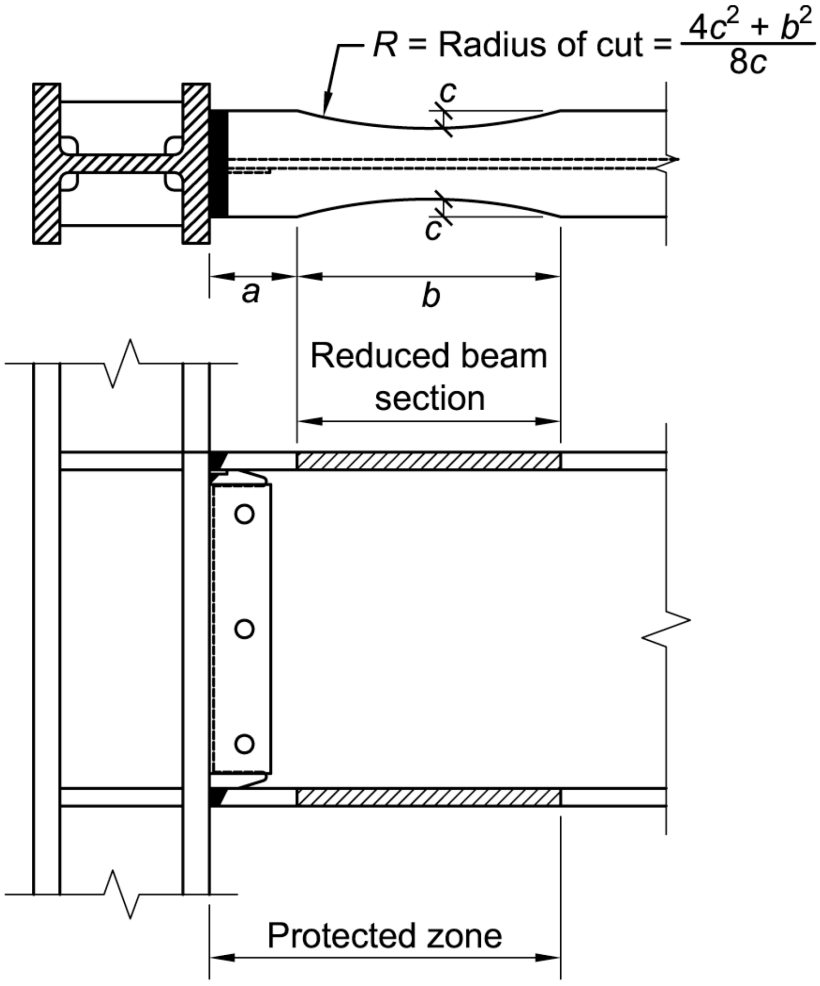
۱۶) کنترل ضوابط مربوط به ورق پیوستگی

۱۷) کنترل ضوابط مربوط به چشمه اتصال ستون

۳.۳.۲.۲ اتصال گیردار مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته[1] (RBS)

در اتصال تیر به ستون با مقطع کاهش یافته (RBS) تیر به ستون همانند شکل ۲-۷ قسمت‌هایی از ابعاد بال تیر در ناحیه‌ای در مجاورت محل اتصال تیر به ستون طبق ضوابط معینی به صورت انتخابی کاهش داده می‌شود. این عمل باعث تشکیل مفصل و وقوع تسلیم در محل مقطع کاهش‌یافته تیر می‌گردد.

رعایت ضوابط این بخش، شرایط استفاده از اتصالات RBS را در قاب‌های خمشی ویژه (SMF) و متوسط (IMF) فراهم می‌نماید.



شکل ۲-۷: اتصال تیر با مقطع کاهش یافته (RBS) به ستون

۱.۳.۳.۲.۲ محدودیت‌ها و الزامات اتصال RBS

تیرها و ستون‌ها بایستی از نیمرخ نورد شده یا مقاطع ساخته شده از ورق طبق ضوابط ارائه شده برای مشخصات مصالح باشند.

[1] Reduced Beam Section (RBS) Moment Connection

اتصال تیر به ستون از طریق اتصال تیر به بال ستون انجام گیرد.

حداکثر ارتفاع تیرها و ستون‌ها برای مقاطع نورد شده ۱۰۰ سانتیمتر و برای مقاطع ساخته شده از ورق به ارتفاع مقطع معادل نورد شده محدود شده است. ابعاد عرض و ضخامت بال ستون‌ها با مقطع صلیبی نباید بیشتر از مقادیر مجاز آن در مقاطع نورد شده معادل باشند. مقاطع ستون‌های جعبه‌ای بال پهن در صورت مشارکت در عملکرد لرزه-ای قاب‌های خمشی در دو راستای متعامد نباید عرض یا عمق بیشتر از ۷۰ سانتیمتری را داشته باشند. حداکثر ارتفاع مقطع نورد شده ستون‌ها هنگامی که از دال سازه‌ای بتنی استفاده می شود به مقدار ۱۰۰سانتیمتر محدود شده است. در صورت عدم استفاده از دال سازه‌ای بتنی حداکثر ارتفاع به مقدار ۴۰ سانتیمتر محدود گردد.

برای تیرها حداکثر وزن واحد طول به مقدار ۴۵۰ کیلوگرم بر متر محدود شده است ولی هیچ‌گونه محدودیتی برای وزن واحد طول ستون‌ها وجود ندارد.

حداکثر ضخامت بال اعضا به مقدار ۵۰ میلیمتر محدود شده است. حداقل نسبت فاصله خالص دهانه به عمق تیر در قاب‌های خمشی ویژه برابر ۷ و در قاب‌های خمشی متوسط به مقدار ۵ محدود شده است.

نسبت عرض به ضخامت در بال‌ها و جان تیرها و ستون‌ها بایستی مطابق الزامات ضوابط لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باشد. برای اینکه بارهای ثقلی موقعیت مفصل پلاستیک را به فاصله قابل ملاحظه‌ای از مرکز مقطع کاهش یافته تیر انتقال ندهند، اندازه عرض بال در محاسبات مربوط به نسبت عرض به ضخامت بال باید بیشتر از عرض بال در فاصله $\frac{۲}{۳}$ از مرکز مقطع کاهش یافته باشد.

مهاربندی جانبی تیرها مطابق با بند ۱۰-۳-۶ ضوابط لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تامین گردد.

مهاربندی جانبی الحاقی[1] باید طبق ضوابط لرزه‌ای مجاور مقطع کاهش یافته و در مجاورت مفاصل پلاستیک انجام گیرد. مطابق با Commentry on the Seismic Provisons for Structural Steel Buildings AISC (ANSI/AISC-341-10) بخش D1-2c و E3-4b می توان از مهاربندی جانبی الحاقی در مجاورت مقطع کاهش یافته و مفاصل پلاستیک استفاده نمود. در صورت استفاده از مهاربندی جانبی الحاقی، اجزای تشکیل دهنده آن در تیر نباید در فاصله‌ای بیشتر از d/2 (d عمق تیر) از انتهای دورترین موقعیت مقطع کاهش یافته تیر نسبت به بر ستون قرار داشته باشند. هیچ کدام از اجزای مهاربندی جانبی نباید بر روی تیر در ناحیه بین بر ستون تا انتهای دورترین موقعیت مقطع کاهش یافته نسبت به بر ستون قرار داشته باشند. استفاده از مهارجانبی الحاقی باعث افزایش مقاومت مورد انتظار تیر می گردد.

بدون استفاده از مهاربندی جانبی الحاقی در اتصالات RBS میزان تقاضی تغییر شکل زلزله بیش از مقادیر قابل انتظار این نوع اتصال خواهد بود. نتایج آزمایشگاهی نیز ثابت نموده اند که استفاده از مهاربندهای جانبی الحاقی در بهبود عملکرد اتصال خمشی RBS موثر بوده است. همچنین وجود دیافراگم های صلب نیز تا حدودی

[1] Supplemental Lateral Bracing

به عنوان نقش مهاربند جانبی الحاقی را ایف نموده اند بطوریکه در کف های طبقات با دال بتنی سازه ای لزومی به استفاده از مهاربند جانبی الحاقی نمی باشد.

در صورت استفاده از مهاربند جانبی الحاقی، عضو مهاری نباید به مقطع کاهش یافته (ناحیه حفاظت شده) متصل باشد. اعضای مهاربندی جانبی الحاقی در ناحیه ای از اتصال که در آن انتظار وقوع تغییر شکل های جانبی و دورانی بر اساس ضوابط طراحی اتصال RBS پیش بینی شده است ممکن است شروع گسیختگی های زیادی را در این ناحیه تحمل نماید. به این ترتیب در صورت تامین مهاربندی جانبی الحاقی، بایستی جزئیات اجرایی آن در ناحیه بین بر ستون تا دورترین موقعیت مقطع کاهش یافته RBS از بر ستون قرار گیرد.

مهاربندی جانبی ستون‌ها به منظور جلوگیری از حرکت جانبی بال ستون در محل اتصال به تیر و در نتیجه کنترل کمانش جانبی – پیچشی با هدف ممانعت از رفتار غیرالاستیک ستون ها و تشکیل مفصل پلاستیک در ستون ها باید مطابق ضوابط بند ۱-۲-۳-۳-۱ این دستورالعمل و نیز ضوابط بند E3-4a در ANSI/AISC 341-10 باشد. تامین مهار جانبی ستون در محل اتصال به تیر ها باعث استفاده بیشتر از ظرفیت رفتار لرزه ای ستون ها خواهد شد و همچنین ممکن است نیاز به استفاده از ورق پیوستگی و مضاعف نیز در ستون وجود نداشته باشد.

تبصره: برای سیستم‌های قاب خمشی که در آنها دال بتنی سازه‌ای در بین ناحیه بحرانی (حفاظت شده) با برشگیرهای جوشی با فواصل مرکز به مرکز حداکثر ۳۰۰میلیمتر استفاده از مهاربندی جانبی بالا و پایین در مقطع کاهش یافته نیاز نمی‌باشد.

ناحیه بحرانی (حفاظت شده) باید شامل قسمتی از تیر بین بر ستون و انتهای دورترین موقعیت مقطع کاهش یافته تیر نسبت به بر ستون باشد.

۲.۳.۳.۲.۲ محدودیت‌های اتصالات تیر- ستون

اتصالات تیر–ستون باید محدودیت‌های ذیل را تامین نمایند:

چشمه‌های اتصال باید مطابق مطابق بندهای ۱۰-۲-۹-۱۰ و ۱۰-۳-۸-۴ الزامات لرزه‌ای موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باشند.

نسبت لنگر ستون به تیر باید مطابق الزامات لرزه‌ای موجود و براساس ضوابط ذیل باشند:

برای قاب‌های خمشی ویژه نسبت لنگر ستون به تیر باید مطابق بند ۱۰-۳-۹-۲ضوابط لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و بند ۱-۲-۳-۳-۱ این دستورالعمل باشد. مقدار $\sum M^{*}_{pb}$ برابر است با ($\sum(M_{pr}+ M_{uv})$) که M_{pr} از طریق لنگر خمشی پلاستیک در محل مفصل پلاستیک ($M_{pr}=C_{pr}R_yM_p$) محاسبه می‌شود و M_{uv} لنگر مضاعف ناشی از تشدید برش بین مرکز مقطع کاهش یافته تیر و مرکز مقطع ستون است و می‌توان از رابطه (۲-۱۷) برای محاسبه آن استفاده نمود:

$$M_{uv} = V_{RBS}\left(a + b/2 + d_c/2\right) \qquad (۲-۱۷)$$

که در این رابطه V_{RBS} برابر بیشترین مقدار نیروی برشی دهانه تیر در مرکز مقطع کاهش یافته دهانه تیر است. a و b ابعاد نشان داده شده طبق شکل ۲-۷ و d_c عمق ستون می‌باشد.

۳.۳.۳.۲.۲ ضوابط جوش اتصالات بین بال تیر و ستون

جوش اتصالات بین بال تیر و ستون باید ضوابط ذیل را تامین نمایند:

اتصال بین بال‌های تیر و بال‌های ستون باید با استفاده از جوش‌های شیاری با نفوذ کامل (CJP) انجام گیرد.

جوش‌های بال تیرها باید مطابق بند ۱۰-۲-۹-۲-۱الزامات طراحی مبحث دهم مقررا ت ملی ساختمان باشند.

ابعاد سوراخ دسترسی جوش باید مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱-۶ الزامات طراحی مبحث دهم مقررا ت ملی ساختمان باشند.

۴.۳.۳.۲.۲ ضوابط اتصال جان تیر به بال ستون

اتصالات بین جان تیر و بال ستون باید ضوابط ذیل را تامین نمایند:

مقاومت برشی (V_{ES} , V_{EU}) مورد نیاز طراحی اتصالات تیر به ستون بر اساس بند ۲.۳.۲.۱ محاسبه می‌شود.

جزئیات اتصال جان باید طبق محدودیت‌های ضوابط ذیل باشد:

در قاب‌های خمشی ویژه اتصال بین بال ستون و جان تیر از طریق جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP) در فاصله بین سوراخ‌های ایجاد شده در ورق جان تیر برقرار می‌گردد. در اتصال ورق برشی به جان تیر باید امکان استفاده از جوش شیاری با نفوذ کامل به صورت پشت‌بند[1] فراهم گردد. ضخامت ورق باید حداقل ۱۰ میلیمتر باشد. در انتهای جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP) استفاده از ناودان انتهایی[2] مورد نیاز نمی‌باشد. ایجاد سوراخ پیچ در جان تیر به منظور اجرای اتصال مجاز می‌باشد.

برای قاب‌های خمشی متوسط اتصال بین جان تیر و بال ستون بایستی طبق ضوابط موجود برای قاب‌های خمشی ویژه انجام گیرد.

تبصره ۱: برای قاب‌های خمشی متوسط می‌توان به منظور اتصال جان تیر به بال ستون از یک ورق اتصال برشی با اتصال پیچی استفاده نمود. این اتصال به عنوان اتصال اصطکاکی بر اساس کنترل لغزش و با در نظر گرفتن ضوابطی به منظور محدود نمودن لغزش برای هر پیچ طبق ضوابط مبحث دهم یا AISC می‌باشد.

تبصره ۲: برای بارگذاری لرزه‌ای معیار مقاومت اتکایی در محل سوراخ پیچ‌ها حاکم بر طرح بوده و رابطه (۲-۱۸) باید بر قرار باشد.

$$R_n = 1.2 l_c t F_u \le 2.4 d_t F_u \qquad (۲-۱۸)$$

[1] Backing
[2] Weld Tab

این رابطه برای حالتی است که تغییر شکل در سوراخ پیچ تحت بار سرویس (بهره‌برداری) به عنوان یکی از مشخصه‌های طراحی در نظر گرفته می‌شود.

تبصره ۳: در روش حالت حدی (LRFD) مقاومت برشی اسمی طراحی هر ورق برشی اتصال باید بر اساس تسلیم برشی سطح مقطع کل و گسیختگی برشی مقطع خالص تعیین شود.

تبصره ۴: اتصال ورق به بال ستون باید از طریق جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP) یا جوش گوشه در دو طرف ورق ایجاد گردد. حداقل اندازه جوش گوشه در هر طرف ورق باید $\frac{3}{4}$ ضخامت ورق باشد. سوراخ‌های ایجاد شده در ورق و جان تیر باید استاندارد باشند. استفاده از سوراخ‌های لوبیایی کوتاه (که امتداد سوراخ در امتداد بال تیر باشد) در جان تیر یا ورق جان مجاز است و کاربرد آنها در در جان تیر و ورق جان به صورت همزمان مجاز نیست.

۵.۳.۳.۲.۲ مراحل طراحی

۱) مقادیر مربوط به مقاطع تیرها، ستون‌ها و ابعاد مقطع کاهش یافته (RBS) شامل a، b و c باید طبق رابطه (۲-۱۹) تعیین گردند:

$$0.5b_{bf} \le a \le 0.75b_{bf}$$
$$0.65d \le b \le 0.85d \qquad (۲-۱۹)$$
$$0.1b_{bf} \le c \le 0.25b_{bf}$$

در این روابط؛

b_{bf} : عرض بال تیر [mm]

A : فاصله افقی از بر بال ستون تا شروع محل بریدگی در مقطع کاهش‌یافته [mm]

b : طول بریدگی مربوط به مقطع کاهش‌یافته [mm]

c : عمق بریدگی در مرکز مقطع کاهش‌یافته [mm]

d عمق تیر [mm]

تبصره : اطمینان از کفایت تیرها و ستون‌ها در ترکیبات بار مورد استفاده برای مقطع کاهش‌یافته تیر و تغییرمکان جانبی طراحی طبقات مطابق با ضوابط آیین‌نامه طراحی الزامی است. محاسبه تغییر مکان الاستیک باید با در نظر گرفتن تاثیر مقطع کاهش یافته باشد. محاسبه تغییرمکان‌های الاستیک موثر از طریق حاصلضرب تغییرمکان‌های الاستیک بر اساس سطح مقطع کل تیر با نسبت کاهش یکسان در بال‌ها حداکثر تا ۵۰٪ عرض بال تیر جایگزین محاسبات دقیق و پیچیده در این زمینه می‌شود.

۲) محاسبه اساس مقطع پلاستیک در مرکز مقطع کاهش‌یافته تیر مطابق رابطه (۲-۲۰)

$$Z_{RBS} = Z_x - 2ct_{bf}\left(d - t_{bf}\right) \qquad (۲-۲۰)$$

Z_{RBS} اساس مقطع پلاستیک در مرکز مقطع کاهش‌یافته [mm^3]، Z_x اساس مقطع پلاستیک حول محور X برای مقطع کامل (بدون کاهش) تیر [mm^3]، t_{bf} ضخامت بال تیر [mm] می‌باشند.

۳) محاسبه بیشینه لنگر محتمل M_{pr} در مرکز مقطع کاهش‌یافته مطابق رابطه (۲-۲۱)

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_{RBS} \qquad (۲-۲۱)$$

۴) محاسبه نیروی برشی در مرکز مقاطع کاهش‌یافته در هر انتهای تیر

نیروی برشی در مرکز مقاطع کاهش‌یافته از طریق ترسیم دیاگرام آزاد تیر بین مرکز مقاطع کاهش‌یافته بدست می‌آید. در محاسبه این نیرو باید فرض شود که لنگر در مرکز مقطع کاهش یافته (M_{pr}) شامل اثر نیروهای ثقلی موثر بر تیر نیز می‌باشد.

۵) محاسبه لنگر بیشینه محتمل در بر ستون

لنگر خمشی در بر ستون باید از طریق ترسیم دیاگرام آزاد تیر بین مرکز مقطع کاهش‌یافته و بر ستون محاسبه شود. دیاگرام آزاد لنگر بر ستون طبق رابطه (۲-۲۲) محاسبه می‌شود:

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h \qquad (۲-۲۲)$$

در این رابطه M_{pr} بیشینه لنگر محتمل بر ستون [N.mm] ، S_h فاصله از بر ستون تا مفصل پلاستیک [mm] که برابر a+b/2 می‌باشد. در محاسبه M_{ES} از اثرات بار ثقلی در قسمتی از تیر بین مرکز مقطع کاهش‌یافته و بر ستون صرف‌نظر شده است. برای استفاده از بار ثقلی بر روی ناحیه‌ای از تیر مورد مطالعه (بین مرکز مقطع کاهش-یافته و بر ستون) در دیاگرام آزاد با استفاده از رابطه مذکور می‌توان اثرات ناشی از بار ثقلی را نیز اعمال نمود.

۶) محاسبه لنگر پلاستیک تیر بر اساس تنش تسلیم مورد انتظار (M_{pe}) مطابق رابطه (۲-۲۳):

$$M_{pe} = R_y F_y Z_x \qquad (۲-۲۳)$$

۷) کنترل مقاومت خمشی تیر در بر ستون مطابق رابطه (۲-۲۴) :

$$M_f \le \phi_d M_{pe} \qquad \phi_d = 1.00 \qquad (۲-۲۴)$$

در این رابطه ϕ_d ضریب مقاومت برای اعضای شکل‌پذیر است و برابر مقدار یک در نظر گرفته می‌شود. در صورت عدم برقراری رابطه اخیر، آنگاه مقادیر a، b و c تعدیل و اصلاح شده و مراحل دوم تا هفتم تکرار شوند.

۸) مشخص نمودن مقاومت برشی (V_{ES} , V_{EU}) مورد نیاز اتصال جان تیر به ستون مطابق بند ۲.۳.۲.۱

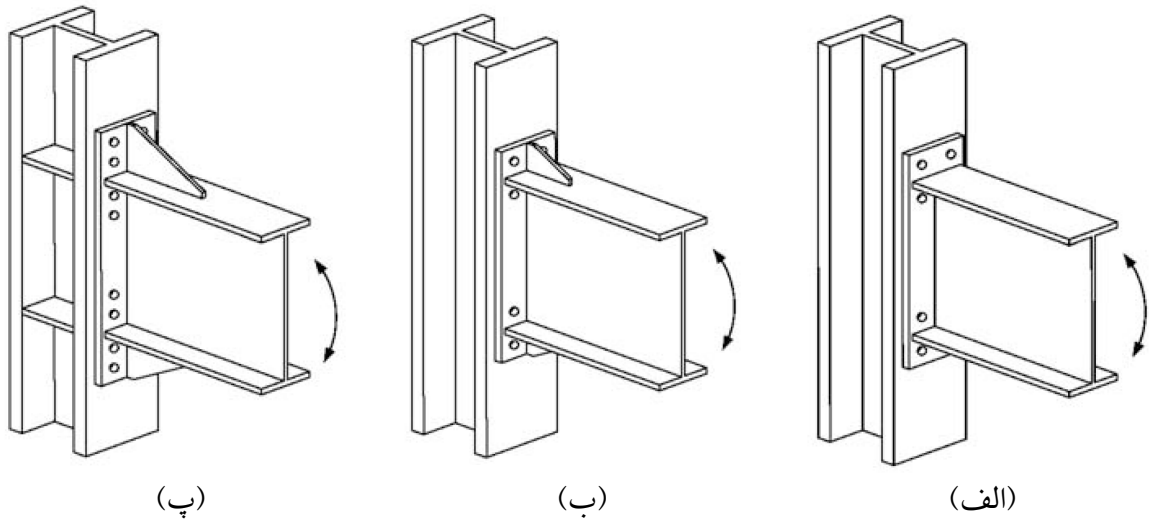
۹) طراحی اتصال جان تیر به بال ستون با در نظر گرفتن محدودیت‌های اتصال تیر–ستون

۱۰) کنترل ضوابط مورد نیاز مربوط به ورق پیوستگی بر اساس ضوابط فصل اول این دستورالعمل

۱۱) کنترل محدودیت‌های نسبت تیر به ستون طبق ضوابط موجود در این دستورالعمل

۴.۳.۲.۲ اتصال گیردار تیر به ستون از طریق ورق انتهایی با سخت‌کننده[1] (BUEEP) و بدون سخت‌کننده[2] (BSEEP) (اتصالات فلنجی تیر به ستون)

اتصالات ورق انتهایی پیچی از طریق جوش تیر به ورق انتهایی و بستن پیچ‌های اتصال مربوط به ورق انتهایی به بال ستون ایجاد می‌شود. سه نوع ساختار برای این نوع اتصال در شکل ۲-۸ نشان داده شده است در صورت رعایت ضوابط و محدودیت‌های این دستورالعمل، آنگاه شرایط لازم مربوط به الزامات عمومی اتصالات گیردار از پیش تایید شده بخش ۱۰-۳-۱۳-۱ و الزامات طراحی لرزه ای برای این نوع اتصالات مطابق بخش ۱۰-۳-۱۳-۳ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای این نوع اتصالات تامین خواهد شد و این اتصالات شرایط لازم را به منظور استفاده در قاب‌های خمشی ویژه (SMF) و قاب‌های خمشی متوسط (IMF) را خواهند داشت.



شکل ۲-۸ : اتصال تیر به ستون با ورق انتهایی (الف) اتصال چهار پیچه بدون سخت‌کننده (ب) اتصال چهار پیچه با سخت‌کننده (پ) اتصال هشت پیچه با سخت‌کننده

رفتار این نوع اتصال توسط حالات حدی مختلف شامل تسلیم خمشی مقطع تیر، تسلیم خمشی ورق‌های انتهایی، تسلیم چشمه اتصال ستون، گسیختگی برشی پیچ‌های ورق‌های سخت‌کننده انتهایی، گسیختگی کششی پیچ‌های ورق‌های سخت‌کننده انتهایی یا گسیختگی اتصالات جوشی مختلف روی می‌دهد. طراحی این اتصالات طبق ضوابط ارائه شده، مقاومت مناسب در اجزای اتصالات به منظور اطمینان از حصول تغییرشکل غیرالاستیک اتصال از طریق تسلیم تیر را فراهم می‌نماید.

اتصالات خمشی با ورق‌های سخت‌کننده انتهایی در صورت رعایت ضوابط ذیل، شرایط لازم برای استفاده در قاب‌های خمشی ویژه با دال بتنی سازه‌ای را دارند:

- عمق اسمی تیردر فاصله بین دو ناحیه محافظت شده تیر نباید کمتر از ۷۰۰ میلی‌متر باشد.

[1] Bolted Stiffened Extended End-Plate (BUEEP) Moment Connection
[2] Bolted Unstiffened Extended End-Plate (BSEEP) Moment Connection

– حداکثر فاصله برشگیرها از بر ستون ۱/۵ برابر عمق تیر باشد.

– به منظور ایجاد امکان شکل پذیری دورانی اتصال تیر به ستون مطابق بخش ۱۰-۳-۲-۱ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باید حداقل فاصله بین دال سازه‌ای و بال در هر طرف ستون برابر ۲۵ میلیمتر باشد. استفاده از مصالح شکل‌پذیر نظیر یونولیت در این فاصله بین بال‌های ستون و دال سازه‌ای مجاز است.

۱.۴.۳.۲.۲ ضوابط و محدودیت‌های اتصال

الف– کلیه اتصالات اتصالات فلنجی تیر به ستون چهارپیچه و هشت‌پیچه دارای سخت‌کننده و بدون سخت‌کننده (همانند شکل ۲-۸) محدودیت‌های ابعادی جدول ۲-۲ را رعایت نمایند.

جدول ۲-۲ : محدودیت‌های ابعادی اتصالات دارای سخت‌کننده و بدون سخت‌کننده

	اتصال چهارپیچه بدون‌سخت‌کننده (4E)		**اتصال چهارپیچه با سخت‌کننده (4ES)**		**اتصال هشت پیچه با سخت‌کننده (8ES)**	
پارامتر	**حداکثر(میلیمتر)**	**حداقل(میلیمتر)**	**حداکثر(میلیمتر)**	**حداقل (میلیمتر)**	**حداکثر(میلیمتر)**	**حداقل (میلیمتر)**
t_{bf}	۲۵	۱۰	۲۵	۱۰	۳۰	۱۵
b_{bf}	۲۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۱۵۰	۳۵۰	۲۰۰
d	۱۴۰۰	۳۴۰	۷۰۰	۳۴۰	۱۰۰۰	۴۴۰
t_p	۶۰	۱۲	۵۰	۱۲	۷۰	۲۰
b_p	۳۰۰	۱۸۰	۳۰۰	۱۸۰	۴۰۰	۲۴۰
g	۱۶۰	۱۰۰	۱۶۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۵۰
P_{fi}, P_{fo}	۱۲۰	۳۵	۱۵۰	۵۰	۵۰	۴۰
P_b	–	–	–	–	۱۰۰	۹۰

b_{bf} : عرض بال تیر، b_p : عرض ورق سخت‌کننده (ورق لچکی)، d: عمق تیر اتصال، g: فاصله افقی بین پیچ‌ها، p_b: فاصله قائم بین ردیف داخلی و خارجی پیچ‌ها در اتصال هشت پیچه با سخت‌کننده، p_{fi} : فاصله قائم از ناحیه داخلی بال کششی تا نزدیک‌ترین ردیف پیچ داخلی مقطع تیر، p_{fo} : فاصله قائم از ناحیه خارجی بال کششی تا نزدیک‌ترین ردیف پیچ خارجی مقطع تیر، t_{bf} : ضخامت بال تیر و t_p : ضخامت ورق سخت‌کننده است.

ب– مقاطع مورد استفاده برای تیرها باید الزامات طراحی بخش ۱۰-۲ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان را برای نیمرخ‌های نورد شده یا ساخته شده از ورق (تیر ورق) تامین نمایند.

ج– در دو انتهای تیرهای ساخته شده از ورق، به فاصله ی حداقل برابر کوچک ترین دو مقدار عمق تیر و سه برابر پهنای بال تیر، اتصال جان به بال باید از نوع جوش نفوذی با نفوذ کامل یا جوش گوشه دو طرفه باشد. ضخامت جوش های گوشه ی د وطرفه نباید از $0.75t_w$ (t_w ضخامت جان مقطع تیر) و ۶ میلیمتر کمتر در نظر گرفته شود.

د– اتصال بال تیر به ورق انتهایی باید از نوع جوش نفوذی با نفوذ کامل بوده و در وجه داخلی بال تیر با جوش گوشه به ضخامت حداقل ۸ میلیمتر تقویت گردد. برای این جوش رعایت ضابطه طراحی خاصی الزامی نیست.

و- اتصال جان تیر به ورق انتهایی باید از نوع جوش نفوذی با نفوذ کامل باشد.چنانچه ضخامت جان مقطع تیر کوچکتر یا مساوی ۱۰ میلیمتر باشد استفاده از جوش گوشه دو طرفه نیز مجاز است. ضخامت جوش های گوشه نباید از $0.8t_w$ و 8 میلیمتر کمتر در نظر گرفته شوند.برای اتصال جان تیر به ورق انتهایی غیر از الزامات این بند، رعایت ضابطه خاصی الزامی نیست.

ج- عمق تیر و ضخامت بال تیر به مقادیر موجود در جدول ۲-۲ محدود شده است و بنابراین در طراحی ستون‌ها، استفاده از الزامات اضافی علاوه بر ضوابط طراحی برای ضخامت بال ارائه بیان نشده است. عمق ستون‌های با مقاطع نورد شده باید به ۱۰۰سانتیمتر محدود گردد و برای مقاطع ساخته شده از ورق این مقدار نباید از مقدار معادل آن برای مقاطع نورد شده فراتر رود. ستون‌ها با مقطع صلیبی نباید عرض یا عمقی بزرگ‌تر از عمق مجاز مقاطع نورد شده داشته باشند.

د- ورق‌های انتهایی باید به بال ستون متصل شده باشند.

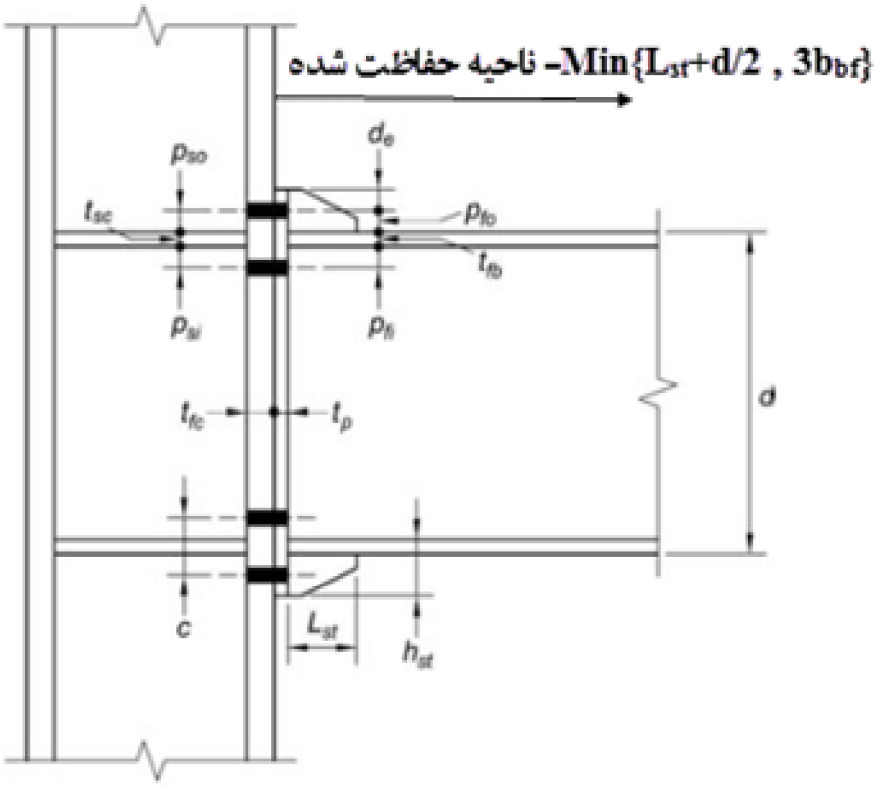
ه- هیچ‌گونه محدودیتی برای وزن واحد طول تیر و ستون وجود ندارد.

و- حداقل نسبت فاصله خالص دهانه به عمق تیر در قاب‌های خمشی ویژه برابر ۷ و در قاب‌های خمشی متوسط به مقدار ۵ محدود شده است.

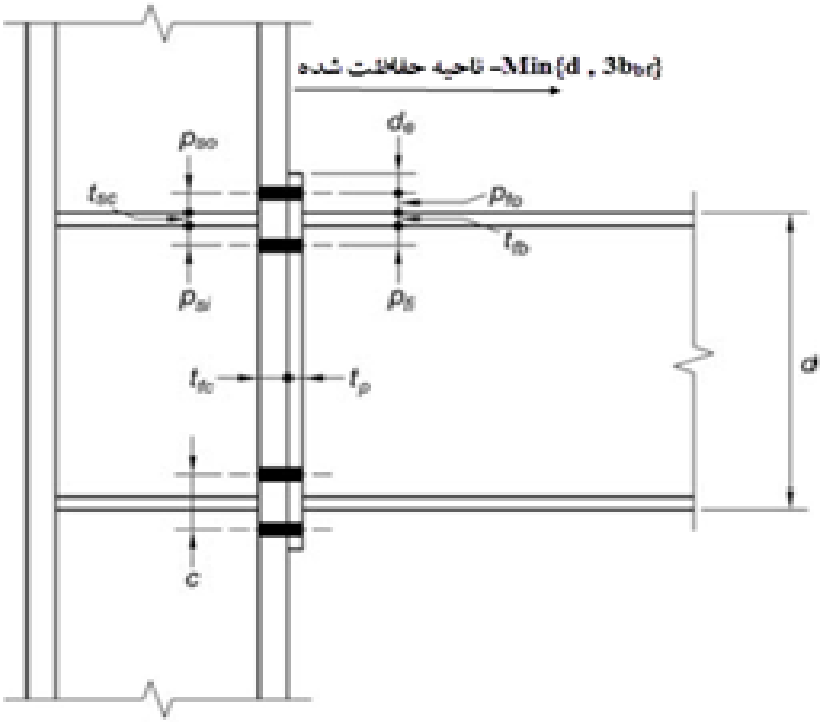
ز- نسبت پهنا به ضخامت برای بال‌ها و جان ستون ها تحت اثر تنش های فشاری با شکل پذیری متوسط و زیاد مطابق جدول ۱۰-۳-۴-۱ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) و برای سایر اعضا با مقطع فشرده و غیرلاغر تحت اثر فشار محوری و خمش باید مطابق با جداول۱۰-۲-۲-۱ تا ۱۰-۲-۲-۴ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) باشد.

ح- منطقه بحرانی (حفاظت شده) در این اتصالات بر اساس ضوابط ذیل و مطابق شکل ۲-۹ مشخص می‌شود:

- در اتصالات تیر به ستون با ورق انتهایی و بدون سخت‌کننده برابر با کمترین مقدار شامل طول تیر بین فاصله‌ای برابر با عمق تیر یا سه برابر عرض بال تیر از بر ستون است.
- در اتصالات تیر به ستون با ورق انتهایی و با سخت‌کننده برابر با کمترین مقدار شامل طول تیر بین فاصله‌ای برابر با مجموع موقعیت انتهای سخت‌کننده با نصف عمق تیر یا سه برابر عرض بال تیر از بر ستون است.



(الف) با سخت کننده



(ب) بدون سخت‌کننده

شکل ۲-۹ : منطقه بحرانی (حفاظت شده) در اتصالات تیر به ستون با ورق انتهایی (الف) با سخت‌کننده و (ب) بدون سخت‌کننده

۲.۴.۳.۲.۲ ضوابط اتصالات تیر- ستون

اتصالات تیر–ستون باید محدودیت‌های ذیل را تامین نمایند:

چشمه‌های اتصال باید الزامات طراحی بخش ۱۰–۲–۹–۱۰ و همچنین الزامات طراحی لرزه ای قاب های خمشی متوسط بخش ۱۰–۳–۸–۴ و ۱۰–۳–۸–۵ و در قاب های خمشی ویژه بخش ۱۰–۳–۹–۵ و ۱۰–۳–۹–۶ موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و ضوابط بخش ۱–۲–۳–۵–۱ فصل اول این دستورالعمل را تامین نمایند.

نسبت لنگر خمشی ستون–تیر باید الزامات لرزه‌ای بخش ۱۰–۳–۹–۲ مبحث دهم مقرات ملی ساختمان و الزامات بخش ۱–۲–۳–۳ و ۱–۲–۳–۴ فصل اول این دستورالعمل برای قاب های خمشی با شکل پذیری ویژه تامین گردد.

۳.۴.۳.۲.۲ ورق‌های پیوستگی

ورق‌های پیوستگی باید محدودیت‌های ذیل را تامین نمایند:

- نیاز به ورق‌های پیوستگی باید مطابق با ضوابط ارائه شده در فصل اول این دستورالعمل، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و ضوابط این بخش باشند.
- در صورت نیاز به ورق‌های پیوستگی، کاربرد این ورق‌ها باید مطابق با الزامات و محدودیت‌های ابعادی مقطع موجود باشند.
- اتصال جوشی بین ورق‌های پیوستگی و ستون‌ها باید مطابق با بند ۱۰–۳–۳–۲ و بند ۱۰–۳–۸–۵ مورد ج و چ ضوابط لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باشند.
- استفاده از جوش‌های گوشه با اندازه کوچک‌تر یا مساوی ۱۰میلی‌متر در دو طرف ورق‌های پیوستگی برای اتصال به بال‌های ستون مجاز است. مقاومت مورد نیاز جوش‌های گوشه نباید کمتر از A_cF_y باشند که در این رابطه A_c به عنوان سطوح تماس بین ورق پیوستگی و بال‌های ستون است که متصل به بال‌های تیر می‌باشند و F_y به عنوان حداقل تنش تسلیم مشخصه ورق پیوستگی می‌باشد.

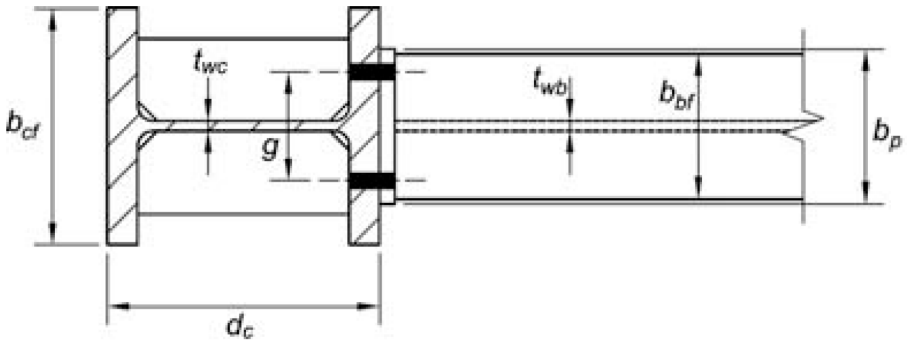
۴.۴.۳.۲.۲ جزئیات اتصالات پیچ‌ها

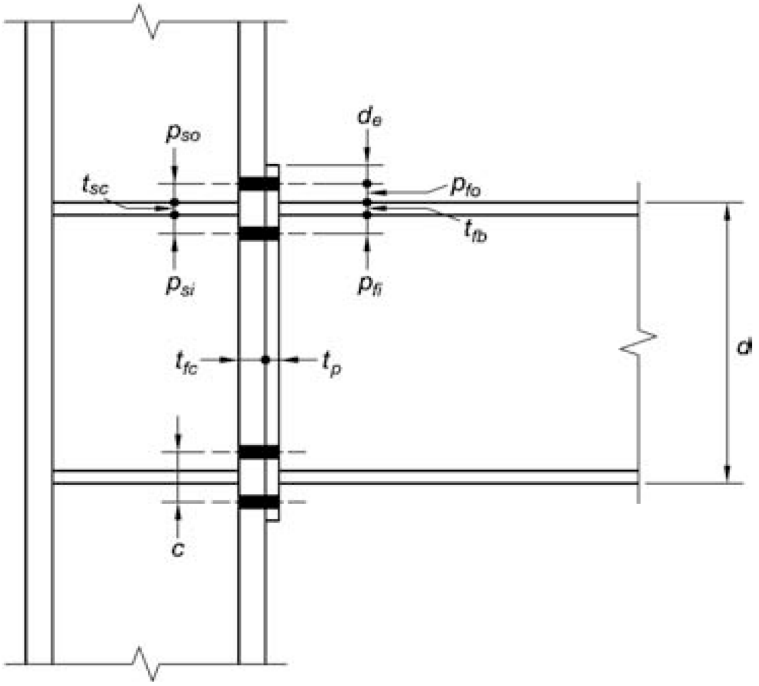
مشخصات پیچ‌های اتصال باید طبق ضوابط ارائه شده در این بخش و ضوابط مبحث دهم مقررات ملی برای اعضای باربر لرزه‌ای ساختمان باشند.

أ. پارامتر g طبق شکل ۲-۱۰ تا شکل ۲-۱۲ فاصله افقی بین ردیف سوراخ پیچ‌های بال ستون می‌باشد و حداکثر مقدار آن به عرض بال تیر متصل محدود شده است.

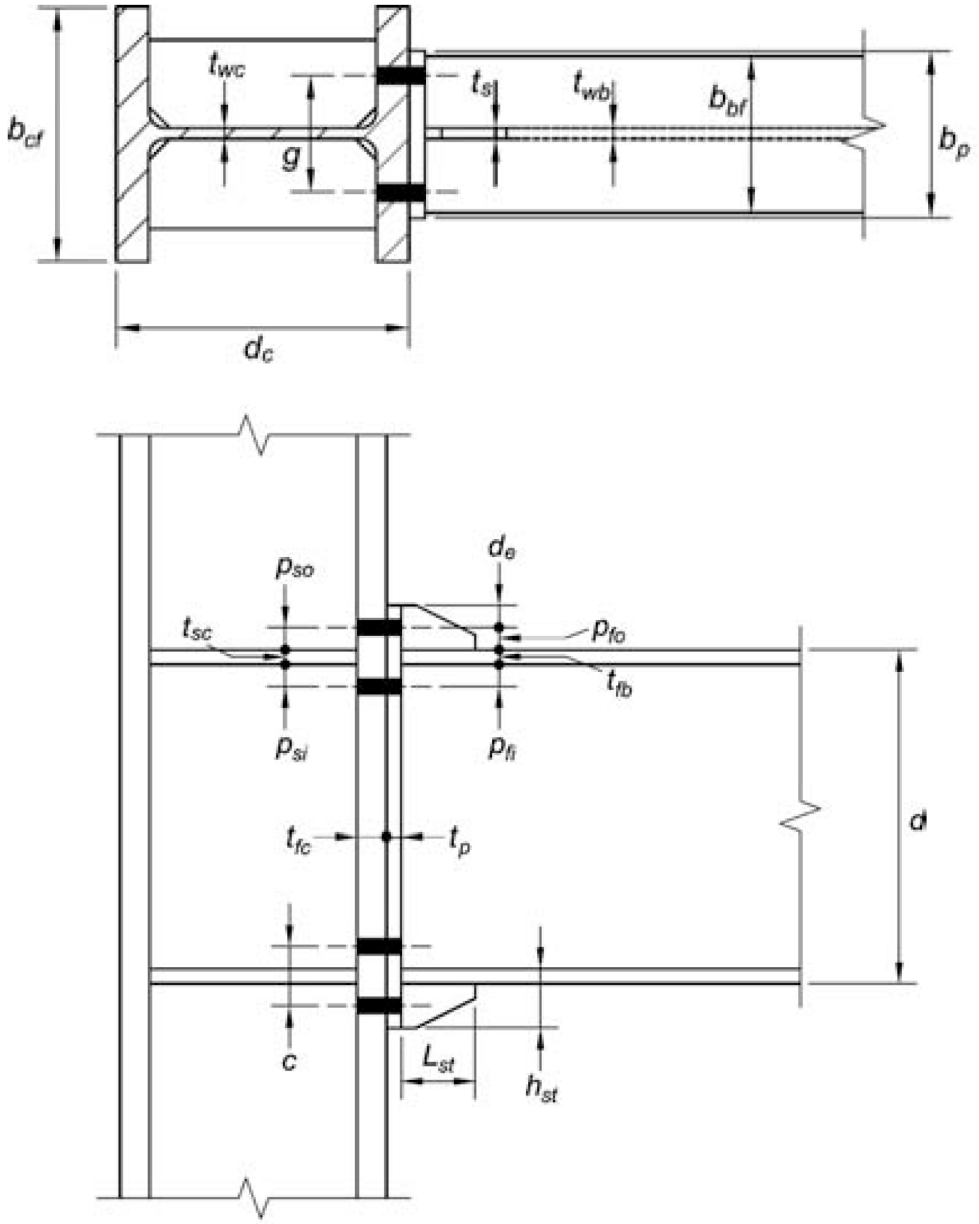
ب. حداقل فاصله عمودی بین برِ بال تیر (وجه خارجی بال تیر) و مرکز نزدیک‌ترین ردیف پیچ‌های اتصال (p_{fi},p_{fo}) و برِ ورق پیوستگی (وجه خارجی ورق پیوستگی) تا مرکز نزدیک‌ترین ردیف پیچ‌ها (p_{si},p_{so}) طبق برای پیچ‌ها با حداکثر قطر ۲۵میلیمتر برابر با مجموع قطر پیچ و۱۳میلیمتر و برای پیچ‌ها با قطر بزرگ‌تر از ۲۵ میلیمتر برابر با مجموع قطر پیچ و ۱۹میلیمتر است که طبق رابطه (۲-۲۵) بیان می‌شود:

$$d_b \le 25mm \Rightarrow p_{fi} = p_{fo}, p_{si} = p_{so} = d_b + 13$$
$$d_b > 25mm \Rightarrow p_{fi} = p_{fo}, p_{si} = p_{so} = d_b + 19 \qquad (۲-۲۵)$$





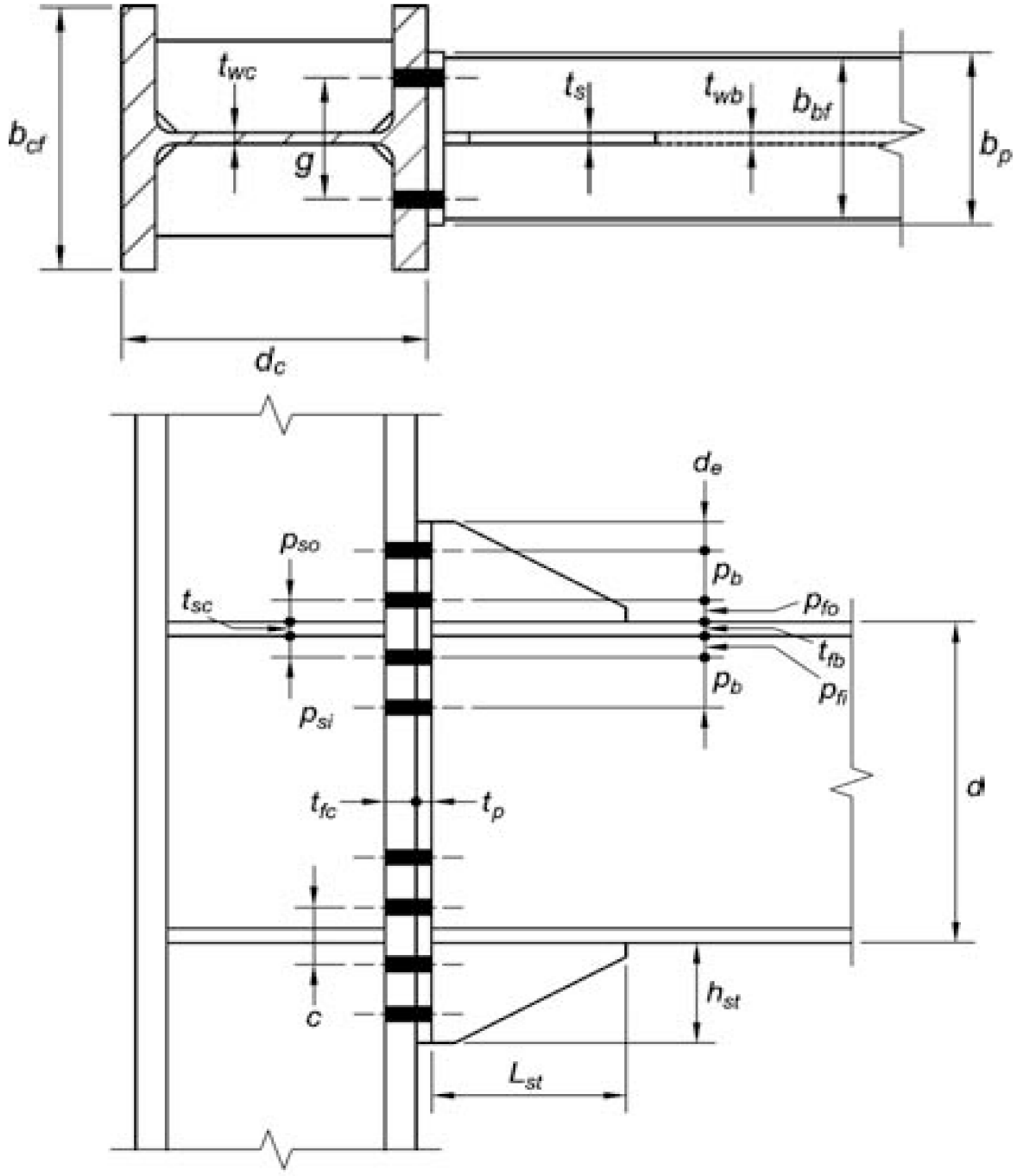
شکل ۲-۱۰ : جزئیات هندسی اتصال تیر به ستون ۴ پیچه بدون سخت‌کننده (BSEEP) (اتصالات فلنجی تیر به ستون) (4E)



شکل ۲-۱۱ : جزئیات هندسی اتصال تیر به ستون ۴ پیچه با سخت‌کننده (BUEEP) (اتصالات فلنجی تیر به ستون) (4ES)

ج. فاصله عمودی بین مرکز ردیف پیچ‌ها در بال تیر اتصال ۸ پیچه با سخت‌کننده (p_b) همانند شکل ۲-۱۲ به منظور تامین فضای کافی برای اجرای جوش در این ناحیه باید حداقل ۳ برابر قطر پیچ باشند. که طبق رابطه (۲-۲۶) بیان می‌شود:

$$p_b \geq 3d_b \qquad (۲-۲۶)$$



شکل ۲-۱۲ : جزئیات هندسی اتصال تیر به ستون ۸ پیچه با سخت‌کننده (BUEEP) (اتصالات فلنجی تیر به ستون) (8ES)

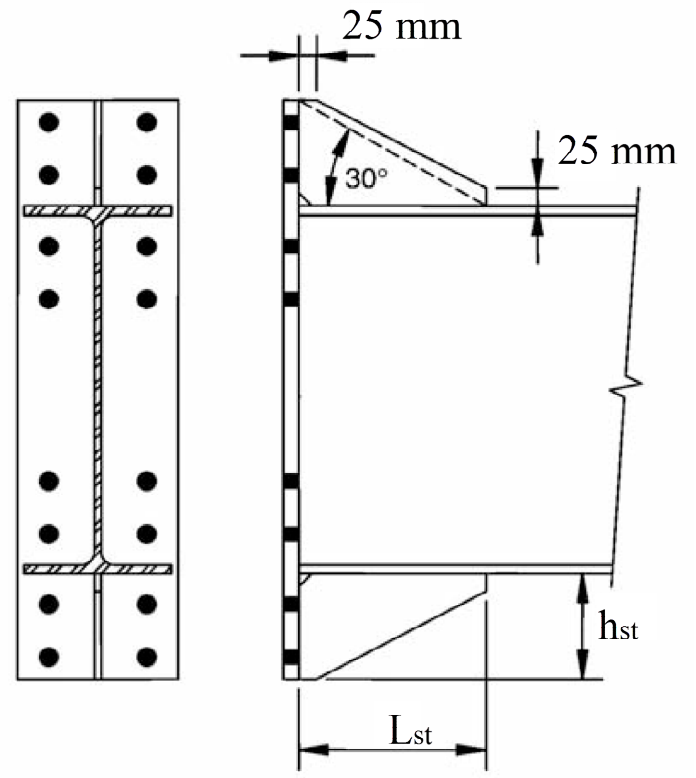
د. اندازه عرض ورق انتهایی باید بزرگ‌تر یا مساوی با عرض بال تیر متصل باشد. عرض موثر ورق انتهایی طبق رابطه (۲-۲۷) باید کوچک‌تر از مجموع عرض بال تیر و ۲۵میلیمتر باشد:

$$b_{bf} \le b_p \ , \ b_{pe} \le b_{bf} + 25 \qquad (۲-۲۷)$$

ه. حداقل طول سخت‌کننده (لچکی) موجود بین بال تیر و ورق انتهایی باید طبق رابطه (۲-۲۸) مشخص شود:

$$L_{st} = \frac{h_{st}}{\tan 30^{\circ}} \qquad (۲-۲۸)$$

در این رابطه h_{st} ارتفاع ورق سخت‌کننده و برابر ارتفاع ورق انتهایی از برِ بیرونی (وجه خارجی) بال تیر تا انتهای ورق انتهایی و L_{st} طول ورق سخت‌کننده (لچکی) (mm) است.



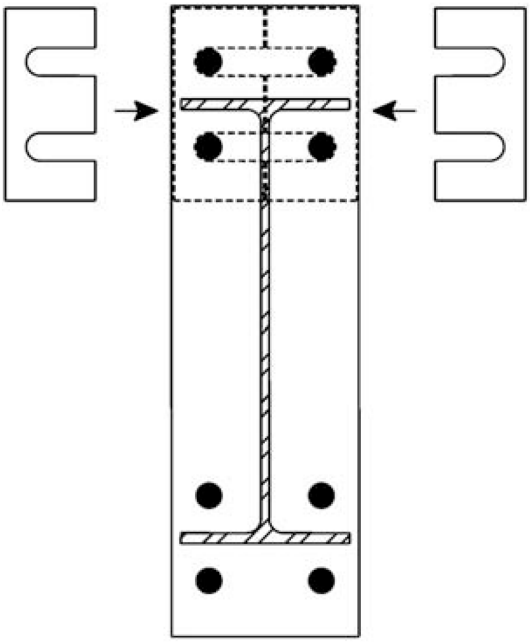
شکل ۲-۱۳ : جزئیات هندسی مربوط به ورق لچکی در اتصال تیر به ستون ۸ پیچه با سخت‌کننده (BUEEP) (اتصالات فلنجی تیر به ستون) (8ES)

به منظور ایجاد فضای مناسب بین سخت‌کننده و بال تیر، باید سخت‌کننده در محل اتصال به بال تیر و ورق انتهایی برش داده شود و مقدار عرض این قسمت از ورق حداقل ۲۵ میلیمتر باشد.

تبصره: اگر مصالح تیر و ورق سخت‌کننده یکسان باشند آنگاه ضخامت سخت‌کننده باید بزرگ‌تر یا مساوی ضخامت جان تیر باشد، در غیر این‌صورت ضخامت سخت‌کننده نباید کمتر از حاصلضرب ضخامت جان تیر در نسبت تنش تسلیم مصالح تیر به سخت‌کننده باشد. به عبارت دیگر رابطه (۲-۲۹) باید برقرار باشد:

$$f_{yb} = f_{ys} \Rightarrow t_s \geq t_{bw}$$
$$f_{yb} \neq f_{ys} \Rightarrow t_s \geq \left(\frac{f_{yb}}{f_{ys}}\right) t_{bw} \qquad (۲-۲۹)$$

استفاده از ورق‌های پرکننده انگشتی[1](شکل ۲-۱۴) در بالا و پایین یا طرفین اتصال با رعایت الزامات و محدودیت‌های مربوط به آن طبق ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (بند ۱۰-۳-۱۳-۳ مورد ۸ و بند ۱۰-۲-۹-۵ مورد ت) و RCSC[2] مجاز است.



شکل ۲-۱۴ : ورق های پرکننده انگشتی و نحوه کاربرد آنها در اتصالات تیر به ستون

در قاب‌های خمشی متوسط با سقف مرکب نباید از اتصالات برشگیر جوشی در امتداد بال بالایی تیر و در فاصله‌ای به اندازه ۱/۵ برابر عمق تیر از بر ستون استفاده شود. به منظور تامین شکل‌پذیری کافی در اتصالات قاب‌های خمشی فولادی با شکل‌پذیری متوسط در فاصله بین دال و بر ستون باید از مصالح انعطاف‌پذیر نظیر یونولیت با ضخامت حداقل ۲۵ میلیمتر استفاده نمود.

۵.۴.۳.۲.۲ جزئیات اتصالات جوشی

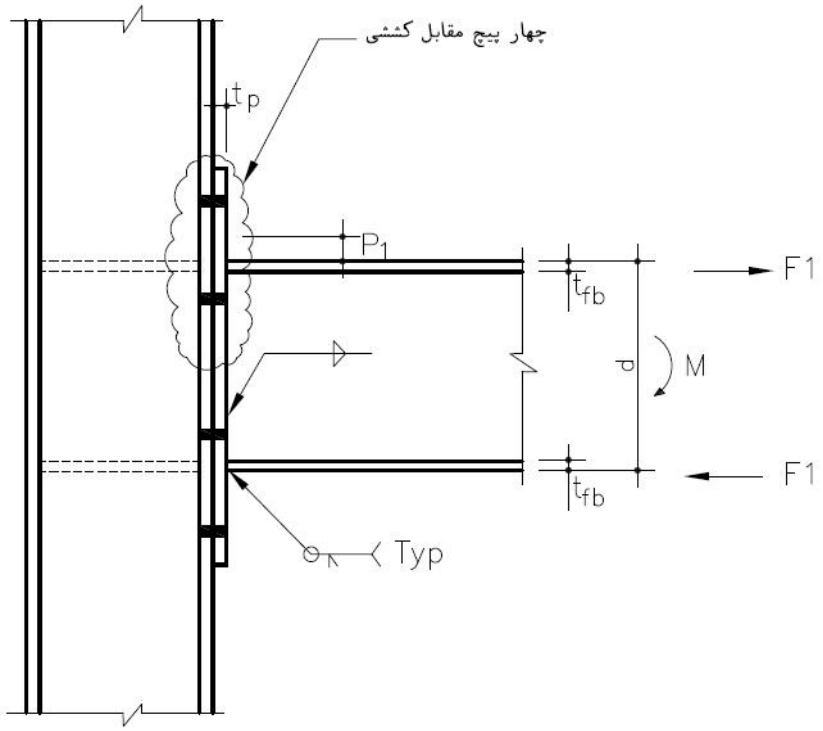
اتصال جوشی بین تیر و ورق انتهایی باید مطابق ضوابط ذیل باشند:

أ. در این نوع از اتصالات نباید از سوراخ‌های دسترسی جوش استفاده نمود.

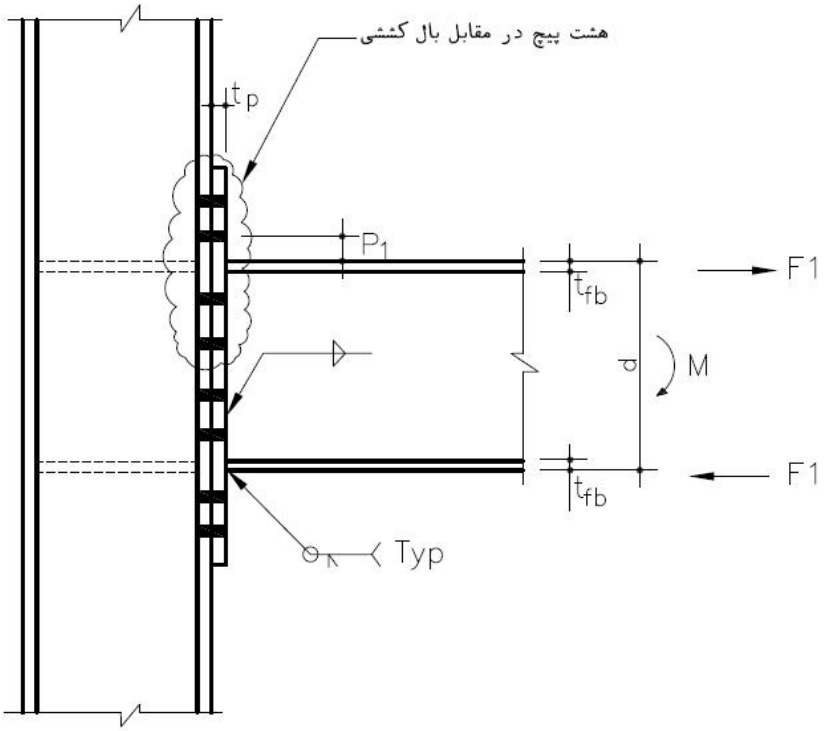
ب. اتصال بال تیر به ورق انتهایی باید با استفاده از یک جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP) بدون جوش پشت‌بند[3] انجام گیرد. جوش شیاری با نفوذ کامل بر روی بال (CJP) باید طوری اجرا شود که ریشه

[1] Finger Shims
[2] The Research Council on Structural Connections (Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts, Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts, 2009, Prepared by RCSC Committee A.1—Specifications and approved by the Research Council on Structural Connections.)
[3] Backing

جوش در سمت جان تیر قرار گیرد. وجه داخلی بال باید دارای جوش گوشه به اندازه ۸ میلیمتر باشد(شکل ۲-۱۵).



چهارپیچه



هشت پیچه

شکل ۲-۱۵ : اتصال بال تیر به ورق انتهایی با استفاده از یک جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP) بدون جوش پشت‌بند

ج. اتصال جان تیر به ورق انتهایی باید با استفاده از جوش‌های گوشه در دو طرف یا جوش‌های شیاری با نفوذ کامل (CJP) اجرا گردد. ابعاد جوش‌های گوشه –در صورت استفاده از این نوع جوش‌ها– باید طوری انتخاب گردند که مقاومت کششی جان تیر از وجه داخلی بال تا به فاصله‌ی ۱۵۰میلیمتر از دورترین ردیف پیچ از بال تیر تامین گردد.

د. Backgouging عبارتست از زدودن یا برداشتن همه یا بخشی از وجه بیرونی ریشه جوش شیاری با نفوذ کامل اتصال (بال تیر ، ورق روسری یا زیرسری به بال ستون) بوسیله سنگ‌زنی یا برش قوس هوا کربن می‌باشد. انجام این فرایند در ناحیه‌ای از بال تیر به طول $1.5k_1$ (به فاصله $0.75k_1$ در طرفین خط مرکزی جان تیر) الزامی نیست و در این ناحیه استفاده از جوش شیاری با نفوذ نسبی مجاز است. در صورت انجام فرایند حذف یا اصلاح جوش در این ناحیه، اتصالات ورق انتهایی به سخت‌کننده (لچکی) باید با استفاده از جوش‌های شیاری با نفوذ کامل انجام گیرد.

تذکر: پس از انجام Backgouging ، برای اطمینان از عملکرد کامل جوش ضروری است محل زدوده شده اتصال با جوش نفوذی کامل یا جوش گوشه تقویت گردد.

تبصره: اگر سخت‌کننده (لچکی) دارای ضخامت ۱۰میلیمتر یا کمتر باشد، آنگاه باید امکان استفاده از جوش‌های گوشه به منظور افزایش مقاومت سخت‌کننده فراهم گردد.

۶.۴.۳.۲.۲ مراحل طراحی

هندسه این نوع اتصال براساس شکل‌های ارائه شده برای حالت ۴ پیچه با سخت‌کننده و بدون سخت‌کننده و ۸ پیچه با سخت‌کننده می‌باشد که جزئیات مراحل طراحی آنها ارائه شده است. مراحل طراحی این اتصالات شامل دو مرحله شامل طراحی پیچ‌ها و ورق‌های انتهایی و طراحی اجزای ستون‌ها در محل اتصال تیر به ستون می‌باشد که جزئیات مراحل هر کدام به صورت جداگانه ارائه شده است.

الف) طراحی پیچ‌ها و ورق‌های انتهایی

۱) ابعاد اعضای اتصال (تیرها و ستون) و مقاومت برشی (V_{ES} , V_{EU}) و خمشی (M_{ES} , M_{EU}) مورد نیاز طراحی اتصالات تیر به ستون بر اساس نیروی برشی و لنگر خمشی مورد انتظار بر ستون طبق بند ۲.۳.۲.۱ تعیین می‌شود. در این روابط S_h فاصله از بر ستون تا مفصل پلاستیک بر اساس میلیمتر است و این فاصله برای اتصال ۴ پیچه بدون سخت‌کننده (4E) برابر کمترین مقدار $d/2$ یا $3b_{bf}$ است و برای اتصال چهار پیچه و هشت پیچه با سخت‌کننده (4ES,8ES) این فاصله برابر $L_{st}+t_p$ است.

۲) انتخاب یکی از انواع اتصال (۴پیچه با سخت‌کننده، ۴ پیچه بدون سخت‌کننده و ۸ پیچه با سخت‌کننده) و مشخصات هندسی اولیه مورد نیاز اتصال (نظیر g، p_{fi}،p_{fo}،p_b، h_i) و مشخصات پیچ‌های اتصال.

۳) تعیین قطر پیچ مورد نیاز $d_{b\ req'd}$ با استفاده از روابط (۲-۳۰) و (۲-۳۱):

روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) – 4E,4ES

$$d_{b\,req'd}=\sqrt{\frac{2M_{EU}}{\pi\phi_n F_{nt}\left(h_0+h_1\right)}} \qquad \phi_n=0.9 \qquad (۲-۳۰)$$

روش تنش مجاز (ASD) – 4E,4ES

$$d_{b\,req'd}=\sqrt{\frac{2M_{ES}}{\pi\phi_n F_{t}\left(h_0+h_1\right)}} \qquad \phi_n=0.9$$

روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) – 8ES

$$d_{b\,req'd}=\sqrt{\frac{2M_{EU}}{\pi\phi_n F_{nt}\left(h_1+h_2+h_3+h_4\right)}} \qquad \phi_n=0.9 \qquad (۲-۳۱)$$

روش تنش مجاز (ASD) – 8ES

$$d_{b\,req'd}=\sqrt{\frac{2M_{ES}}{\pi\,\phi_n F_{t}\left(h_1+h_2+h_3+h_4\right)}} \qquad \phi_n=0.9$$

در این روابط؛

ϕ_n: ضریب مقاومت برای حالات حدی غیرشکل‌پذیر

F_{nt}: تنش کششی اسمی پیچ بر اساس $[N/mm^2]$

F_t: تنش کششی مجاز پیچ بر اساس $[N/mm^2]$

h_i: فاصله بین خط مرکزی بال فشاری تیر تا مرکز i امین ردیف پیچ کششی [mm]

۴) انتخاب قطر پیچ (d_b) از طریق قضاوت مهندسی و روش سعی و خطا بدست می‌آید و مقدار آن نباید کمتر از $d_{b\ req'd}$ باشد.

۵) تعیین ضخامت ورق انتهایی ($t_{p,req'd}$)

روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

$$t_{p\,req'd}=\sqrt{\frac{1.11M_{EU}}{\phi_d F_{yp}Y_p}} \qquad \phi_d=1.00 \qquad (۲-۳۲)$$

روش تنش مجاز (ASD)

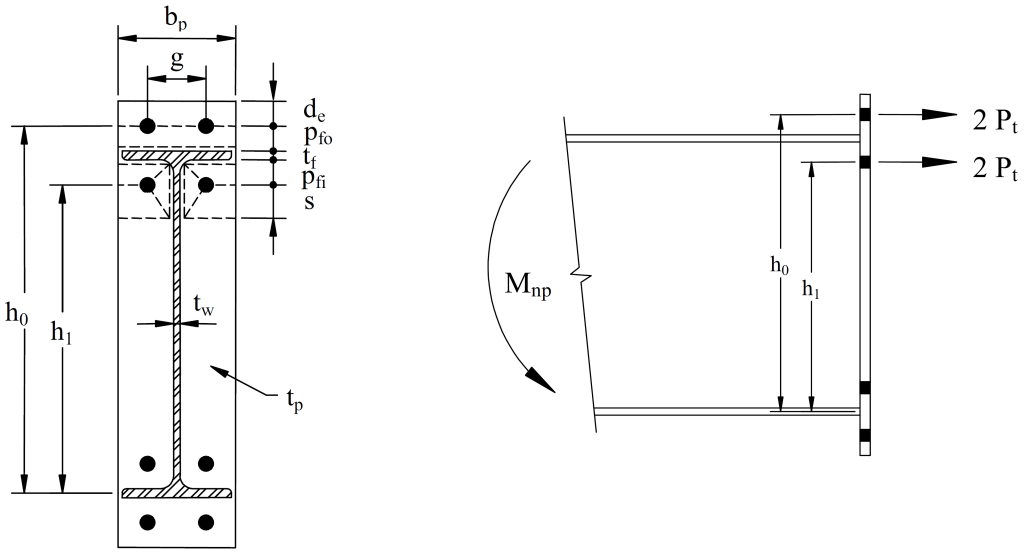
$$t_{p\,req'd}=\sqrt{\frac{1.11M_{ES}}{\phi_d F_{yp}Y_p}} \qquad \phi_d=1.00$$

در این رابطه:

F_{yp} : حداقل تنش تسلیم مشخصه مصالح ورق انتهایی $[N/mm^2]$

Y_p : پارامتر مربوط به ساز و کار خط تسلیم ورق انتهایی [mm] (بر اساس روابط (۲-۳۳) تا (۲-۳۵))

پارامتر مربوط به ساز و کار خط تسلیم (Y_p) برای هر سه نوع اتصال طبق روابط ذیل بدست می‌آید:



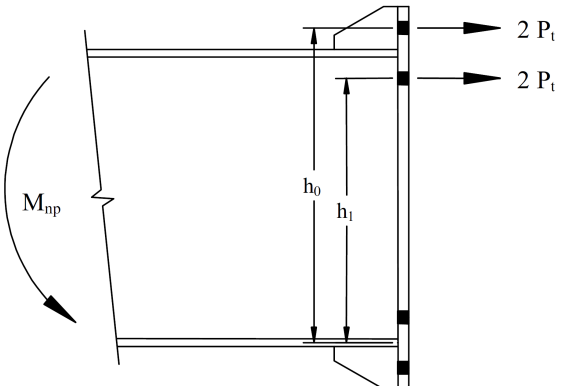
(ب) الگوی خط تسلیم و مشخصات هندسی ورق انتهایی (الف) مدل نیروی وارد بر پیچ‌ها

شکل ۲-۱۶ : اتصال تیر به ستون ۴ پیچه بدون سخت‌کننده (BSEEP) (اتصالات فلنجی تیر به ستون) (4E)

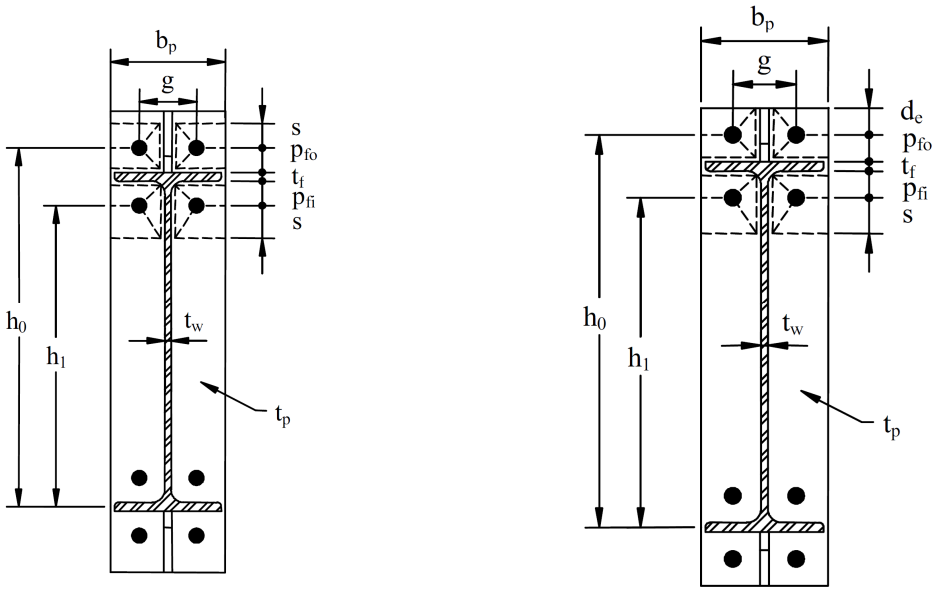
پارامتر بیان‌کننده ساز و کار خط تسلیم (Y_p) برای اتصال ۴ پیچه بدون سخت‌کننده (BSEEP) (اتصالات فلنجی تیر به ستون) (4E) طبق رابطه (۲-۳۳) محاسبه می‌شود:

$$Y_p = \frac{b_p}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{p_{fi}}+\frac{1}{s}\right)+h_0\left(\frac{1}{p_{fo}}\right)-\frac{1}{2}\right]+\frac{2}{g}\left[h_1\left(p_{fi}+s\right)\right] \qquad (۲-۳۳)$$

$$s=\frac{1}{2}\sqrt{b_p g}\ \left(if\ \ p_{fi}>s, use\ p_{fi}=s\right)$$



(الف) مدل نیروی وارد بر پیچ‌ها



$d_e > S$ $d_e \leq S$ (ب)

شکل ۲-۱۷: پارامتر ساز و کار خط تسلیم برای اتصال ۴ پیچه با سخت‌کننده؛ الگوی خط تسلیم و مشخصات هندسی ورق انتهایی
de> s(ج) de≤ s(ب)

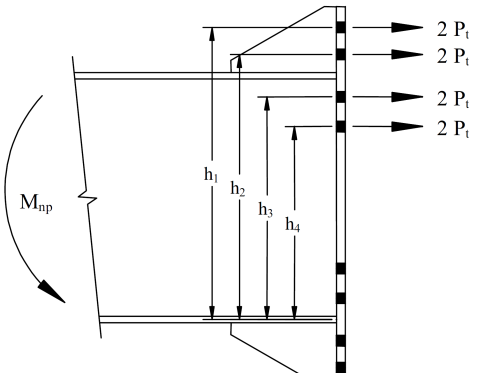
پارامتر ساز و کار خط تسلیم (Yp) برای اتصال ۴ پیچه با سخت‌کننده طبق رابطه (۲-۳۴) محاسبه می‌شود:

$$Y_p = \frac{b_p}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{p_{fi}}+\frac{1}{s}\right)+h_0\left(\frac{1}{p_{fo}}\right)-\frac{1}{2}\right]+\frac{2}{g}\left[h_1\left(p_{fi}+s\right)\right]$$

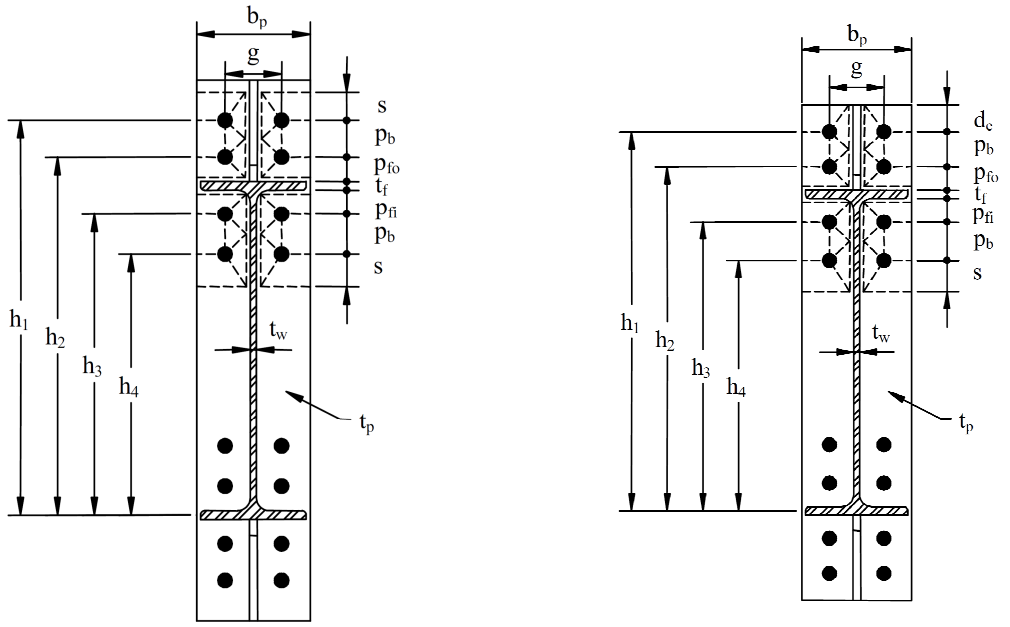
$$s = \frac{1}{2}\sqrt{b_p g}\ \left(if\ p_{fi} > s, use\ p_{fi} = s\right)$$

$$d_e \leq s \Rightarrow Y_p = \frac{b_p}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{p_{fi}}+\frac{1}{s}\right)+h_0\left(\frac{1}{p_{fo}}+\frac{1}{2s}\right)\right]+\frac{2}{g}\left[h_1\left(p_{fi}+s\right)+h_0\left(d_e+p_{fo}\right)\right] \quad (۲-۳۴)$$

$$d_e > s \Rightarrow Y_p = \frac{b_p}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{p_{fi}}+\frac{1}{s}\right)+h_0\left(\frac{1}{p_{fo}}+\frac{1}{s}\right)\right]+\frac{2}{g}\left[h_1\left(p_{fi}+s\right)+h_0\left(d_e+p_{fo}\right)\right]$$



(الف) مدل نیروی وارد بر پیچ‌ها



ب) $d_e \le S$ ج) $d_e > S$

شکل ۲-۱۸: پارامتر ساز و کار خط تسلیم برای اتصال ۸ پیچه با سخت‌کننده؛ الگوی خط تسلیم و مشخصات هندسی ورق انتهایی
$d_e \le S$ (ب) $d_e > S$ (ج)

پارامتر ساز و کار خط تسلیم (Y_p) برای اتصال ۸ پیچه با سخت‌کننده طبق رابطه (۲-۳۵) محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} d_e \le s \Rightarrow Y_p &= \frac{b_p}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{2d_e}\right)+h_2\left(\frac{1}{p_{fo}}\right)+h_3\left(\frac{1}{p_{fi}}\right)+h_4\left(\frac{1}{s}\right)\right] \\ &+\frac{2}{g}\left[h_1\left(d_e+\frac{p_b}{4}\right)+h_2\left(p_{fo}+\frac{3p_b}{4}\right)+h_3\left(p_{fi}+\frac{p_b}{4}\right)+h_4\left(s+\frac{3p_b}{4}\right)+p_b^2\right]+g \\ d_e > s \Rightarrow Y_p &= \frac{b_p}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{s}\right)+h_2\left(\frac{1}{p_{fo}}\right)+h_3\left(\frac{1}{p_{fi}}\right)+h_4\left(\frac{1}{s}\right)\right] \\ &+\frac{2}{g}\left[h_1\left(s+\frac{p_b}{4}\right)+h_2\left(p_{fo}+\frac{3p_b}{4}\right)+h_3\left(p_{fi}+\frac{p_b}{4}\right)+h_4\left(s+\frac{3p_b}{4}\right)+p_b^2\right]+g \end{aligned} \qquad (۲-۳۵)$$

در این روابط:

F_{up} : حداقل تنش کششی مشخصه ورق $[N/mm^2]$

A_{nv} : سطح مقطع خالص ورق که با توجه به استفاده از سوراخ‌های استاندارد بر اساس میلیمتر مربع و طبق رابطه (۲-۳۶) محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} A_{nv} &= t_p\left[b_b-2\left(d_b+2\right)\right], \quad d_b < 24mm \\ A_{nv} &= t_p\left[b_b-2\left(d_b+3\right)\right], \quad d_b \ge 24mm \\ A_{nv} &= t_p\left[b_p-2\left(d_p+2\right)\right] \end{aligned} \qquad (۲-۳۶)$$

روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

روش تنش مجاز (ASD)

در این رابطه d_b قطر پیچ بر اساس میلیمتر است.

۶) انتخاب ضخامت ورق انتهایی (t_p) که مقدار آن باید از $t_{p,req'd}$ بیشتر باشد.

۷) محاسبه نیروی ضریب‌دار بال تیر (F_{fs} ،F_{fu}):

$$F_{fu} = \frac{M_{EU}}{d - t_{bf}} \qquad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)}$$

$$F_{fs} = \frac{M_{ES}}{d - t_{bf}} \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۲-۳۷)$$

در این رابطه:

d : عمق تیر [mm]

t_{bf} : ضخامت بال تیر [mm]

۸) کنترل تسلیم برشی قسمتی از ورق انتهایی در بالای بال فوقانی و پایین بال تحتانی تیر در اتصالات ۴ پیچه بدون سخت‌کننده (لچکی) توسط رابطه (۲-۳۸):

$$F_{fu} / 2 \le \phi_d R_n = \phi_d (0.6 F_{yp} b_p t_p) \qquad \phi_d = 0.9 \qquad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)}$$

$$F_{fs} / 2 \le \phi_d R_n = \phi_d (0.6 F_{yp} b_p t_p) \qquad \phi_d = 0.9 \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۲-۳۸)$$

در این رابطه:

b_p : عرض ورق سخت‌کننده[mm] که نباید بزرگ‌تر از مجموع عرض بال تیر و ۲۵میلیمتر در نظر گرفته شود.

در صورت عدم برقراری رابطه اخیر، باید ضخامت ورق سخت‌کننده یا تنش تسلیم ورق سخت‌کننده افزایش یابد.

۹) کنترل گسیختگی برشی قسمت گسترش یافته ورق انتهایی (ناحیه‌ای از ورق انتهایی بین بر خارجی بال تیر تا انتهای ورق) در اتصالات ۴پیچه بدون سخت‌کننده (لچکی) از طریق رابطه (۲-۳۹):

$$F_{fu} / 2 \le \phi_n R_n = \phi_n (0.6 F_{up} A_{nv}) \quad \phi_n = 1.00 \qquad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)}$$

$$F_{fs} / 2 \le \phi_n R_n = \phi_n (0.6 F_{up} A_{nv}) \quad \phi_n = 1.00 \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۲-۳۹)$$

در صورتیکه رابطه (۲-۳۹) برقرار نباشد آنگاه باید ضخامت ورق را افزایش داد یا از ورق با مقدار تنش تسلیم بیشتر استفاده نمود.

۱۰) در صورت استفاده از هر یک از انواع اتصال ۴ پیچه یا ۸ پیچه با سخت‌کننده (4ES,8ES) انتخاب ضخامت ورق سخت‌کننده طبق رابطه (۲-۴۰) می‌باشد:

$$t_s \ge t_{bw} \left(\frac{F_{yb}}{F_{ys}} \right) \qquad (۲-۴۰)$$

در این رابطه:

t_{bw} : ضخامت جان تیر [mm]

t_s : ضخامت ورق سخت‌کننده [mm]

F_{yS} : حداقل تنش تسلیم مشخصه مصالح سخت‌کننده $[N/mm^2]$

F_{yb} : حداقل تنش تسلیم مشخصه مصالح تیر $[N/mm^2]$

در مشخصات هندسی سخت‌کننده باید علاوه بر رعایت الزامات موجود در این بخش، به منظور جلوگیری از کمانش موضعی ورق سخت‌کننده رابطه (۲-۴۱) نیز باید برای نسبت ارتفاع به ضخامت برقرار باشد:

$$\frac{h_{st}}{t_s} \le 0.56\sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \qquad \text{روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)}$$

$$\frac{h_{st}}{t_s} \le \frac{250}{\sqrt{F_{ys}}} \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۲-۴۱)$$

در این رابطه؛

h_{st} : ارتفاع سخت‌کننده[mm] برابر است با ناحیه‌ای از ارتفاع ورق‌های انتهایی (فلنجی) بین بر خارجی بال تیر تا انتهای ورق انتهایی.

جوش‌های سخت‌کننده بین بال تیر و ورق‌های انتهایی باید به منظور افزایش ظرفیت برشی سخت‌کننده در بال تیر و افزایش ظرفیت کششی در ورق انتهایی طراحی شوند. هر دو نوع جوش گوشه و جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP) برای استفاده در جوش اتصال بین ورق سخت‌کننده با بال تیر مناسب هستند و برای جوش اتصال بین ورق اتصال انتهایی و سخت‌کننده باید از جوش‌های شیاری با نفوذ کامل (CJP) استفاده نمود. اگر ورق انتهایی دارای ضخامت ۱۰ میلیمتر یا کمتر باشد آنگاه استفاده از جوش‌های گوشه مجاز خواهد بود.

۱۱) مقاومت گسیختگی برشی پیچ اتصال از طریق پیچ‌های موجود در بال فشاری تامین می‌گردد و بنابراین داریم:

$$V_{EU} \le \phi_n R_n = \phi_n (n_b F_{nv} A_b) \quad \phi_n = 1.00 \qquad \text{روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)}$$

$$V_{ES} \le \phi_n R_n = \phi_n (n_b F_{nv} A_b) \quad \phi_n = 1.00 \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۲-۴۲)$$

در این رابطه:

n_b :تعداد پیچ‌های موجود در بال فشاری که در اتصالات 4ES برابر ۴ و برای اتصالات 8ES برابر ۸ است.

A_b : سطح مقطع کلی پیچ $[mm^2]$

F_{nv}: مقاومت برشی اسمی پیچ

V_{EU} و V_{ES}: نیروی برشی در انتهای تیر و در بر ستون بر اساس بند ۱-۲-۳-۲ بر اساس روش ضرایب بار و مقاومت و روش تنش مجاز [N]

۱۲) کنترل باربری پیچ یا گسیختگی ناشی از پارگی ورق انتهایی و بال ستون:

$$V_{EU} \le \phi_n R_n = \phi_n (n_i) r_{ni} + \phi_n (n_o) r_{no} \quad \phi_n = 1.00 \qquad \text{روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)}$$

$$V_{ES} \le \phi_n R_n = \phi_n (n_i) r_{ni} + \phi_n (n_o) r_{no} \quad \phi_n = 1.00 \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \qquad (۲-۴۳)$$

V_{EU} و V_{ES}: نیروی برشی در انتهای تیر و در بر ستون بر اساس بند ۱-۲-۳-۲ بر اساس روش ضرایب بار و مقاومت و روش تنش مجاز [N]

n_i : تعداد پیچ‌های داخلی که برای اتصالات 4E و 4ES برابر ۲ و برای اتصالات 8ES برابر ۴ است.

n_o: تعداد پیچ‌های خارجی که برای اتصالات 4E و 4ES برابر ۲ و برای اتصالات 8ES برابر ۴ است.

r_{ni} و r_{no}: مقاومت اسمی اتکایی اسمی مصالح در محل اتصال به ترتیب برای هر پیچ داخلی و خارجی در حالتی که نیرو در امتداد طولی باشد و تغییرشکل در محل سوراخ پیچ تحت بارهای بهره‌برداری در نظر گرفته شود و برای هر دو حالت اتصال اتکایی و اصطکاکی در سوراخ استاندارد برابر است با:

$$r_{ni}\ ,\ r_{no} = 1.2L_c tF_u \le 2.4d_b tF_u$$ روش ضریب بار و مقاومت (LRFD) و روش تنش مجاز (ASD) (۴۴-۲)

L_c: فاصله خالص بین لبه سوراخ پیچ و لبه سوراخ مجاور آن یا لبه ورق در جهت اعمال نیرو [mm]

F_u : حداقل مقاومت کششی مشخصه ورق انتهایی یا مشخصات مصالح بال ستون [N/mm^2]

d_b: قطر پیچ [mm]

t : ضخامت بال ستون یا ورق انتهایی [mm]

۱۳) طراحی جوش‌های اتصال ورق انتهایی به جان و بال باید مطابق الزامات بند «جزئیات اتصالات جوش» این بخش انجام گیرد.

ب) طراحی اجزای ستون‌ها در محل اتصال به تیر

۱) کنترل بال ستون برای تسلیم خمشی

$$t_{cf} \ge \sqrt{\frac{1.11M_{EU}}{\phi_d F_{yc} Y_c}}$$ روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$t_{cf} \ge \sqrt{\frac{1.11M_{ES}}{\phi_d F_{yc} Y_c}}$$ روش تنش مجاز (ASD) (۴۵-۲)

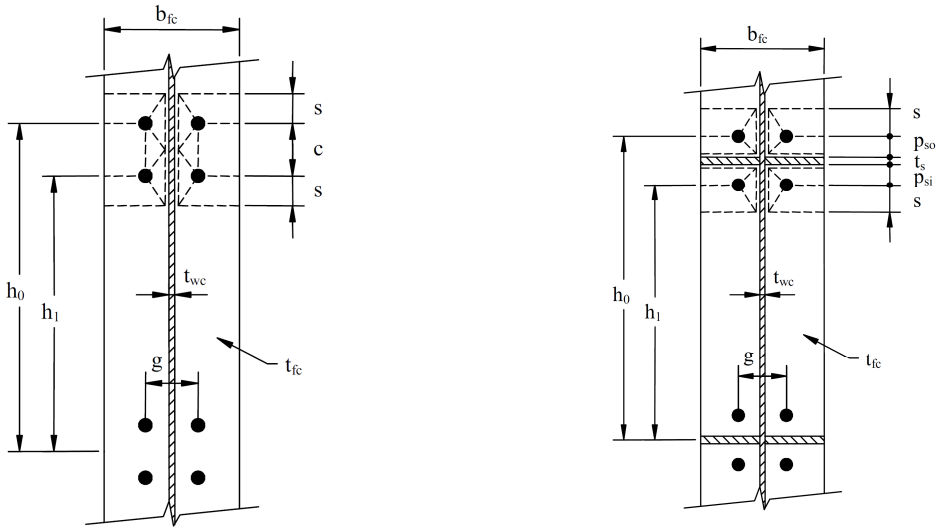
در این رابطه:

F_{yc} : حداقل تنش تسلیم مشخصه مصالح بال ستون [N/mm^2]

Y_c : پارامتر مربوط به ساز و کار خط تسلیم بدون سخت‌کننده و با وجود سخت کننده در بال ستون (مطابق روابط(۲-۴۶)و (۲-۴۷))

t_{cf} : ضخامت بال ستون [mm]

در صورت عدم برقراری رابطه (۲-۴۵)، باید اندازه ستون افزایش یابد یا ورق پیوستگی استفاده نمود. در صورت استفاده از ورق‌های پیوستگی باید رابطه مذکور با استفاده از پارامتر خط تسلیم (Y_c) مربوط به بال ستون با سخت-کننده کنترل شود.



(الف) با سخت‌کننده در بال ستون (ب) بدون سخت‌کننده در بال ستون

شکل ۲-۱۹: پارامتر ساز و کار خط تسلیم [Y_c] بال ستون با اتصال چهار پیچه: مشخصات هندسی بال ستون و الگوی خط تسلیم

پارامتر ساز و کار خط تسلیم [Y_c] بدون سخت‌کننده و با وجود سخت‌کننده در بال ستون:

$$Y_c = \frac{b_{cf}}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{s}\right)+h_0\left(\frac{1}{s}\right)\right]+\frac{2}{g}\left[h_1\left(s+\frac{3c}{4}\right)+h_0\left(s+\frac{c}{4}\right)+\frac{c^2}{2}\right]+\frac{g}{2} \qquad (۲\text{-}۴۶)$$

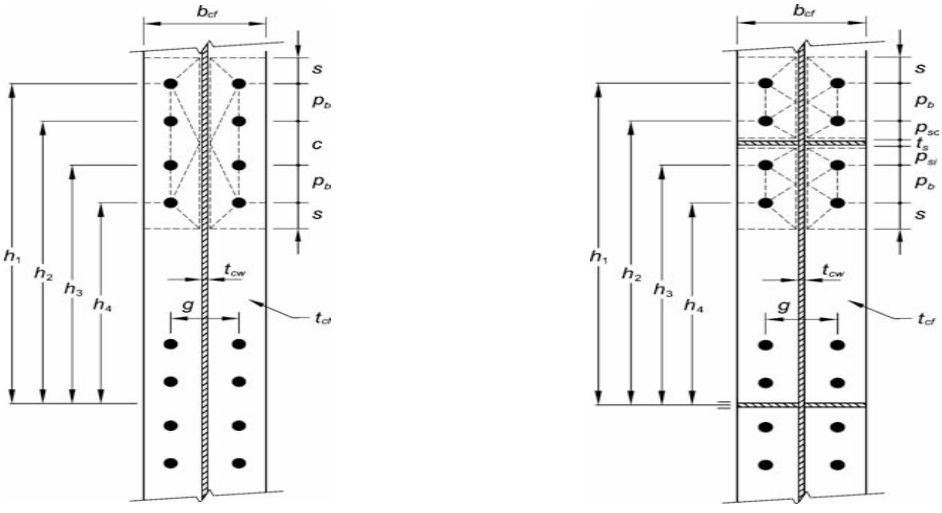
اتصال بدون سخت‌کننده در بال ستون

$$s = \frac{1}{2}\sqrt{b_{cf}\,g}$$

$$Y_c = \frac{b_{cf}}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{s}+\frac{1}{p_{si}}\right)+h_0\left(\frac{1}{s}++\frac{1}{p_{so}}\right)\right]+\frac{2}{g}\left[h_1\left(s+p_{si}\right)+h_0\left(s+p_{so}\right)\right] \qquad (۲\text{-}۴۷)$$

اتصال با سخت‌کننده در بال ستون

$$s = \frac{1}{2}\sqrt{b_{cf}\,g}\ \left(if\ p_{si} > s, use\ p_{fi} = s\right)$$



(الف) با سخت‌کننده در بال ستون (ب) بدون سخت‌کننده در بال ستون

شکل ۲-۲۰: پارامتر ساز و کار خط تسلیم [Y_c] بال ستون با اتصال هشت پیچه: مشخصات هندسی بال ستون و الگوی خط تسلیم

پارامتر ساز و کار خط تسلیم [Y_c] بدون سخت‌کننده و با وجود سخت‌کننده در بال ستون:

$$Y_c = \frac{b_{cf}}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{s}\right)+h_4\left(\frac{1}{s}\right)\right] + \frac{2}{g}\left[h_1\left(p_b+\frac{c}{s}+s\right)+h_2\left(\frac{p_b}{2}+\frac{c}{4}\right)+h_3\left(\frac{p_b}{2}+\frac{c}{2}\right)+h_4(s)\right]+\frac{g}{2} \qquad (۴۸-۲)$$

اتصال بدون سخت‌کننده در بال ستون

$$s = \frac{1}{2}\sqrt{b_{cf}\,g}$$

$$Y_c = \frac{b_{cf}}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{s}\right)+h_2\left(\frac{1}{p_{so}}\right)+h_3\left(\frac{1}{p_{si}}\right)+h_4\left(\frac{1}{s}\right)\right] + \frac{2}{g}\left[h_1\left(s+\frac{p_b}{4}\right)+h_2\left(p_{so}+\frac{3p_b}{4}\right)+h_3\left(p_{si}+\frac{p_b}{4}\right)+h_4\left(s+\frac{3p_b}{4}\right)+{p_b}^2\right] + g \qquad (۴۹-۲)$$

اتصال با سخت‌کننده در بال ستون

$$s = \frac{1}{2}\sqrt{b_{cf}\,g}\ \left(if\ p_{si} > s, use\ p_{fi} = s\right)$$

۲) در صورت نیاز به استفاده از سخت‌کننده برای کنترل تسلیم خمشی ستون باید نیروی مورد نیاز سخت‌کننده مشخص شود. مقاومت طراحی خمشی بال ستون طبق رابطه (۲-۵۰) محاسبه می‌شود:

$$\phi_d M_{cf} = \phi_d F_{yc} Y_c {t^2}_{cf} \qquad (۵۰-۲)$$

در این رابطه Y_c پارامتر مربوط به ساز و کار خط تسلیم در ستون بر اساس میلیمتر و بدون سخت‌کننده می‌باشد که طبق رابطه (۲-۴۶) و (۲-۴۸) محاسبه می‌گردد. بنابراین نیروی طراحی معادل در بال ستون از رابطه (۲-۵۱) بدست می‌آید:

$$\phi_d R_n = \phi_d\left(\frac{M_{cf}}{(d-t_{bf})}\right) \qquad (۵۱-۲)$$

با استفاده از مقدار $\phi_d R_n$ نیروی مورد نیاز برای طراحی ورق پیوستگی بدست می‌آید.

۳) برای کنترل مقاومت تسلیم موضعی جان ستون در حالتی که جان ستون بدون سخت‌کننده است، نیروی ضریب‌دار بال تیر (F_{fu}) باید در رابطه (۲-۵۲) صدق نماید:

$$F_{fu} \le \phi_d R_n$$
$$R_n = C_t\left(6k_c + t_{fb} + 2tp\right)F_{yc}t_{wc} \qquad (۵۲-۲)$$

در این روابط؛

C_t: در صورتیکه فاصله از بالای ستون تا وجه فوقانی بال تیر کمتر از عمق ستون باشد مقدار آن 0.5 و در غیر این صورت 1 خواهد بود.

F_{yc}: تنش مشخصه تسلیم مصالح جان ستون [N/mm^2]

k_c : فاصله از وجه خارجی بال ستون تا پاشنه جان گوشه (مقدار طراحی) یا جوش گوشه [mm]

t_{cw} : ضخامت جان ستون [mm]

در صورت عدم برقراری رابطه $F_{fu} \le \phi_d R_n$ باید از ورق‌های تقویتی جان ستون استفاده نمود.

۴) کنترل مقاومت کمانش جان ستون بدون سخت‌کننده تحت اثر فشار ناشی از بال تیر.

مقاومت مورد نیاز برای این منظور طبق رابطه (۲-۵۵) کنترل می‌شود:

$$\begin{aligned} F_{fu} &\le \phi R_n \qquad \phi = 0.9 \qquad \text{روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)} \\ F_{fu} &\le R_n / \Omega \qquad \Omega = 1.67 \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \end{aligned} \qquad (۲-۵۳)$$

الف) در صورتیکه نیروی F_{fu} در فاصله‌ای برابر یا بیشتر از $d_c/2$ از انتهای ستون اعمال شود، آنگاه R_n طبق رابطه (۲-۵۴) محاسبه می‌شود:

$$R_n = \frac{24 t_{cw}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} \qquad (۲-۵۴)$$

ب) در صورتیکه نیروی F_{fu} در فاصله‌ای کمتر از $d_c/2$ از انتهای ستون وارد شود، آنگاه R_n طبق رابطه (۲-۵۵) محاسبه می‌شود:

$$R_n = \frac{12 t_{cw}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} \qquad (۲-۵۵)$$

در این روابط h فاصله خالص بین انتهای انحنا یا شعاع گوشه بال‌ها برای مقاطع نورد شده و در مقاطع ساخته شده (تیر ورق‌ها) با اتصال جوشی این مقدار به فاصله خالص بین بال‌ها بر اساس میلیمتر محدود شده است.

در صورت عدم برقراری رابطه $F_{fu} \le \phi R_n$ باید از ورق‌های تقویتی در جان ستون استفاده نمود.

۵) کنترل مقاومت لهیدگی جان ستون بدون سخت‌کننده در بال فشاری تیر طبق رابطه (۲-۵۶) کنترل می‌گردد:

$$\begin{aligned} F_{fu} &\le \phi R_n \qquad \phi = 0.75 \qquad \text{روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)} \\ F_{fu} &\le R_n / \Omega \qquad \Omega = 2.00 \qquad \text{روش تنش مجاز (ASD)} \end{aligned} \qquad (۲-۵۶)$$

الف) در صورتیکه نیروی F_{fu} در فاصله‌ای بیشتر یا مساوی $d_c/2$ از انتهای ستون وارد شود، آنگاه R_n طبق رابطه (۲-۵۷) محاسبه می‌شود:

$$R_n = 0.80 t_{cw}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c} \right) \left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{cf}}{t_{cw}}} \qquad (۲-۵۷)$$

ب) در صورتیکه نیروی F_{fu} در فاصله‌ای کمتر از dc/2 از انتهای ستون وارد شود، R_n طبق رابطه (۲-۵۸) محاسبه می‌شود:

$$N/d_c \le 0.2 \Rightarrow R_n = 0.40t_{cw}^2\left[1+3\left(\frac{N}{d_c}\right)\left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yc}t_{cf}}{t_{cw}}}$$
$$N/d_c > 0.2 \Rightarrow R_n = 0.40t_{cw}^2\left[1+\left(\frac{4N}{d_c}-0.2\right)\left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yc}t_{cf}}{t_{cw}}} \quad (۵۸-۲)$$

در این روابط:

N : مجموع ضخامت بال تیر و دو برابر اندازه ساق جوش شیاری [mm]

d_c : ارتفاع کل عمق ستون [mm]

در صورت عدم برقراری رابطه $F_{fu} \le \phi R_n$ باید از ورق‌های تقویتی در جان ستون استفاده نمود.

در صورت نیاز به استفاده از ورق‌های سخت‌کننده برای هر طرف ستون در حالت‌های حدی، آنگاه مقاومت مورد نیاز طبق رابطه (۲-۵۹) محاسبه می‌شود:

$$F_{su} = F_{fu} - Min(\phi R_n) \quad (۵۹-۲)$$

در این رابطه:

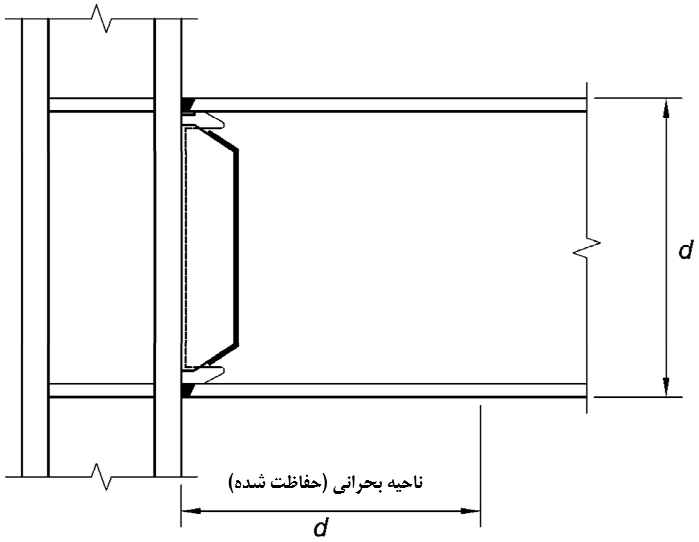
$Min\ (\phi R_n)$: حداقل مقدار مقاومت طراحی خمش بال ستون (مرحله ۲)، تسلیم جان ستون (مرحله ۳)، کمانش جان ستون (مرحله ۴) و لهیدگی جان ستون (مرحله ۵) محاسبه می‌شود.

توجه: طراحی ورق‌های پیوستگی و جوش‌های مورد استفاده باید مطابق الزامات طراحی و لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان انجام گیرد.

۷) کنترل ضوابط چشمه اتصال مطابق ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و فصل اول این دستورالعمل انجام گیرد.

۵.۳.۲.۲ اتصال گیردار مستقیم تقویت نشده جوشی[1] (WUF-W)

در این نوع اتصال امکان دوران و چرخش غیرالاستیک از طریق تسلیم تیر در ناحیه مجاور برِ ستون وجود دارد. به منظور کنترل گسیختگی اتصال، تمهیداتی در جوش‌های اتصال بال‌های تیر به ستون و نیز جوش‌های اتصال جان تیر به بال ستون و نیز شکل سوراخ‌های دسترسی جوش ایجاد شده است. با رعایت ضوابط این مجموعه اتصالات خمشی(WUF-W) شرایط لازم را برای کاربرد در قاب‌های خمشی ویژه (SMF) و متوسط (IMF) را خواهند داشت. در شکل ۲-۲۱ نمای کلی از این اتصال ارائه شده است.



شکل ۲-۲۱ : اتصال تیر به ستون با بال غیرمسلح توسط اتصال جوشی و جان جوش شده (WUF-W)

۱.۵.۳.۲.۲ ضوابط و محدودیت‌های اتصال

تیرها و ستون‌ها از نیمرخ نورد شده یا مقاطع ساخته شده از ورق طبق ضوابط ارائه شده برای مشخصات مصالح باشند.

حداکثر ارتفاع تیرها برای مقاطع نورد شده 100cm و برای مقاطع ساخته شده از ورق به ارتفاع مقطع نورد شده معادل محدود شده است.

برای تیرها حداکثر وزن واحد طول تیرها به مقدار 250kg/m محدود شده است ولی هیچ‌گونه محدودیتی برای وزن واحد طول ستون‌ها وجود ندارد.

حداکثر ضخامت بال تیر به مقدار ۳۰ میلیمتر محدود شده است و برای ضخامت بال مقاطع ستون‌ها فقط رعایت الزامات موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان کافی می‌باشد.

[1] Welded Unreinforced Flange–Welded Web (WUF-W) Moment Connection

حداقل نسبت فاصله خالص دهانه به عمق تیر در قاب‌های خمشی ویژه برابر ۷ و در قاب‌های خمشی متوسط به نسبت ۵ محدود شده است.

نسبت عرض به ضخامت در بال‌ها و جان تیرها و ستون‌ها بایستی مطابق الزامات ضوابط لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باشد.

مهار جانبی تیرها و ستون‌ها مطابق الزامات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و این دستورالعمل تامین گردد. مطابق ضوابط لرزه‌ای AISC مهار جانبی الحاقی در بالا و پایین بال‌ها و در فاصله‌ی d تا 1.5d از محل مفاصل پلاستیک (برِ ستون) قرار گیرد. نباید هیچ‌گونه مهار جانبی اضافی درناحیه‌ای به فاصله d از بر ستون استفاده گردد.

تبصره: برای سیستم‌های خمشی ویژه و متوسط که در آنها دال سازه‌ای بتنی در امتداد دهانه تیر در فاصله d از بر ستون با استفاده از برشگیرهای جوش شده به فواصل حداکثر 300mm استفاده شده است، آنگاه نیازی به استفاده از مهار جانبی الحاقی بال تیر در محل مفاصل پلاستیک وجود ندارد.

ناحیه بحرانی (حفاظت شده) شامل قسمتی از تیر بین بر ستون و فاصله‌ای برابر عمق تیر (d) نسبت به بر ستون باشد.

اتصال تیر به ستون از طریق اتصال تیر به بال ستون انجام گیرد.

حداکثر ارتفاع مقطع ستون‌ها برای مقاطع نورد شده ۱۰۰سانتیمتر و برای مقاطع ساخته شده از ورق به ارتفاع مقطع نورد شده معادل محدود شده است. ابعاد عرض و ضخامت بال ستون‌ها با مقطع صلیبی نباید بیشتر از مقادیر مجاز آن در مقاطع نورد شده معادل باشند. حداکثر مقدار ابعاد عرض یا عمق مقطع جعبه‌ای ستون‌های موجود در قاب‌های خمشی باید ۷۰ سانتیمتر باشد. عرض یا عمق مقاطع ستون‌های جعبه‌ای بال پهن در صورت مشارکت در عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی در دو راستای متعامد به مقدار ۷۰ سانتیمتر محدود شده است.

نسبت عرض به ضخامت در بال‌ها و جان ستون‌ها بایستی مطابق الزامات لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باشد. مهار جانبی ستون‌ها باید مطابق الزامات این دستورالعمل تامین گردد.

۲.۵.۳.۲.۲ محدودیت‌های اتصالات تیر به ستون

اتصالات تیر به ستون باید محدودیت‌های ذیل را تامین نمایند:

چشمه‌های اتصال باید مطابق الزامات لرزه‌ای موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و AISC باشند.

نسبت لنگر ستون به تیر باید مطابق الزامات لرزه‌ای موجود و براساس ضوابط ذیل باشند:

برای قاب‌های خمشی ویژه نسبت لنگر ستون به تیر باید مطابق ضوابط لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باشد. مقدار $\sum M^*_{pb}$ برابر است با $(\sum(M_{pr}+ M_{uv}))$ که در این رابطه M_{pr} بیشینه لنگر محتمل در مفصل پلاستیک است و M_{uv} لنگر مضاعف ناشی از تشدید برش بین مفصل پلاستیک و مرکز مقطع ستون است. مقدار M_{uv} از رابطه $V_h(d_c/2)$ بدست می‌آید که در این رابطه V_h نیروی برشی در مفصل پلاستیک است.

برای قاب‌های خمشی متوسط، نسبت لنگر خمشی تیر به ستون باید مطابق ضوابط فصل اول این دستورالعمل و الزامات لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باشد.

۳.۵.۳.۲.۲ جزئیات اتصالات

ورق‌های بال تیرها باید از طریق جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP) و با در نظر گرفتن نیروهای لرزه‌ای بحرانی مطابق ضوابط لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (بند ۱۰-۳-۱۳-۶ مورد ۵ و ۶) به بال ستون وصل شوند.

مشخصات هندسی سوراخ دسترسی جوش‌ها باید مطابق ضوابط آیین‌نامه‌ها و استانداردهای معتبر داخلی و خارجی نظیر الزامات بخش ۱۰-۲ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، آیین‌نامه اتصالات سازه‌های فولادی (نشریه ۲۶۴) و AWS تعیین گردد.

۴.۵.۳.۲.۲ محدودیت‌های اتصال تیر به ستون

در شکل ۲-۲۳ جزئیاتی از اتصال بال ستون به جان تیر نشان داده شده است، در مورد اتصال جان تیر به بال ستون با استفاده از ورق برشی همانند شکل ۲-۲۳ باید محدودیت‌های ذیل را تامین گردد:

ضخامت ورق برشی باید حداقل برابر ضخامت جان تیر باشد و ارتفاع ورق باید حداقل ۶میلیمتر و حداکثر ۱۲میلیمتر در بالا و پایین مقطع تیر نسبت به سوراخ دسترسی جوش همپوشانی داشته باشد و عرض ورق نیز حداقل ۵۰ میلیمتر بیشتر از انتهای سوراخ دسترسی جوش باشد.

اتصال ورق برشی باید از طریق جوش به بال ستون انجام گیرد. مقاومت برشی طراحی جوش‌ها باید حداقل برابر $0.6R_yF_{yp}$ یا h_pt_p باشد. در این رابطه h_p به عنوان ارتفاع ورق تکی جان (شکل ۲-۲۳) و t_p به عنوان ضخامت ورق است.

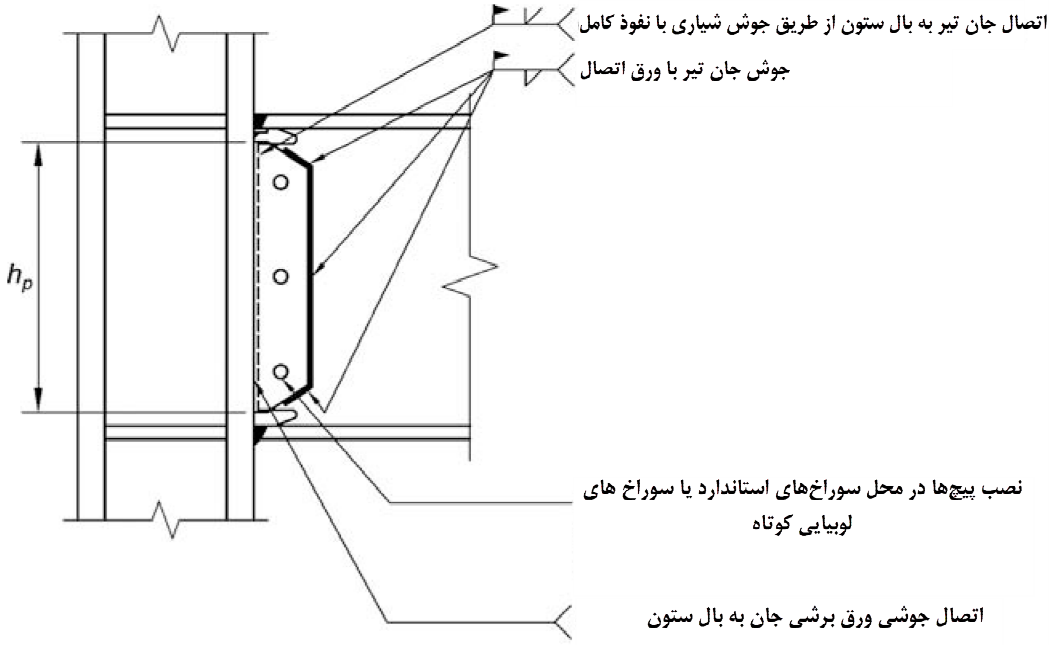
اتصال ورق برشی به جان تیر باید از طریق جوش گوشه ایجاد شود. اندازه جوش گوشه باید حداکثر ۲ میلیمتر از ضخامت ورق کمتر باشد. جوش‌های گوشه باید در امتداد شیب بالا و پایین ورق و عمود بر راستای طولی ورق گسترش یابند. جوش‌های گوشه موجود بر روی بخش‌های بالا و پایین شیب‌دار ورق باید حداقل به اندازه ۱۲ و حداکثر ۲۵ میلیمتر نسبت به لبه سوراخ دسترسی جوش اجرا شوند.

بر اساس نیازهای طراحی، استفاده از سوراخ‌های استاندارد یا سوراخ افقی لوبیایی کوتاه در این نوع اتصال مجاز می‌باشد.

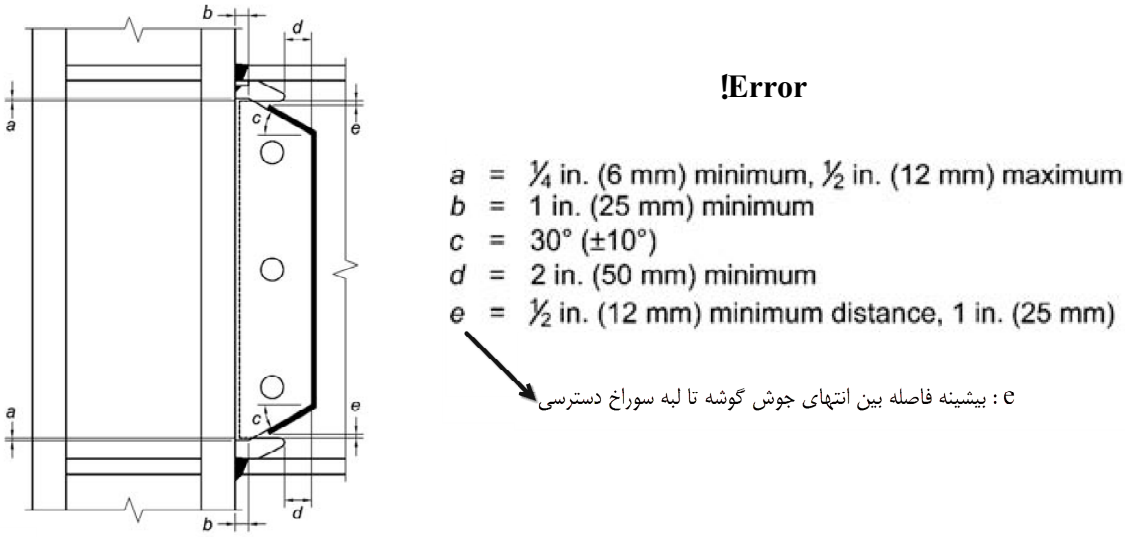
اتصال بین جان تیر و بال ستون باید از طریق جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP) برقرار گردد. این جوش ها باید به طور کامل طول جان را در بین سوراخ‌های دسترسی جوش پوشش دهند و مطابق با ضوابط مربوط به جوش های بحرانی باشند. استفاده از لقمه جوش[1] در این اتصال مورد نیاز نمی‌باشد و در صورت استفاده از آنها باید پس از

[1] Weld Tabs

انجام جوشکاری مطابق ضوابط آیین‌نامه‌های معتبر جوش برای حالات بدون لقمه جوش استفاده نمود. حذف جوش‌های اضافی با حداکثر زاویه ۴۵درجه مجاز است و استفاده از آزمایش های غیرمخرب (NDT) برای بررسی وضعیت جوش‌های حذف شده نیاز نمی‌باشد(شکل ۲-۲۲ و شکل ۲-۲۳).



شکل ۲-۲۲ : جزئیات اتصال تیر به ستون با بال غیرمسلح با اتصال جوشی و جان جوش شده (WUF-W)



شکل ۲-۲۳ : جزئیات اتصال جان تیر به بال ستون در اتصال (WUF-W)

۵.۵.۳.۲.۲ مراحل طراحی

محاسبه بیشینه لنگر محتمل در مفصل پلاستیک(M_{pr}) طبق رابطه ؛

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_e \qquad (۶۰-۲)$$

در این رابطه مقدار Z_e برابر Z_x مقطع تیر می باشد و برای ضریب C_{pr} طبق نتـایج آزمایشـگاهی از مقـدار ۱/۴ استفاده می شود.

(۲) در این نوع اتصال محل تشکیل مفصل پلاستیک در بر ستون می‌باشد و بنابراین $S_h=0$ خواهد بود.

(۳) محاسبه نیروی برشی (V_h) در محل مفصل پلاستیک در هر دو انتهای تیر

برای این منظور ابتدا نمودار جسم آزاد تیر بین دو مفصل پلاستیک دهانه محاسبه و ترسیم می‌شود. در محاسبه نیروی برشی باید مقدار لنگر در مفصل پلاستیک برابر M_{pr} و بارهای ثقلی و ترکیبات بارگذاری مرده و زنده و برف را شامل شود.

(۴) کنترل محدودیت‌های اتصال تیر به ستون بر اساس ضوابط مربوط به محدودیت های اتصالات تیر به ستون و تعیین مقاومت برشی مورد نیاز چشمه اتصال بر اساس ضـوابط لـرزه‌ای مبحـث دهـم مقـررات ملـی سـاختمان و AISC از مجموع لنگرهای خمشی بیشینه محتمل در برِ ستون (M_{pr} مرحله (۱)) مشخص می‌شود. در صورت نیاز و با توجه به مقدار لنگرهای خمشی بیشینه محتمل در بر ستون (M_{pr}) است که استفاده نمود.

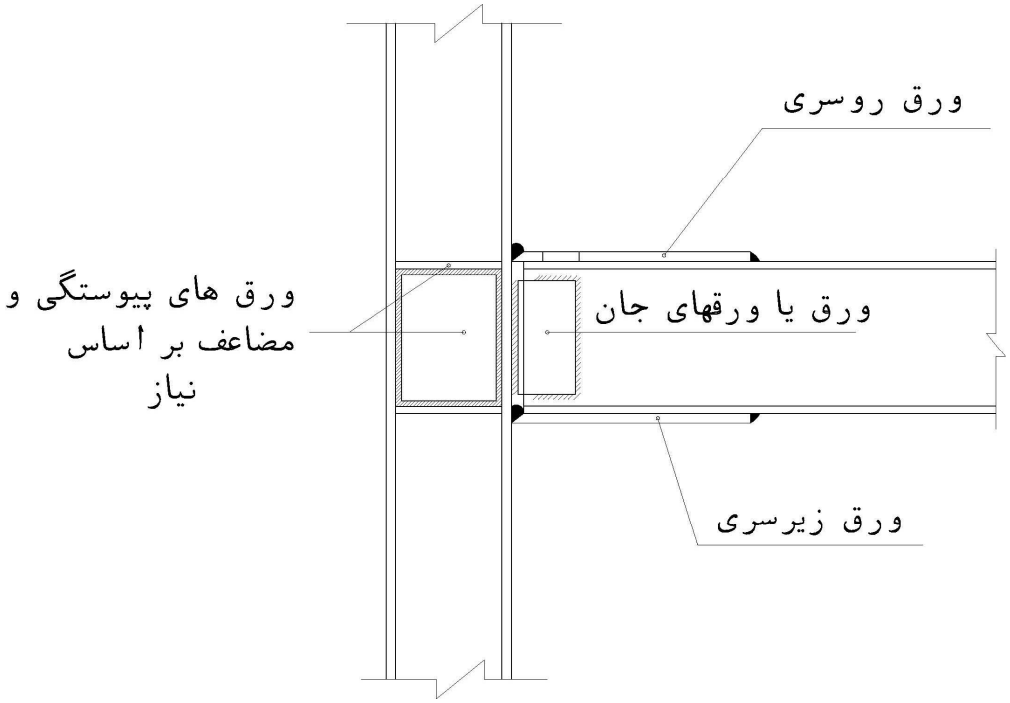
(۵) کنترل مقاومت برشی طراحی تیر

مقاومت برشی (V_{ES} , V_{EU}) مورد نیاز اتصال جان تیر به ستون باید برابر بـا بـزرگ تـرین مقـدار از نیروهـای برشی موجود در محل مفصل پلاستیک (V_h) باشد.

(۶) کنترل نیاز به ورق پیوستگی در ستون طبق ضوابط آن بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

۶.۳.۲.۲ اتصال گیردار جوشی تیر از طریق ورق‌های روسری و زیرسری[1] (WFP)

کاربرد اتصالات گیردار جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (شکل ۲-۶)، فقط به قاب‌های خمشی متوسط محدود می‌شود.



شکل ۲-۲۴: جزئیات اتصال گیردار جوشی تیر به ستون با ورق روسری و زیرسری (WFP)

۱.۶.۳.۲.۲ ضوابط و محدودیت‌های اتصال WFP

ضخامت بال تیر به مقدار ۳۰ میلیمتر محدود شده است.

نسبت دهانه آزاد تیر به عمق مقطع آن نباید از ۵ کمتر در نظر گرفته شود.

در دو انتهای تیر، ناحیه حفاظت شده باید برابر فاصله از بر ستون تا انتهای ورق‌های روسری و زیرسری (هر کدام که بزرگتر است) بعلاوه نصف عمق تیر بعد از آن، در نظر گرفته شود. محل تشکیل مفصل پلاستیک (S_h) در روی تیر باید در محل انتهای ورق‌های روسری و زیرسری (هر کدام که بزرگتر است) در نظر گرفته شود.

مهار جانبی تیرها بایستی مطابق بند ۱۰-۳-۶ الزامات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تامین گردد. تعبیه مهارجانبی در فاصله بین انتهای ناحیه محافظت شده تا نصف عمق تیر بعد از آن الزامی است. در قاب‌های خمشی با دال بتنی سازه‌ای آنها در صورتی‌که تیرها در فاصله بین دو ناحیه محافظت شده دارای برشگیرهای مدفون در بتن به فاصله حداکثر ۳۰۰میلیمتر باشند، تعبیه مهار جانبی در محل‌های مذکور الزامی نیست.

[1] Welded Flange Plate (WFP) Moment Connection

عمق مقطع ستون‌های H شکل و صلیبی در قاب‌های خمشی با دال بتنی سازه‌ای و دارای برشگیرهای فولادی مدفون در بتن، نباید از ۹۰۰ میلیمتر و در غیاب دال بتنی سازه‌ای از ۴۰۰ میلیمتر تجاوز نماید. عمق و پهنای ستون‌های قوطی شکل ساخته شده از ورق نباید از ۷۰۰ میلیمتر تجاوز نماید.

۲.۶.۳.۲.۲ محدودیت‌های اتصالات تیر به ستون

اتصالات تیر به ستون باید محدودیت‌های ذیل را تامین نماید:

چشمه‌های اتصال باید مطابق بندهای ۱۰-۲-۹-۱۰ و ۱۰-۳-۸-۴ الزامات لرزه‌ای موجود در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان باشند.

۳.۶.۳.۲.۲ جزئیات اتصالات

مشخصات مصالح ورق‌ها

کلیه ورق‌های اتصالات باید مطابق یکی از مشخصات استانداردهای مرسوم و معتبر موجود باشند.

ورق بال تیر

اتصال ورق‌های روسری و زیرسری به بال ستون باید از نوع جوش نفوذی کامل و به بال‌های تیر از نوع جوش گوشه باشد. در صورت استفاده از تسمه‌های پشت‌بند در پشت جوش‌های نفوذی، تسمه‌های پشت‌بند باید پس از انجام جوشکاری برداشته شوند.

ابعاد و ضخامت ورق‌های روسری و زیرسری و نیز مشخصات جوش‌های آنها به بال‌های تیر باید بر اساس مقاومت خمشی موردنیاز اتصال تیر به ستون (مطابق الزامات بند ۱۰-۳-۸-۳-پ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان) تعیین شود. در تعیین مقاومت‌های طراحی براساس الزامات فصل ۲-۱۰ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ضریب کاهش مقاومت را برای تعیین مشخصات جوش می‌توان برابر ۰/۹ و برای تعیین ضخامت ورق-های روسری و زیرسری برابر یک در نظر گرفت.

اتصالات ورق برشی جان تیر

اتصال ورق برشی به بال ستون بایستی از طریق جوش انجام گیرد. اتصال هر ورق برش به بال ستون باید شامل جوش‌های شیاری با نفوذ کامل یا جوش گوشه باشد. در صورت استفاده از ورق تکی جان، جوش گوشه باید دو طرفه باشد.

اتصال ورق (یا ورق‌های) جان به جان تیر باید از نوع جوش گوشه باشد.

ابعاد و ضخامت ورق (یا ورق‌های) جان و نیز جوشآن یا آنها به بال‌ستون و جان تیر باید بر اساس مقاومت برشی موردنیاز اتصال تیر به ستون (مطابق الزامات بند ۱۰-۳-۸-۳-پ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان) تعیین

شود. مقاومت‌های اسمی و ضریب کاهش مقاومت ورق (یا ورق‌های) جان و جوش‌های آن (یا آنها) باید براساس الزامات فصل ۱۰-۲ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تعیین شود.

۴.۶.۳.۲.۲ مراحل طراحی اتصالات WFP

برای طراحی اتصالات WFP لازم است مراحل ذیل به ترتیب انجام گردند:

۱) محاسبه لنگر خمشی و نیروی برشی موردنیاز طراحی

۲) محاسبه نیروی ایجاد شده در ورق بال تحت اثر لنگر مورد انتظار در بر بال ستون

$$F_{pr_u} = \frac{M_{EU}}{d_b}$$ روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) (۲-۶۱)

$$F_{pr_s} = \frac{M_{ES}}{d_b}$$ روش تنش مجاز (ASD) (۲-۶۲)

d_b: عمق مقطع تیر

۳) تعیین ابعاد ورق‌های روسری و زیرسری (کششی و فشاری)

ورق‌های کششی و فشاری باید با جوش شیاری تمام نفوذی به بال ستون جوش شوند. ورق فشاری در کارخانه به ستون جوش می‌شود و امکان حصول جوش شیاری با $\phi = 1$ برای آن قابل انتظار است, لیکن ورق کششی در کارگاه به ستون جوش می‌شود و بهتر است برای این جوش از ضریب کیفیت ۰/۷۵یا ۰/۸۵ استفاده نمود. در نتیجه عرض ورق کششی لازم است در محل اتصال به ستون افزایش یابد و در نتیجه ورق کششی به صورت کله‌گاوی درمی‌أید. از طرفی برای امکان جوش گوشه در وضعیت تخت، عرض ورق کششی به اندازه حداقل ۳۰ میلیمتر کوچکتر از عرض بال فوقانی و عرض ورق فشاری به مقدار حداقل ۳۰ میلیمتر بزرگتر از عرض ورق بال تحتانی منظور می‌شود.

۴) محاسبه جوش موردنیاز جهت اتصال ورق روسری و زیرسری به ستون

ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ کامل، برابر با ضخامت قطعه نازکتر در اتصال لب به لب و ضخامت قطعه جوش شده در اتصال کنج و سپری در نظر گرفته می‌شود.

۵) طراحی بعد جوش گوشه برای اتصال ورق روسری و زیرسری (کششی و فشاری) با بال تیر و طول کل ورق روسری و زیرسری

جوش گوشه صفحه کششی به بال تیر باید ظرفیتی برابر بیشتر از ظرفیت جوش لب صفحه کششی به ستون داشته باشد.

اتصال بال تیر به ورق اتصال بال توسط جوش گوشه در امتداد موازی محور تیر و با قلاب انتهایی تامین گردد. در قاب خمشی ویژه تنها طول جوش موازی محور تیر در محاسبات وارد می‌شود. طبق مبحث دهم مقررات

ملی ساختمان حداقل بعد جوش تابع ضخامت قطعه نازکتر می‌باشد. از طرفی نباید بعد جوش از ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده تجاوز کند.

آئین‌نامه اجازه می‌دهد که ضریب کاهش مقاومت در این حالت برابر ۰/۹ در نظر گرفته شود.

۶) طراحی ورق برشگیر جان

۷) طراحی جوش گوشه ورق جان به تیر و ستون

برای اتصال جان تیر یا ورق اتصال جان، به وجه ستون یا ورق انتهایی، استفاده از جوش نفوذی نسبی یا جوش گوشه مجاز است. ورق برشگیر از یک لبه به بال ستون و از سمت دیگر به جان تیر جوش می‌شود.

از روابط مربوط به اتصالات جوشی تحت برش و پیچش، بعد جوش ورق جان به تیر بدست می‌آید.

عرض ورق برشگیر باید بگونه‌ای باشد تا بتواند طول جوش لازم را برای اتصال به جان تیر تامین نماید.

جوش گوشه اتصال برشگیر به جان تیر تحت نیروی برشی و لنگر پیچشی قرار دارد.

۸) کنترل ضوابط مربوط به ورق پیوستگی

۹) کنترل ضوابط مربوط به چشمه اتصال ستون

فصل ۳ مثال های طراحی اتصالات تیر به ستون

- اتصال گیردار پیچی تیر به ستون از طریق ورق روسری و زیرسری (BFP)
- اتصال گیردار مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته (RBS)
- اتصال گیردار تیر به ستون از طریق ورق انتهایی با سخت‌کننده (BUEEP) و بدون سخت‌کننده (BSEEP) (اتصالات فلنجی تیر به ستون)
- اتصال گیردار جوشی از طریق ورق های روسری و زیرسری (WFP)

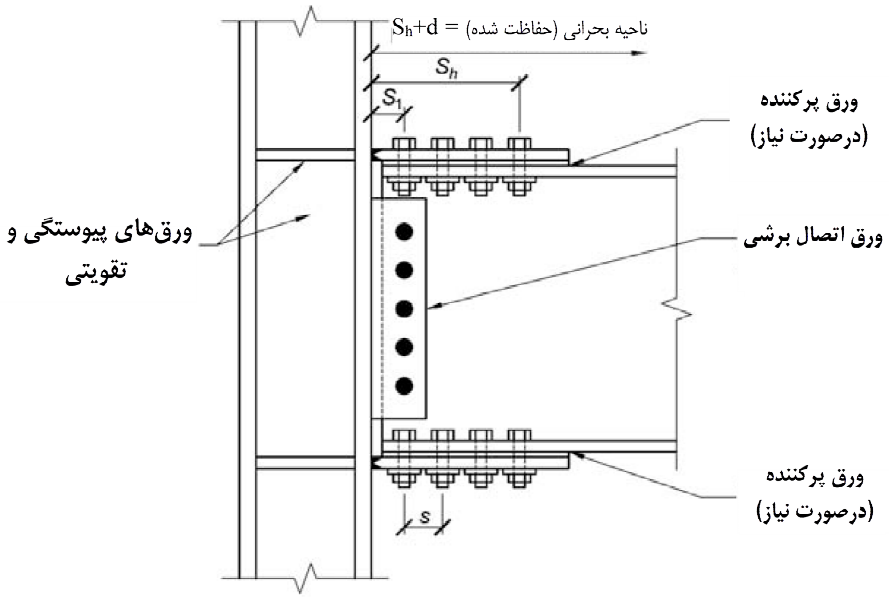
مثال ۳– ۱) اتصال گیردار پیچی تیر به ستون از طریق ورق روسری و زیرسری (BFP) با مشخصات ذیل طراحی نمایید.

Beam :

$d = 0.32m \quad b_f = 0.2m \quad t_f = 0.01m \quad t_w = 0.008m \quad Z = 8\times10^{-4}\,m^3$

Column :

$d = 0.34m \quad b_f = 0.3m \quad t_f = 0.02m \quad t_w = 0.01m$



مراحل طراحی:

۱) محاسبه لنگر خمشی بیشینه در محل مفصل پلاستیک تیر:

$$M_{pr} = C_{pr} Z_b R_y F_y = 1.1\times8\times10^{-4}\times1.5\times2400\times10^{2} = 316.8\,KN.m$$

۲) محاسبه حداکثر قطر پیچ:

$$d_b \le \frac{b_f}{2}\left(1-\frac{R_y F_y}{R_t F_u}\right) - 3mm$$

$$d_b \le \frac{0.2}{2}\left(1-\frac{1.5\times2400}{1.2\times3700}\right) - 0.003m$$

$$d_b \le 0.016\,m \quad \rightarrow \quad d_b = 0.016\,m$$

۳) محاسبه مقاومت برشی اتصال پیچ‌ها:

با توجه به استفاده از پیچ پرمقاومت A490 و نوع سوراخ استاندارد است و با فرض ضخامت ورق بال برابر ۲/۵ سانتیمتر:

$$r_n = \min\left(1.0F_{nv}A_{nb}, 2.4F_{nv}d_b t_f, 2.4F_{up}d_b t_p\right)$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$r_n = \min\begin{cases} 1.0\times 0.55\times 10000\times 10^2\times\left(0.008\times 0.008\times\pi\right)=110.6\,KN \\ 2.4\times 3700\times 10^2\times 0.016\times 0.01=142.1\,KN \\ 2.4\times 3700\times 10^2\times 0.016\times 0.025=355.2\,KN \end{cases}$$

$$r_n = 110.6\ KN$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

۴) انتخاب تعداد پیچ‌ها

با فرض ضخامت ورق بال برابر ۲/۵ سانتیمتر داریم:

$$n \geq \frac{1.25\times M_{pr}}{\phi_n r_n\left(d+t_p\right)}$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$n \geq \frac{1.25\times 316.8}{0.9\times 110.6\times\left(0.32+\left(2\times 0.025\right)\right)}$$

$$n \geq 10.8 \ \rightarrow \ n = 12$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

۵) مشخص نمودن موقعیت محل مفصل پلاستیک:

$$S_h = S_1 + s\left(\frac{n}{2}-1\right)$$

$$S_1 = 1.75d_b + 0.02m = 0.048\,m$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$S_h = 0.048+\left(3\times 0.016\right)\left(\frac{12}{2}-1\right)=0.29m$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

۶) محاسبه نیروی برشی در موقعیت محل مفصل پلاستیک در هر انتهای تیر:

$$D = 19\ KN/m \qquad L = 19\ KN/m$$

$$D+L$$

$$=19+19=38\ KN/m$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$V=\frac{38\times 3.8}{2}=72.2\ KN$$

$$1.2D+1.6L$$

$$=1.2\times 19+1.6\times 19=53.2\,KN/m$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$V_u=\frac{53.2\times 3.8}{2}=101.1KN$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$V_h = \frac{2\times 0.6M_{pr}}{L_h} + V$$
$$V_h = V_{pr} + V$$
$$= \frac{2\times 0.6\times 316.8}{3.8-(2\times 0.29)} + 72.2 = 190.3\,KN$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$V_h = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_u$$
$$V_h = V_{pr} + V_u$$
$$= \frac{2\times 316.8}{3.8-(2\times 0.29)} + 101.1 = 298\,KN$$

۷) محاسبه لنگر مورد انتظار در بر بال ستون:

ASD :

$$M_{ES} = 0.6M_{pr} + V_h S_h + W\frac{S_h^2}{2}$$
$$W = D + L = 19 + 19 = 38\ KN/m$$
$$M_{ES} = 0.6\times 316.8 + 190.3\times 0.29 + 38\times\frac{0.29^2}{2}$$
$$= 247\,KN.m$$

$LRFD$:

$$M_{EU} = M_{pr} + V_h S_h + W_u\frac{S_h{}^2}{2}$$
$$W = 1.2D + 1.6L = 1.2\times 19 + 1.6\times 19 = 53.2\ KN/m$$
$$M_{EU} = 316.8 + 298\times 0.29 + 53.2\times\frac{0.29^2}{2}$$
$$= 405.5\,KN.m$$

۸) محاسبه نیروی ایجاد شده در ورق بال تحت اثر لنگر مورد انتظار در بر بال ستون:

ASD :

$$F_{pr_s} = \frac{M_{ES}}{\left(d + t_p\right)}$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$F_{pr_s} = \frac{247}{\left(0.32 + \left(2\times 0.025\right)\right)}$$
$$F_{pr_s} = 667.6\ KN$$

$LRFD$:

$$F_{pr_u} = \frac{M_{Eu}}{\left(d + t_p\right)}$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$F_{pr_u} = \frac{405.5}{\left(0.32 + \left(2 \times 0.025\right)\right)}$$

$$F_{pr_u} = 1096 \ KN$$

۹) بررسی کنترل کفایت تعداد پیچ‌های انتخاب شده در مرحله (۴):

ASD :

$$n \geq \frac{F_{pr_s}}{\phi_n r_n}$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$n \geq \frac{667.6}{0.9 \times 110.6}$$

$$n \geq 7$$

$LRFD$:

$$n \geq \frac{F_{pr_u}}{\phi_n r_n}$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$n \geq \frac{1096}{0.9 \times 110.6}$$

$$n \geq 11$$

۱۰) کنترل کفایت ضخامت ورق بال مشخص شده در مرحله (۴):

ASD :

$$t_p \geq \frac{F_{pr_s}}{\phi_d F_y b_{fp}}$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$t_p \geq \frac{667.6}{1 \times 2400 \times 10^2 \times 0.2}$$

$$t_p \geq 0.014 \, m$$

$LRFD$:

$$t_p \geq \frac{F_{pr_u}}{\phi_d F_y b_{fp}}$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$t_p \geq \frac{1096}{1 \times 2400 \times 10^2 \times 0.2}$$

$$t_p \geq 0.02 \ m$$

۱۱) کنترل کفایت ورق بال برای گسیختگی کششی:

ASD :

$$F_{pr_s} \le \min\begin{cases}0.5F_u A_e\\ 0.6F_y A_g\end{cases}$$

$$A_n = \left(0.2-\left(0.016\times 2\right)\right)\times 0.025 = 4.2\times 10^{-3}\ m^2$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$A_e = A_n = 4.2\times 10^{-3}\ m^2 \le 0.85A_g = 0.85\times\left(0.2\times 0.025\right) = 4.25\times 10^{-3}\, m^2$$

$$A_g = 0.2\times 0.025 = 5\times 10^{-3}\, m^2$$

$$667.6KN \le \min\begin{cases}0.5\times 3700\times 10^2\times 4.2\times 10^{-3} = 777\ KN\\ 0.6\times 2400\times 10^2\times 5\times 10^{-3} = 720\ KN\end{cases}$$

$$667.6KN \le 720\ KN$$

$LRFD$:

$$F_{pr_u} \le \min\begin{cases}\phi F_u A_e\ ,\ \phi = 0.75\\ \phi F_y A_g\ ,\ \phi = 0.9\end{cases}$$

$$A_n = \left(0.2-\left(0.016\times 2\right)\right)\times 0.025 = 4.2\times 10^{-3}\ m^2$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$A_e = A_n = 4.2\times 10^{-3}\ m^2 \le 0.85A_g = 0.85\times\left(0.2\times 0.025\right) = 4.25\times 10^{-3}\, m^2$$

$$A_g = 0.2\times 0.025 = 5\times 10^{-3}\, m^2$$

$$1096\ KN \le \min\begin{cases}0.75\times 3700\times 10^2\times 4.2\times 10^{-3} = 1165.5\ KN\\ 0.9\times 2400\times 10^2\times 5\times 10^{-3} = 1080\ KN\end{cases}$$

$$1096\ KN \le 1080\ KN \quad \times$$

۱۲) کنترل بال تیر برای گسیختگی قالبی:

فرض می‌کنیم فاصله بین دو پیچ (مرکز به مرکز) در راستای موازی با بال تیر ۱۰ سانتیمتر باشد.

روش تنش مجاز (ASD)

ASD :

$$F_{pr_s} \le R_n$$

$$R_n = 0.3F_u A_{nv} + 0.5U_{bs}F_u A_{nt} \le 0.3F_y A_{gv} + 0.5U_{bs}F_u A_{nt}$$

$$R_n = 0.3\times 3700\times 10^2\times\left[\left(\left(0.29-\left(6\times 0.016\right)\right)\times 0.01\right)\times 2\right]$$
$$+0.5\times 1\times 3700\times 10^2\times\left[\left(\left(0.1-0.016\right)+2\times\left(0.05-0.008\right)\right)\times 0.01\right] = 741.5\ KN$$
$$\le 0.3\times 2400\times 10^2\times\left(2\times 0.29\times 0.01\right)$$
$$+0.5\times 1\times 3700\times 10^2\times\left[\left(\left(0.1-0.016\right)+2\times\left(0.05-0.008\right)\right)\times 0.01\right] = 728.4\ KN$$
$$\Rightarrow R_n = 728.4\ KN$$

$$F_{pr_s} = 667.6\,KN \le 728.4\ KN$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$LRFD:$$

$$F_{pr_u} \le \phi R_n \quad ,\phi = 0.75$$

$$R_n = 0.6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \le 0.6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt}$$

$$R_n = 0.6\times 3700\times 10^2 \times \left[\left(\left(0.29-\left(6\times 0.016\right)\right)\times 0.01\right)\times 2\right]$$

$$+1\times 3700\times 10^2 \times \left[\left(\left(0.1-0.016\right)+2\times\left(0.05-0.008\right)\right)\times 0.01\right] = 1483\,KN$$

$$\le 0.6\times 2400\times 10^2 \times \left(2\times 0.29\times 0.01\right)$$

$$+1\times 3700\times 10^2 \times \left[\left(\left(0.1-0.016\right)+2\times\left(0.05-0.008\right)\right)\times 0.01\right] = 1457\,KN$$

$$\Rightarrow R_n = 1457\,KN$$

$$F_{pr_u} = 1096\,KN \le 0.75\times 1457\,KN = 1093\,KN$$

۱۳) کنترل ورق بال برای کمانش فشاری:

ابتدا باید کمانش فشاری ورق بال را کنترل کنیم:

$$\frac{KL}{r} = \frac{0.65S_1}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{0.65\times 0.048}{\sqrt{\frac{\frac{0.2\times 0.025^3}{12}}{0.2\times 0.025}}} = 4.3 \le 25$$

بنابراین:

$$ASD:$$

$$F_{pr_s} \le 0.6F_y A_g$$

$$667.6\,KN \le 0.6\times 2400\times 10^2 \times \left(0.2\times 0.025\right) KN$$

$$667.6\,KN \le 720\ KN$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$LRFD:$$

$$F_{pr_s} \le 0.9F_y A_g$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$1096\ KN \le 0.9\times 2400\times 10^2 \times \left(0.2\times 0.025\right)\ KN$$

$$1096\ KN \le 1080\,KN \quad \times$$

برای تعیین اندازه قابل قبول برای ورق بال می‌توان محاسبات مراحل (۳) تا (۱۳) به صورت سعی و خطا تکرار نمود.

در این مثال روش تنش مجاز با این ابعاد ورق بال جواب داده است ولی در روش ضریب بار و مقاومت باید سعی و خطا انجام شود. عرض ورق روی بال (ورق روسری) را تا ۲۵ سانتی‌متر افزایش داده شده است(عرض ورق

از مرحله (۱۰) به بعد در روابط موجود محاسبه می‌شود.) برای این منظور محاسبات مربوط به مراحـل (۱۰) تـا (۱۳) مجددا برای عرض ورق روسری به مقدار ۲۵ سانتی‌متر (b_{fp}=25cm) تکرار شده است.

(۱۰)–تکرار: کنترل کفایت ضخامت ورق بال مشخص شده در مرحله (۴):

$$LRFD:$$

$$t_p \geq \frac{F_{pr_u}}{\phi_d F_y b_{fp}}$$

$$t_p \geq \frac{1096}{1\times 2400\times 10^2\times 0.25}$$

$$t_p \geq 0.018\ m$$

(۱۱)–تکرار: کنترل کفایت ورق بال برای گسیختگی کششی:

$$LRFD:$$

$$F_{pr_u} \leq \min\begin{cases}\phi F_u A_e\ ,\ \phi = 0.75\\ \phi F_y A_g\ ,\ \phi = 0.9\end{cases}$$

$$A_n = \left(0.25-\left(0.016\times 2\right)\right)\times 0.025 = 5.45\times 10^{-3}\ m^2$$

$$A_e = A_n = 5.45\times 10^{-3}\ m^2 \leq 0.85A_g = 0.85\times\left(0.25\times 0.025\right) = 5.31\times 10^{-3} m^2$$

$$A_g = 0.25\times 0.025 = 6.25\times 10^{-3} m^2$$

$$1096\ KN \leq \min\begin{cases}0.75\times 3700\times 10^2\times 5.31\times 10^{-3} = 1473.5\ KN\\ 0.9\times 2400\times 10^2\times 6.25\times 10^{-3} = 1350\ KN\end{cases}$$

$$1096\ KN \leq 1350\ KN$$

(۱۲)–تکرار: کنترل بال تیر برای گسیختگی قالبی:

تغییر ندارد.

(۱۳)–تکرار: کنترل ورق بال برای کمانش فشاری:

ابتدا باید کمانش فشاری ورق بال را کنترل کنیم:

$$\frac{KL}{r} = \frac{0.65S_1}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{0.65\times 0.048}{\sqrt{\frac{\frac{0.2\times 0.025^3}{12}}{0.2\times 0.025}}} = 4.3 \leq 25$$

بنابراین:

$$LRFD:$$

$$F_{pr_s} \leq 0.9F_y A_g$$

$$1096\ KN \leq 0.9\times 2400\times 10^2\times\left(0.25\times 0.025\right)\ KN$$

$$1096\ KN \leq 1350\ KN$$

(۱۴) محاسبه مقاومت برشی موردنیاز تیر برای اتصال جان تیر به ستون

ASD :

$$V_{ES} = V_h + WS_h$$
$$190.3 + (38 \times 0.29) = 201.3 \ KN$$

$LRFD$:

$$V_{Eu} = V_h + W_u S_h$$
$$298 + (53.2 \times 0.29) = 313.4 \ KN$$

(۱۵) طراحی یک ورق برشی براساس مقاومت برشی موردنیاز (حاصل از مرحله (۱۴))

ASD **:**

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{V_{ES}}{2 \times L \times t} \le 0.4 F_y$$
$$\frac{3}{2} \times \frac{201.3}{2 \times 0.25 \times t} \le 0.4 \times 2400 \times 10^2$$
$$t \ge 0.006 \ m$$

طراحی جوش گوشه ورق جان به ستون (دهانه ۳.۸ متری):

$$(2 \times L_w) \times (0.3 \times F_u \times \phi) \times (\cos 45 \times D) \ge 201.3 \, KN$$
$$(2 \times 0.25) \times (0.3 \times 4200 \times 10^2 \times 0.75) \times (0.707 \times D) \ge 201.3 \, KN$$
$$D \ge 0.006 \ m$$

بنابراین از دو ورق جان (2PL 250×100×10) با جوش گوشه با ضخامت گلوی ۸ میلیمتر برای اتصال آن به بال ستون استفاده می‌شود. اگر از پیچ‌های به قطر ۱۸ میلیمتر که سطح برش از داخل دندانه‌ها می‌گذرد استفاده شود آنگاه برای کنترل تنش برشی مستقیم در پیچ‌ها خواهیم داشت:

$$f_{VS} = \frac{V_{ES}}{2nA_b} \le F_V$$
$$f_{VS} = \frac{201.3}{2n\left(\pi \times (0.009)^2\right)} \le 0.15 F_u = 0.15 \times 10000 \times 10^2$$
$$n = 3$$

فاصله مرکز پیچ‌ها تا لبه آزاد ورق را ۵ سانتیمتر درنظر بگیریم، برای تعیین لنگر پیچشی می‌توان نوشت:

$$T = V_{ES} e = \frac{201.3}{2} \times (0.1 - 0.05) = 5 \ KN.m$$

ممان اینرسی مجموعه پیچ‌ها:

$$J = 2 \times \left(\pi \times (0.009)^2\right)\left(0.075^2\right) = 3 \times 10^{-6} \ m^4$$

تنش‌های برشی ناشی از نیروی برشی V_{ES} و لنگر پیچشی T در نقطه بحرانی جوش به قرار زیر است:

$$A_b = \pi r^2 = \pi\left(0.009\right)^2 = 2.54\times10^{-4}\ m^2$$

$$f_{vs} = \frac{V_{ES}}{2nA_b} = \frac{201.3}{2\times3\times2.54\times10^{-4}} = 132086.6\ \frac{KN}{m^2}$$

$$f_{vx} = \frac{Te_y}{J} = \frac{5\times0.075}{3\times10^{-6}} = 125000\ \frac{KN}{m^2}$$

f_r تنش برشی برایند برابر است با:

$$f_r = \sqrt{132086.6^2 + 125000^2} = 181857\ \frac{KN}{m^2} \le 0.15F_u = 150000\frac{KN}{m^2}$$

مناسب نیست. پس به تعداد پیچ‌ها اضافه می‌نماییم و ممان اینرسی مجموعه پیچ‌ها را محاسبه می‌کنیم:

$$J = 2\times\left(\pi\times\left(0.009\right)^2\right)\left(0.03^2 + 0.089^2\right) = 4.5\times10^{-6}\ m^4$$

$$f_{vs} = \frac{V_{ES}}{2nA_b} = \frac{201.3}{2\times4\times2.54\times10^{-4}} = 99065\ \frac{KN}{m^2}$$

$$f_{vx} = \frac{Te_y}{J} = \frac{5\times0.089}{4.5\times10^{-6}} = 98889\ \frac{KN}{m^2}$$

f_r تنش برشی برایند برابر است با:

$$f_r = \sqrt{99065^2 + 98889^2} = 139975\ \frac{KN}{m^2} \le 0.15F_u = 150000\frac{KN}{m^2}$$

مناسب است.

LRFD **:**

$$f_v = \frac{3}{2}\times\frac{V_{EU}}{2\times L\times t} \le 0.6F_yC_V$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{0.32}{0.008} = 40 \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 66.3 \Rightarrow C_V = 1\ ,\ \phi_V = 1$$

$$\frac{3}{2}\times\frac{313.4}{2\times0.25\times t} \le 0.6\times2400\times10^2\times1$$

$$t \ge 0.007\ m$$

طراحی جوش گوشه ورق جان به ستون:

$$(2\times L_w)\times(0.6\times F_u\times0.75\times\phi)\times(\cos45\times D) \ge 313.4\,KN$$

$$(2\times0.25)\times(0.6\times4200\times10^2\times0.75\times0.75)\times(\cos45\times D) \ge 313.4\,KN$$

$$D \ge 0.006\ m$$

بنابراین از دو ورق جان (2PL 250×100×10) با جوش گوشه با ضخامت گلوی ۸ میلیمتر برای اتصال آن بـه بال ستون استفاده می‌کنیم.

اگر از پیچ‌های به قطر ۱۸ میلیمتر که سطح برش داخل دندانه‌ها می‌گذرد استفاده شود، کنترل تنش برشی مستقیم در پیچ‌ها برابر است:

$$f_{VS} = \frac{V_{EU}}{nA_b} \le \phi F_{nv}$$

$$f_{VS} = \frac{313.4}{2n\left(\pi \times (0.009)^2\right)} \le 0.75 \times 0.4 \times F_u = 300000$$

$$n = 2.05$$

تعداد پیچ‌ها را ۳ در نظر گرفته می‌شوند و فاصله مرکز پیچ‌ها تا لبه آزاد ورق را ۵ سانتیمتر درنظر گرفته می‌شوند، بنابراین برای تعیین لنگر پیچشی می‌توان نوشت:

$$= V_{EU} e = \frac{313.4}{2} \times (0.1 - 0.05) = 7.8 \ KN.m$$

ممان اینرسی مجموعه پیچ‌ها:

$$= 2 \times \left(\pi \times (0.009)^2\right)\left(0.075^2\right) = 3 \times 10^{-6} \ cm^4$$

تنش‌های برشی ناشی از نیروی برشی V_{EU} و لنگر پیچشی T در نقطه بحرانی جوش به صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$A_b = \pi r^2 = \pi (0.009)^2 = 2.54 \times 10^{-4} \ m^2$$

$$f_{vs} = \frac{V_{EU}}{2nA_b} = \frac{313.4}{2 \times 3 \times 2.54 \times 10^{-4}} = 205643 \ \frac{KN}{m^2}$$

$$f_{vx} = \frac{Te_y}{J} = \frac{7.8 \times 0.075}{3 \times 10^{-6}} = 195000 \ \frac{KN}{m^2}$$

f_r تنش برشی برایند برابر است با:

$$f_r = \sqrt{205643^2 + 195000^2} = 283397 \ \frac{KN}{m^2} \le 0.75 \times 0.4 \times F_u = 300000 \frac{KN}{m^2}$$

مناسب است.

(۱۶) کنترل ضوابط مربوط به ورق پیوستگی

همانطور که بیان شد وظیفه ورق‌های پیوستگی جلوگیری از لهیدگی جان و جلوگیری از کمانش آن در ناحیه فشاری و جلوگیری از تغییر شکل بال ستون در ناحیه کششی است.

کنترل‌های لازم برای احتیاج یا عدم احتیاج ورق‌های پیوستگی

استفاده از ورق‌های پیوستگی در ارزیابی رفتار لرزه‌ای اتصالات توصیه شده است.

روش تنش مجاز (ASD)

۱) کنترل بال ستون در اثر نیروی کششی

خمش موضعی در بال ستون در مقابل بال کششی تیر در اتصال خمشی گیردار تیر به ستون:

تبصره: اگر عرض بارگذاری شده در روی بال ستون از 0.15b (b عرض بال ستون است) کمتر باشد، بررسی خمش موضعی در بال ستون در مقابل بال کششی تیر در اتصال خمشی گیردار تیر به ستون لازم نمی‌باشد. در این اتصال داریم:

$$0.15b = 0.15 \times 0.3 = 0.045\,m$$

که عرض بارگذاری بیشتر از این مقدار می‌باشد پس بررسی این مورد لازم است.

$$t = 0.4\sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}}$$

در این رابطه t ضخامت بال ستون و مقدار آن ۲ سانتیمتر است.

چنانچه P_{bf} حاصل از اثرات بارهای مرده و زنده باشد، آنگاه خواهیم داشت:

$$P_{bf} = \frac{5}{3} \times 667.6 = 1112.7\,KN$$

$$t = 0.4\sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}}$$

$$0.02\,m < 0.4\sqrt{\frac{1112.7}{2400 \times 10^2}} = 0.027\,m$$

همانطور که مشاهده می‌شود ضخامت بال ستون کمتر از مقدار رابطه بالا می‌باشد پس باید در محاذات بال کششی تیری که به ستون متصل می‌شود و یا محاذات ورق اتصال بال کششی تیر یک جفت سخت‌کننده قرار داد.

۲) کنترل جان ستون در اثر نیروی فشاری :

الف– تسلیم موضعی جان:

$$\frac{R}{t_W\left(N + 5K\right)} \le 0.66F_y$$

$$667.6\,KN \le \left(0.66 \times 2400 \times 10^2\right) \times \left(0.01 \times \left(0.025 + 5 \times 0.02\right)\right)$$

$$667.6\,KN \le 198\ KN \qquad \times$$

به دلیل اینکه روابط مربوط به کنترل تسلیم موضعی جان برقرار نمی‌باشد بنابراین تعبیه سخت‌کننده‌های فشاری ضروری است. لازم به ذکر است مقدار N در رابطه برابر با ضخامت ورق تحتانی اتصال تیر به ستون می‌باشد. بقیه موارد یعنی K ، t_w مربوط به ستون می‌باشند.

ب– لهیدگی در جان

$$R = 566 t_W^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_W}{t_f} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \sqrt{F_{yw} \frac{t_f}{t_W}}$$

$$667.6 = 566 \times (0.01)^2 \left[1 + 3 \left(\frac{0.025}{0.32} \right) \left(\frac{0.01}{0.02} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \sqrt{2400 \times 10^2 \times \frac{0.02}{0.01}}$$

$$667.6 \geq 42.5 \ KN$$

این رابطه برقرار می‌باشد.

ج- کمانش فشاری (کمانش موضعی قائم جان ستون):رابطه براساس kg و cm می‌باشد.

$$\frac{d}{t_{wc}} = \frac{35 \times 10^3 \times t_{wc}^2 \sqrt{F_{yc}}}{P_{bf}}$$

$$\frac{(34 - (2 \times 2))}{1} = \frac{35 \times 10^3 \times (1)^2 \times \sqrt{2400}}{111270}$$

$$30 > 15.4$$

مناسب است.

بنابر موارد بدست آمده به ورق پیوستگی در مقابل ورق فوقانی و تحتانی متصل به تیر نیاز است.

سطح مقطع ورق پیوستگی با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$A_{st} \geq \frac{P_{bf} - F_{yc} t_{wc} (t_b + 5K)}{F_{yst}}$$

$$A_{st} \geq \frac{1112.7 - \left[\left(2400 \times 10^2 \times 0.01 \right) \times \left(0.025 + 5 \times 0.02 \right) \right]}{2400 \times 10^2}$$

$$A_{st} \geq 3.4 \times 10^{-3} \ m^2$$

b_s عرض ورق تقویتی باید روابط زیر را ارضا نماید:

$$b_s + \frac{t_{wc}}{2} \geq \frac{b_{fb}}{3}$$

$$b_s + \frac{0.01}{2} \geq \frac{0.2}{3}$$

$$b_s \geq 0.06 \ m$$

در محل گوشه‌های اتصال بال به جان ستون، ورق‌های پیوستگی به اندازه حداقل ضخامت ورق ستون و حداکثر دو برابر ضخامت ورق ستون بریده می‌شوند.

b_s عرض ورق تقویتی ۱۲ سانتیمتر در نظر گرفته شود و از ۲ ورق پیوستگی استفاده گردد:

$$2 b_s t_s \geq A_{st}$$

$$2\times 0.12\times t_s \geq 3.4\times 10^{-3}\ m^2$$

$$t_s \geq 0.014\,m$$

ضخامت ورق تقویتی را ۱/۵ سانتیمتر در نظر گرفته می‌شود و کنترل‌های ذیل انجام می‌شود:

$$t_s \geq \frac{t_{fb}}{2}\ or\ \frac{t_p}{2}$$

$$t_s = 0.015\,m \geq \frac{0.025}{2} = 0.0125\,m$$

مناسب است.

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 0.55\sqrt{\frac{E}{F_{yst}}}$$

$$\frac{0.12}{0.015} = 8 \leq 16.3$$

مناسب است.

طول ورق‌ها باید برابر با فاصله خالص دو بال ستون باشند:

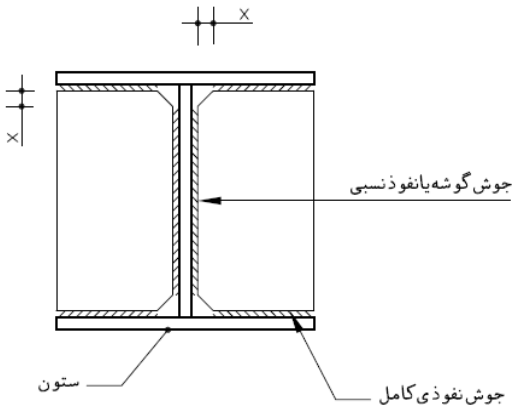
$$0.34-(2\times 0.02) = 0.3\,m = w_z$$

جوش اتصال ورق پیوستگی به بال ستون بصورت جوش نفوذی کامل اجرا می‌شود لذا نیازی به محاسبه ندارد.

جوش اتصال ورق پیوستگی به جان ستون، جوش گوشه اجرا می‌شود، این جوش باید برای حداقل نیروهای بدست آمده زیر طراحی گردد:

$$F = \min\left(667.6\,KN, 0.4F_y\left(w_z-2x\right)t_{cp}\right)$$

$0.4F_y\left(w_z-2x\right)t_{cp}$ حداکثر نیروی برشی قابل تحمل توسط ورق پیوستگی است (ظرفیت برشی ورق پیوستگی) و t_{cp} ضخامت ورق پیوستگی است.



$$0.4F_y\left(w_z-2x\right)t_{cp} = 0.4\times 2400\times 10^2\times\left(0.3-2\times 0.02\right)\times 0.015 = 374.4\,KN$$

$$F = \min(667.6\ ,374.4) = 374.4\ KN$$
$$(0.3\times F_u \times \phi)\times(\cos 45\times w_z \times D) = 374.4\ \underline{KN}$$
$$\left(0.3\times 4200\times 10^2\times 0.75\right)\times\left(0.707\times 2\left(0.3-2\times 0.02\right)\times D\right) = 374.4\ \underline{KN}$$
$$D = 0.01\ m$$

بنابراین از جوش گوشه با ضخامت گلوی ۱ سانتیمتر برای اتصال ورق پیوستگی به جان ستون استفاده می‌شود.

روش حالات حدی (LRFD)

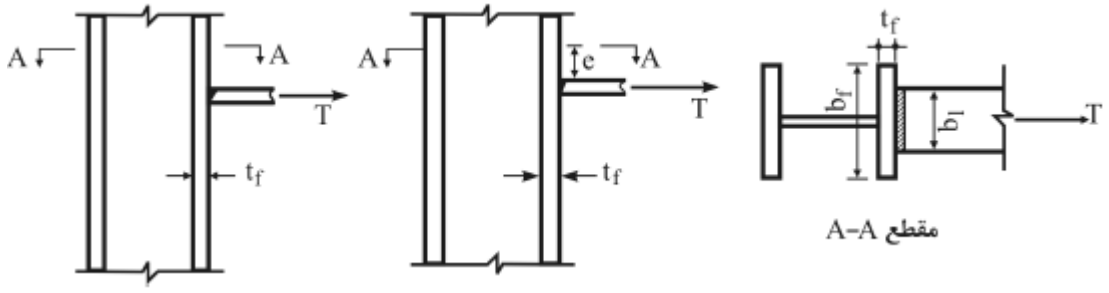
۱) خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی: (استحکام طراحی بال)

$$R_n = 6.25 t_f{}^2 F_{yf}$$
$$R_n = 6.25\times(0.02)^2\times 2400\times 10^2 = 600\ KN$$
$$R \le \phi R_n$$
$$1096\ KN \le 0.9\times 600\ KN$$
$$1096\ KN \le 540\ KN \quad \times$$

با توجه به اینکه رابطه برقرار نمی‌باشد بنابراین تعبیه سخت‌کننده ضروری است.

R_n : مقاومت اسمی تیر با اعمال محدودیت‌های ذیل است:

تبصره: در صورتیکه طول بارگذاری شده در امتداد عرض بال (b_1) ، کوچکتر از $0.15b_f$ باشد آنگاه نیازی به کنترل خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی وجود ندارد.



$$0.15b = 0.15\times 38 = 5.7\,cm$$

با توجه به اینکه عرض بارگذاری بیشتر از این مقدار می‌باشد پس کنترل خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی لازم است.

۲) تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری: (استحکام جاری شدن ستون)

$$R_n = \left(5k + l_b\right) F_{yw} t_w$$

k : فاصله از سطح خارج بال تا انتهای جوش گوشه اتصال بال و جان در مقاطع ساخته شده از ورق می‌باشد که در اینجا برابر ضخامت بال ستون و ۲ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

l_b : طول اتکای بار متمرکز (برای عکس‌العمل تکیه‌گاهی مقدار N نباید کمتر از k اختیار گردد)

$$R_n = (5\times 0.02 + 0.025)\times 2400\times 10^2 \times 0.01 = 300\ KN$$

$$R \le \phi R_n$$
$$1096\,KN \le 1\times 300\,KN$$
$$1096\ KN \le 300\ KN \quad \times$$

می‌بینیم رابطه برقرار نمی‌باشد. تعبیه سخت‌کننده ضروری است.

۳) کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری: (استحکام کمانشی جان بدون تقویت ستون)

$$R_n = \frac{24 t_w{}^3 \sqrt{E F_{yw}}}{h}$$

$$R_n = \frac{24\times 0.01^3 \sqrt{E\times 2400\times 10^2}}{\left(0.34-(2\times 0.02)\right)}$$

$$R_n = 568\ KN$$

$$R \le \phi R_n$$
$$1096\ KN \le 0.9\times 568\,KN$$
$$1096\ KN \le 511.2\ KN \quad \times$$

به دلیل اینکه رابطه برقرار نمی‌باشد بنابراین تعبیه سخت‌کننده ضروری خواهد بود. سطح مقطع ورق پیوستگی با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$A_{st} \ge \frac{T - F_{yc} t_{wc}\left(t_b + 5K\right)}{F_{yst}}$$

$$A_{st} \ge \frac{1096 - \left[\left(2400\times 10^2 \times 0.01\right)\times\left(0.025 + 5\times 0.02\right)\right]}{2400\times 10^2}$$

$$A_{st} \ge 3.32\times 10^{-3}\ m^2$$

b_s عرض ورق تقویتی باید روابط زیر را ارضا نماید:

$$b_s + \frac{t_{wc}}{2} \ge \frac{b_{fb}}{3}$$

$$b_s + \frac{0.01}{2} \ge \frac{0.2}{3}$$

$b_s \geq 0.06\ m$

در محل گوشه‌های اتصال بال به جان ستون، ورق‌های پیوستگی حداقل به اندازه ضخامت ورق ستون و حداکثر دو برابر ضخامت ورق ستون بریده شوند.

b_s : عرض ورق تقویتی را ۱۲ سانتیمتر در نظر می‌گیریم و از ۲ ورق پیوستگی استفاده می‌نماییم.

$$2b_s t_s \geq A_{st}$$

$$2\times 0.12\times t_s \geq 3.32\times 10^{-3}\ m^2$$

$$t_s \geq 0.014\ m$$

ضخامت ورق تقویتی را ۱/۵ سانتیمتر در نظر می‌گیریم و کنترل‌های زیر را نیز باید انجام دهیم:

$$t_s \geq \frac{t_{fb}}{2}\ or\ \frac{t_p}{2}$$

$$t_s = 0.015\,m \geq \frac{0.025}{2} = 0.0125 m$$

مناسب است.

طول ورق‌ها باید برابر با فاصله خالص دو بال ستون باشد:

$$0.34-(2\times 0.02) = 0.3\,m = w_z$$

جوش اتصال ورق پیوستگی به بال ستون بصورت جوش نفوذی کامل اجرا می‌شود لذا نیازی به محاسبه ندارد.

جوش اتصال ورق پیوستگی به جان ستون، جوش گوشه اجرا می‌شود، این جوش باید برای حداقل نیروهای بدست آمده زیر طراحی گردد:

$$F = \min\left(1096\,KN, 0.55F_y\left(w_z-2x\right)t_{cp}\right)$$

$0.55F_y\left(w_z-2x\right)t_{cp}$ نیز حداکثر نیروی برشی قابل تحمل توسط ورق پیوستگی است (ظرفیت برشی ورق پیوستگی) و t_{cp} ضخامت ورق پیوستگی است. پارامتر x را از شکل صفحه ۵۳۲ (کتاب ۴ میرقادری)

$$.55F_y\left(w_z-2x\right)t_{cp} = 0.55\times 2400\times 10^2\times\left(0.34-\left(2\times 0.02\right)\right)\times 0.015 = 594\,KN$$

$$F = \min\left(1096, 594\right) = 594\,KN$$

$$(0.6\times F_u\times 0.75\times\phi)\times(\cos 45\times w_z\times D) = 594\ \underline{KN}$$

$$\left(0.6\times 4200\times 10^2\times 0.75\times 0.75\right)\times\left(0.707\times 2\left(0.34-\left(2\times 0.02\right)\right)\times D\right) = 594\,KN$$

$$D = 0.01\ m$$

بنابراین از جوش گوشه با ضخامت گلوی ۱ سانتیمتر برای اتصال ورق پیوستگی به جان ستون استفاده می‌شود.

(۱۷) کنترل ضوابط مربوط به چشمه اتصال ستون

روش تنش مجاز (ASD)

۱) کنترل برش در چشمه اتصال و لزوم استفاده از ورق‌های مضاعف

چشمه اتصال باید برای برش ناشی از نیروهای کششی و فشاری موجود در بال‌های تیرهای سمت چپ و راست ستون طراحی شود. این برش به صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$V_{pa,s} = \sum \frac{M_{ES}}{d_b} - V_{col.}$$

$V_{col.}$: با فرض عدم وجود ستون فوقانی، برابر صفر است.

$$V_{pa,s} = \sum \frac{M_{ES}}{d_b} - V_{col.} = \sum \frac{M_{ES}}{d_b} = \left(\frac{247}{0.37} + 0 \right) = 667.6\,KN$$

محاسبه تنش برشی موجود (f_v) در چشمه اتصال:

(اگر $f_v \le F_v$ باشد آنگاه تعبیه ورق‌های مضاعف در جان ضروری نیست.)

برای محاسبه تنش مجاز برشی چشمه اتصال داریم: $\frac{f_a}{F_y} \le 0.5$

$$F_v = 0.4 F_y \left(1 + \frac{3 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_{cw}} \right)$$

$$F_v = 0.4 \times 2400 \times 10^2 \times \left(1 + \frac{3 \times 0.3 \times 0.02^2}{0.32 \times \left(0.34 - \left(2 \times 0.02\right)\right) \times 0.01} \right) = 132000\ \frac{KN}{m^2}$$

چون $f_v > F_v$ است بنابراین تعبیه ورق‌های مضاعف در جان ضروری است. با تعبیه ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) و یا یک جفت سخت کننده قطری باید اختلاف برش جبران گردد. چنانچه از ورق تقویت قطری استفاده شود:

$$\tan\theta = \frac{0.32}{\left(0.34 - 2 \times 0.02\right)} = 1.07 \Rightarrow \cos\theta = 0.7$$

مساحت ورق‌های تقویتی قطری از رابطه ذیل بدست می‌آید:

$$0.6 A_{st} F_{yst} \cos\theta + 0.4 F_y h_c t_{wc} = V$$

عبارت اول رابطه مذکور مولفه افقی ظرفیت ورق‌های تقویتی قطری و عبارت دوم بیانگر ظرفیت برشی جان ستون می‌باشد.

$$0.6 \times A_{st} \times 2400 \times 10^2 \times 0.7 + 0.4 \times 2400 \times 10^2 \times \left(0.34 - 2 \times 0.02\right) \times 0.01 = 667.6\,KN$$

$$A_{st} = 3.8 \times 10^{-3}\ m^2$$

چنانچه از ورق تقویتی با عرض ۱۲ سانتیمتر استفاده کنیم:

$$2b_s t_s = 2\times 0.12\times t_s \geq 3.8\times 10^{-3}\ m^2$$

$$t_s \geq 0.015\,m$$

طول ورق تقویتی بر اساس ترسیمی تقریبا ۳۰ سانتیمتر می‌شود. کنترل کمانش موضعی ورق تقویتی قطری:

$$\frac{b_s}{t_s} = \frac{0.12}{0.015} = 8 \leq 0.55\sqrt{\frac{E}{F_{yst}}} = 16.23$$

بنابراین از جفت ورق قطری با ابعاد ۱۵×۱۲۰×۳۰۰ [mm] برای تقویت جان ستون در چشمه اتصال استفاده می‌نماییم. جوش ورق تقویت قطری باید براساس سهم برشی که تحمل می‌نماید طراحی شود و می‌دانیم که در ۴ ردیف جوش انجام می‌شود.

$$V_s = 667.6 - 0.4\times 2400\times 10^2\times\left(0.34-2\times 0.02\right)\times 0.01 = 379.6\,KN$$

$$(0.3\times F_u\times\phi)\times(\cos 45\times L_s\times D) = 379.6\,KN$$

$$\left(0.3\times 4200\times 10^2\times 0.75\right)\times\left(0.707\times 4\times 0.3\times D\right) = 379.6\,KN$$

$$D = 0.005\,m$$

چنانچه از دو ورق به صورت متقارن نسبت به محور ستون استفاده نماییم، آنگاه برای تعیین ضخامت ورق مضاعف می‌توان نوشت:

$$f_v = \frac{V_{pa,s}}{A_c} = \frac{V_{pa,s}}{h_c\left(t_{tw}+2t_z\right)} \leq F_v$$

$$f_v = \frac{667.6}{\left(0.34-2\times 0.02\right)\times\left(0.01+2\times t_z\right)} \leq 132000\ \frac{KN}{m^2}$$

$$t_z = 0.003\ m$$

ورق‌های مضاعف باید به بال‌های ستون و ورق‌های پیوستگی بالایی و پایینی متصل گردند و یا از ورق پیوستگی به اندازه ۱۰۰ میلی‌متر عبور کرده و به جان ستون جوش شوند. جوش ورق مضاعف به جان باید برای انتقال نیروی سهم ورق کافی باشد.

جوش اتصال جان (یا جان‌های) ستون در ناحیه چشمه اتصال به بال ستون باید برای نیروی برشی چشمه اتصال طراحی شود. در این مورد طول اتصال جوشی می‌تواند برابر مجموع عمق تیر و عمق ستون در بالا و پایین ورق‌های پیوستگی در نظر گرفته شود. با توجه به دو ردیف خط جوش برای هر لبه فوقانی و یا تحتانی ورق تقویت چشمه اتصال می‌توان نوشت:

$$(0.3\times F_u\times\phi)\times(\cos 45\times L_s\times D) = 379.6\,\underline{KN}$$

$$\left(0.3\times 4200\times 10^2\times 0.75\right)\times\left(0.707\times 2\times\left(0.34-2\times 0.02\right)\times D\right) = 379.6\,\underline{KN}$$

$$D = 0.009\,m$$

برای تعیین اندازه گلوی جوش گوشه ورق تقویتی چشمه اتصال به لبه‌های قائم می‌توان نوشت:

$$(0.3\times F_u\times\phi)\times(\cos 45\times L_s\times D)=379.6\,\underline{KN}$$
$$\left(0.3\times 4200\times 10^2\times 0.75\right)\times\left(0.707\times 2\times\left(0.37-2\times 0.015\right)\times D\right)=379.6\,\underline{KN}$$
$$D=0.008\ m$$

کنترل کمانش برشی چشمه اتصال یا پایداری ورق‌های چشمه اتصال:

$$t_z\geq\frac{\left(d_z+W_z\right)}{90}=\frac{\left(0.34+0.3\right)}{90}=0.007\,m$$

بنابراین ضخامت ورق مضاعف را ۱ سانتیمتر در نظر می‌گیریم.

روش حالات حدی (LRFD)

کنترل برش در چشمه اتصال و لزوم استفاده از ورق‌های مضاعف:

$$V_{up}=\sum\frac{M_u}{d_b}-V_u$$

V_u : با فرض عدم وجود ستون فوقانی برابر صفر است.

$$V_{up}=\sum\frac{M_u}{d_b}-V_u=\sum\frac{M_u}{d_b}=\left(\frac{405.5}{0.37}+0\right)=1096\,KN$$

در اینجا حالتی را بررسی می‌کنیم که تاثیر تغییرشکل چشمه اتصال در تحلیل سازه منظور نشود. اگر $P_u\leq 0.4P_c$ باشد، آنگاه مقاومت اسمی برشی چشمه اتصال برابر خواهد بود با:

$$R_n=0.6F_y d_c t_w$$
$$R_n=0.6\times 2400\times 10^2\times 0.34\times 0.01=489.6\ KN$$
$$\phi R_n=0.9\times 489.6=440.6\ KN$$

چون مقاومت مورد نیاز از مقاومت موجود بیشتر است بنابراین تعبیه ورق‌های مضاعف در جان ضروری است. تعبیه ورق تقویتی (ورق پیوستگی) جان ستون (ورق مضاعف) و یا یک جفت سخت کننده قطری باید اختلاف برش را جبران نماید. چنانچه از ورق تقویت قطری استفاده شود آنگاه:

شکل صفحه ۳۱۷ جلد سوم میرقادری

$$\tan\theta=\frac{0.32}{\left(0.34-2\times 0.02\right)}=1.07\Rightarrow\cos\theta=0.7$$

مساحت ورق‌های تقویتی قطری از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$A_{st}F_{yst}\cos\theta+0.55F_y h_c t_{wc}=V$$

عبارت اول مولفه افقی ظرفیت ورق‌های تقویتی قطری و عبارت دوم بیانگر ظرفیت برشی جان ستون می‌باشد.

$$A_{st}\times 2400\times 10^2\times 0.7+0.55\times 2400\times 10^2\times\left(0.34-2\times 0.02\right)\times 0.01=1096\,KN$$
$$A_{st}=4.2\times 10^{-3}\ m^2$$

چنانچه از ورق تقویتی با عرض ۱۲ سانتیمتر استفاده شود، آنگاه:

$$2b_s t_s = 2\times 0.12\times t_s \geq 4.2\times 10^{-3}\ m^2$$

$$t_s \geq 0.017\ m$$

طول ورق تقویتی بر اساس شکل ترسیمی تقریبا ۳۰ سانتیمتر می‌شود. کنترل کمانش موضعی ورق تقویتی قطری در این روش کاربرد ندارد. بنابراین از جفت ورق تقویتی قطری با ابعاد ۱۸×۱۲۰×۳۰۰ میلیمتر برای تقویت جان ستون در چشمه اتصال استفاده می‌شود.

جوش ورق تقویت قطری باید براساس سهم برشی که تحمل می‌کند طراحی شود و می‌دانیم که در ۴ ردیف جوش انجام می‌شود.

$$V_s = 1096 - 0.55\times 2400\times 10^2\times\left(0.34 - 2\times 0.02\right)\times 0.01 = 700\ KN$$

$$(0.6\times F_u\times 0.75\times\phi)\times(\cos 45\times L_s\times D) = 700\ KN$$

$$\left(0.6\times 4200\times 10^2\times 0.75\times 0.75\right)\times\left(0.707\times 4\times 0.3\times D\right) = 700\ KN$$

$$D = 0.006\ m$$

چنانچه از دو ورق به صورت متقارن نسبت به محور ستون استفاده شود، آنگاه برای تعیین ضخامت ورق مضاعف می‌توان نوشت:

$$V_{up} = 1096\ KN$$

$$\phi R_n = 0.9\times 0.6 F_y d_c t_w$$

$$1096\ KN \leq 0.9\times 0.6\times 2400\times 10^2\times\left(0.34 - \left(2\times 0.02\right)\right)\times\left(0.01 + \left(2\times t_z\right)\right)$$

$$t_z = 0.009\ m$$

ورق‌های مضاعف باید به بال‌های ستون و ورق‌های پیوستگی بالایی و پایینی متصل گردند و یا از ورق پیوستگی به اندازه ۱۰۰ میلی‌متر عبور کرده و به جان ستون جوش شوند. مقاومت جوش ورق مضاعف به جان باید حداقل برابر با اختلاف مقاومت اتصال دو انتهای سخت‌کننده باشد. با توجه به دو ردیف خط جوش برای هر لبه فوقانی و یا تحتانی ورق تقویت چشمه اتصال می‌توان نوشت:

$$(0.6\times F_u\times 0.75\times\phi)\times(\cos 45\times L_s\times D) = 700\ KN$$

$$\left(0.6\times 4200\times 10^2\times 0.75\times 0.75\right)\times\left(0.707\times 2\times\left(0.34 - 2\times 0.02\right)\times D\right) = 700\ KN$$

$$D = 0.01\ m$$

برای تعیین اندازه گلوی جوش گوشه ورق تقویتی چشمه اتصال به لبه‌های قائم می‌توان نوشت:

$$\mathbf{(}0.6\times F_u\times 0.75\times\phi\mathbf{)}\times\mathbf{(}\cos 45\times L_s\times D\mathbf{)} = 700\ KN$$

$$\left(0.6\times 4200\times 10^2\times 0.75\times 0.75\right)\times\left(0.707\times 2\times\left(0.37 - 2\times 0.015\right)\times D\right) = 700\ KN$$

$$D = 0.01\ m$$

کنترل کمانش برشی چشمه اتصال یا پایداری ورق‌های چشمه اتصال:

$$t_z \geq \frac{(d_z + W_z)}{90} = \frac{(0.34 + 0.3)}{90} = 0.007\, m$$

بنابراین ضخامت ورق مضاعف ۱ سانتیمتر در نظر گرفته می‌شود.

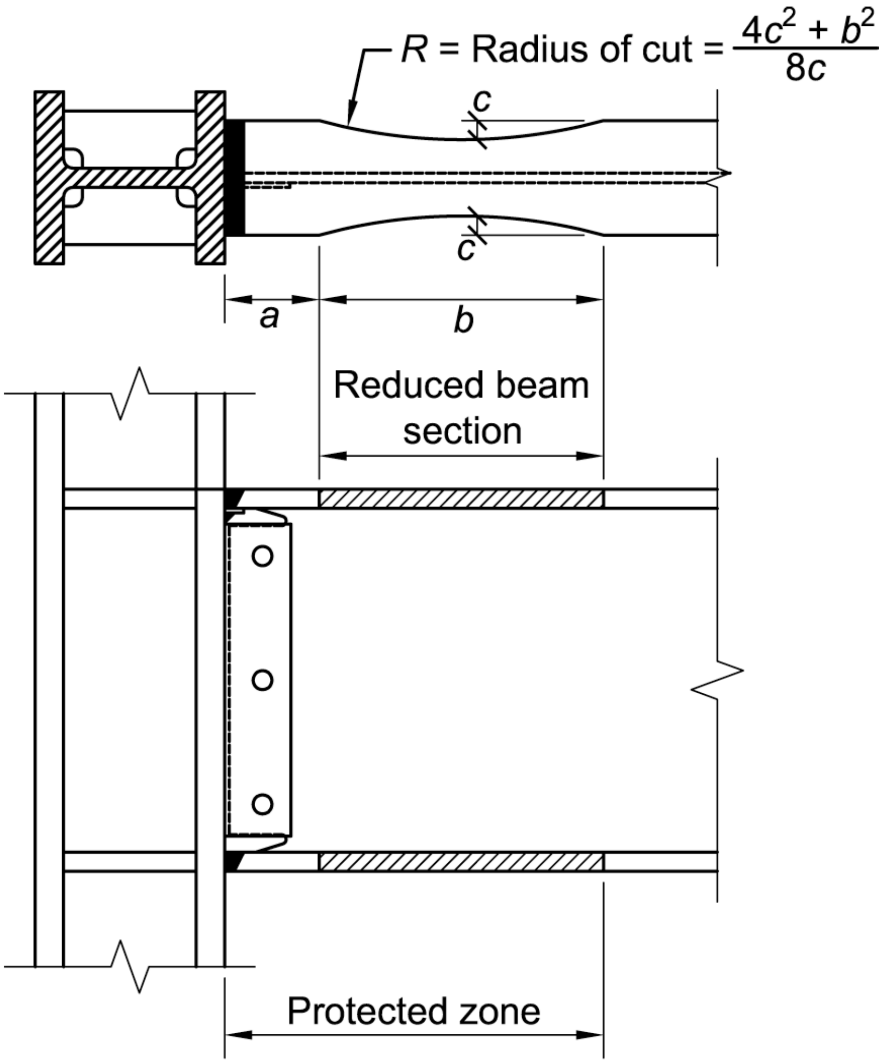
مثال ۳– ۲) اتصال گیردار مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته (RBS) با مشخصات ذیل را طراحی نمایید.

Beam :

$d_b = 0.46\,m \qquad b_f = 0.2m \qquad t_f = 0.015m \qquad t_w = 0.01m \qquad Z = 1797\times10^{-6}\,m^3$

Column :

$d_b = 0.37\,m \qquad b_f = 0.38m \qquad t_f = 0.02m \qquad t_w = 0.012m$



مراحل طراحی:

۱) انتخاب مقادیر مربوط به مقاطع تیرها، ستون‌ها و ابعاد مقطع کاهش‌یافته

$0.5b_{bf} \le a \le 0.75b_{bf}$

$0.5\times0.2 \le a \le 0.75\times0.2$

$0.1\ m \le a \le 0.15\ m \Rightarrow a = 0.15\ m$

$$0.65d \le b \le 0.85d$$
$$0.65\times 0.46 \le b \le 0.85\times 0.46$$
$$0.3\ m \le b \le 0.4\ m \Rightarrow b = 0.35\ m$$
$$0.1b_{bf} \le c \le 0.25b_{bf}$$
$$0.1\times 0.2 \le c \le 0.25\times 0.2$$
$$0.02\ m \le c \le 0.05\ m \Rightarrow c = 0.025\ m$$

۲) محاسبه اساس مقطع پلاستیک در مرکز مقطع کاهش یافته تیر

$$Z_{RBS} = Z_x - 2ct_{bf}\left(d - t_{bf}\right)$$
$$Z_{RBS} = 1797\times 10^{-6} - 2\times 0.025\times 0.015\times\left(0.46 - 0.015\right)$$
$$Z_{RBS} = 1.4633\times 10^{-3}\ m^3$$

۳) محاسبه بیشینه لنگر محتمل در مرکز مقطع کاهش‌یافته

ASD :

روش تنش مجاز (ASD)

$$M_{pr} = 0.6\times C_{pr}\times Z_{RBS}\times R_y\times F_y$$
$$M_{pr} = 0.6\times 1.1\times 1.463\times 10^{-3}\times 1.5\times 2400\times 10^2 = 347.61\ KN.m$$

$LRFD$:

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$M_{pr} = C_{pr}\times Z_{RBS}\times R_y\times F_y$$
$$M_{pr} = 1.1\times 1.463\times 10^{-3}\times 1.5\times 2400\times 10^2 = 579.35\ KN.m$$

۴) محاسبه نیروی برشی در مرکز مقاطع کاهش یافته در هر انتهای تیر

$$D = 112.5\ KN \qquad L = 87.5\,KN$$

ASD :

روش تنش مجاز (ASD)

$$D + L = 112.5 + 87.5 = 200\ KN$$
$$v = \frac{200}{2} = 100\ KN$$

$LRFD$:

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$1.2D + 1.6L = 1.2\times 112.5 + 1.6\times 87.5 = 275\ KN$$
$$v = \frac{275}{2} = 137.5\,KN$$

۵) محاسبه لنگر بیشینه محتمل در بر ستون

$$S_h = a + \frac{b}{2} = 0.15 + \frac{0.35}{2} = 0.325\ m$$

ASD :

روش تنش مجاز (ASD)

$$M_{ES} = M_{pr} + V_{RBS} S_h$$
$$M_{ES} = 347.61 + 100 \times 0.325$$
$$M_{ES} = 380.11\ KN.m$$

$LRFD$:

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$M_{ES} = M_{pr} + V_h S_h$$
$$M_{ES} = 579.35 + 137.5 \times 0.325$$
$$M_{ES} = 624.04\ KN.m$$

۶) محاسبه لنگر پلاستیک تیر براساس تنش تسلیم موردانتظار

$$M_{pe} = Z_x R_y F_y = 1797 \times 10^{-6} \times 1.5 \times 2400 \times 10^2 = 646.92\ KN.m$$

۷) کنترل مقاومت خمشی تیر در بر ستون

ASD :

روش تنش مجاز (ASD)

$$M_{ES} \le \varphi_d M_{pe}$$
$$380.11\ KN.m \le \varphi_d \times 646.92\ KN.m$$

$LRFD$:

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$M_{ES} \le \varphi_d M_{pe}$$
$$624.04\ KN.m \le \varphi_d \times 646.92\ KN.m$$

همانطور که مشاهده می‌شود رابطه با در نظر گرفتن $\varphi_d = 1$ برقرار می‌باشد.

۸) مشخص نمودن مقاومت برشی موردنیاز تیر و اتصال جان تیر به ستون

ASD :

$$L_h = 5 - (2 \times 0.325) = 4.35\ m$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$V_u = \frac{2 \times M_{pr}}{L_h} + V_{gravity}$$
$$V_u = \frac{2 \times 347.61}{4.35} + 100 = 260\ KN$$

$LRFD$:

$$L_h = 5 - (2 \times 0.325) = 4.35\ m$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$V_u = \frac{2 \times M_{pr}}{L_h} + V_{gravity}$$
$$V_u = \frac{2 \times 579.35}{4.35} + 137.5 = 404\ KN$$

۹) طراحی یک ورق برشی بر اساس مقاومت برشی موردنیاز

ASD **:**

$$f_v = \frac{3}{2}\times\frac{V_u}{2\times L\times t} \le 0.4F_y$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$\frac{3}{2}\times\frac{260}{2\times 0.30\times t} \le 0.4\times 2400\times 10^2$$

$$t \ge 0.007\ m$$

طراحی جوش گوشه ورق جان به ستون

$$(2\times L_w)\times(0.3\times F_u\times\phi)\times(\cos 45\times D) \ge 260\,KN$$

$$(2\times 0.3)\times(0.3\times 4200\times 10^2\times 0.75)\times(\cos 45\times D) \ge 260\,KN$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$D \ge 0.007m$$

بنابراین از دو ورق جان 2PL300×120×10 با جوش گوشه با ضخامت گلوی ۱۰ میلیمتر برای اتصال آن بـه بال ستون استفاده می‌شود. اگر اتصال به جان تیر بصورت جوش گوشه اجرا شود آنگاه با فرض ضخامت گلوی برابر یک سانتیمتر خواهیم داشت: (فاصله آزاد جان تیر تا بال ستون ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است)

$$A_w = \left(2\times 0.1+0.3\right)\times 0.01 = 5\times 10^{-3}\ m^2$$

$$\bar{x} = \frac{2\times 0.1\times 0.01\times\frac{0.1}{2}}{5\times 10^{-3}} = 0.02\ m$$

$$I_x = \left(2\times 0.1\times 0.01\times\left(\frac{0.3}{2}\right)^2\right)+\frac{(0.3)^3\times 0.01}{12} = 6.75\times 10^{-5}\ m^4$$

$$I_y = \left(0.3\times 0.01\times(0.02)^2\right)+\frac{2}{3}\left(0.02^3\times 0.01+0.08^3\times 0.01\right) = 4.67\times 10^{-6}\ m^4$$

$$J = I_x + I_y = 6.75\times 10^{-5}+4.67\times 10^{-6} = 7.22\times 10^{-5}\ m^4$$

برای تعیین لنگر پیچشی می‌توان نوشت:

$$e = 0.12-0.02 = 0.1\,m$$

$$T = \frac{V_u}{2}e = \frac{260}{2}\times 0.1 = 13\ KN.m$$

تنش‌های برشی ناشی از نیروی برشی V_u و لنگر پیچشی T در نقطه بحرانی جوش به صورت ذیل است:

$$f_{vs} = \frac{V_u}{2A_w} = \frac{260}{2\times 5\times 10^{-3}} = 260\times 10^2\ \frac{KN}{m^2}$$

$$f_{vx} = \frac{Te_y}{J} = \frac{13\times\frac{0.3}{2}}{7.22\times 10^{-5}} = 270\times 10^2\ \frac{KN}{m^2}$$

$$f_{vy} = \frac{Te_x}{J} = \frac{13\times 0.08}{7.22\times 10^{-5}} = 144\times 10^2\ \frac{KN}{m^2}$$

f_r تنش برشی برایند در محل بحرانی جوش گوشه برابر است با:

$$f_r = \sqrt{\left(f_{vs} + f_{vy}\right)^2 + {f_{vx}}^2} = \sqrt{\left(260\times10^2 + 144.04\right)^2 + 270.1^2} = 26145.44\ \frac{KN}{m^2}$$

برای تعیین ساق جوش گوشه به جان تیر می‌توان نوشت:

$$(0.3\times F_u\times\phi)\times(\cos 45\times D)\geq 26145.44\times 0.01$$
$$0.3\times 4200\times 10^2\times 0.75\times\cos 45\times D\geq 261.45$$
$$D\geq 0.004\ m$$

$LRFD$:

$$f_v = \frac{3}{2}\times\frac{V_u}{2\times L\times t}\leq 0.6F_yC_V$$
$$\frac{h}{t_w} = \frac{0.46}{0.01} = 46\leq 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 66.08\Rightarrow C_V = 1\ ,\ \phi_V = 1$$
$$\frac{3}{2}\times\frac{404}{2\times 0.3\times t}\leq 0.6\times 2400\times 10^2\times 1$$
$$t\geq 0.007\ m$$

طراحی جوش گوشه ورق جان به ستون:

$$(2\times L_w)\times(0.6\times F_u\times 0.75\times\phi)\times(\cos 45\times D)\geq 404\ KN$$
$$(2\times 0.3)\times(0.6\times 4200\times 10^2\times 0.75\times 0.75)\times(\cos 45\times D)\geq 404\ KN$$

روش حالات حدی (LRFD)

$$D\geq 0.012\ m$$

بنابراین از دو ورق جان 2PL300×120×12 با جوش گوشه با ضخامت گلوی ۱۰ میلیمتر برای اتصال آن به بال ستون استفاده می‌شود. اگر اتصال به جان تیر بصورت جوش گوشه اجرا شود آنگاه با فرض ضخامت گلوی برابر یک سانتیمتر خواهیم داشت:

$$A_w = \left(2\times 0.1 + 0.3\right)\times 0.01 = 5\times 10^{-3}\ m^2$$
$$\overline{x} = \frac{2\times 0.1\times 0.01\times\frac{0.1}{2}}{5\times 10^{-3}} = 0.02\ m$$
$$I_x = \left(2\times 0.1\times 0.01\times\left(\frac{0.3}{2}\right)^2\right) + \frac{(0.3)^3\times 0.01}{12} = 6.75\times 10^{-5}\ m^4$$
$$I_y = \left(0.3\times 0.01\times(0.02)^2\right) + \frac{2}{3}\left(0.02^3\times 0.01 + 0.08^3\times 0.01\right) = 4.67\times 10^{-6}\ m^4$$
$$J = I_x + I_y = 6.75\times 10^{-5} + 4.67\times 10^{-6} = 7.22\times 10^{-5}\ m^4$$

برای تعیین لنگر پیچشی می‌توان نوشت:

$$e = 0.12 - 0.02 = 0.1\ m$$

$$T = \frac{V_u}{2} e = \frac{404}{2} \times 0.1 = 20.2\ KN.m$$

تنش‌های برشی ناشی از نیروی برشی V_u و لنگر پیچشی T در نقطه بحرانی جوش به قرار زیر است:

$$f_{vs} = \frac{V_u}{2A_w} = \frac{404}{2 \times 5 \times 10^{-3}} = 404 \times 10^2\ \frac{KN}{m^2}$$

$$f_{vx} = \frac{Te_y}{J} = \frac{20.2 \times \frac{0.3}{2}}{7.22 \times 10^{-5}} = 419.66 \times 10^2\ \frac{KN}{m^2}$$

$$f_{vy} = \frac{Te_x}{J} = \frac{20.2 \times 0.08}{7.22 \times 10^{-5}} = 223.82 \times 10^2\ \frac{KN}{m^2}$$

f_r تنش برشی برایند در محل بحرانی جوش گوشه برابر است با:

$$\sqrt{\left(f_{vs} + f_{vy}\right)^2 + f_{vx}{}^2} = \sqrt{\left(404 \times 10^2 + 223.82 \times 10^2\right)^2 + \left(419.66 \times 10^2\right)^2} = 755.16 \times 10^2\ \frac{KN}{m^2}$$

برای تعیین ساق جوش گوشه به جان تیر می‌توان نوشت:

$$(0.6 \times F_u \times 0.75 \times \phi) \times (\cos 45 \times D) \geq 75516 \times 0.01$$

$$0.6 \times 4200 \times 10^2 \times 0.75 \times 0.75 \times \cos 45 \times D \geq 755.16$$

$$D \geq 0.008\ m$$

کنترل ضوابط مربوط به ورق پیوستگی و کنترل ضوابط مربوط به چشمه اتصال ستون مانند مثال روش BFP انجام می‌شود و از تکرار آن برای اتصال RBS اجتناب شده است.

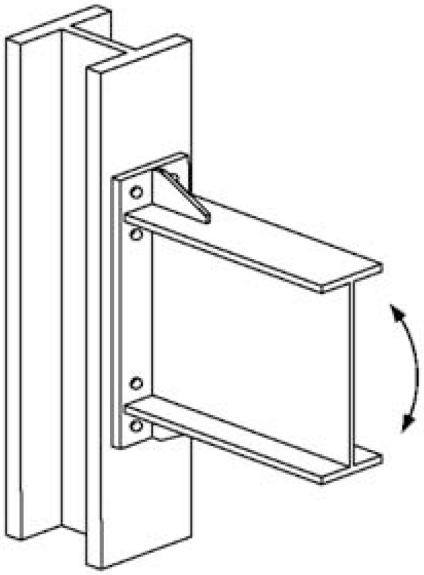
مثال ۳– ۳) اتصال گیردار تیر به ستون از طریق ورق انتهایی چهارپیچه با سخت کننده (BUEEP) را مطابق مشخصات ذیل طراحی نمایید.

Beam :

$d = 0.32m \quad b_f = 0.2m \quad t_f = 0.01m \quad t_w = 0.008m \quad Z = 8\times10^{-4}\,m^3$

Column :

$d = 0.34m \quad b_f = 0.3m \quad t_f = 0.02m \quad t_w = 0.01m$



مراحل طراحی:

الف) طراحی پیچ‌ها و ورق‌های انتهایی

۱) ابعاد اعضای اتصال (تیرها و ستون) و مقاومت برشی (V_{ES} , V_{EU}) و خمشی (M_{ES} , M_{EU}) مورد نیاز طراحی:

محل مفصل پلاستیک به صورت ذیل محاسبه خواهد شد:

$$M_{pr} = C_{pr} Z_b R_y F_y = 1.1\times8\times10^{-4}\times1.5\times2400\times10^2 = 316.8\,KN.m$$

با فرض ضخامت ورق انتهایی برابر ۲/۵ سانتیمتر داریم:

$$L_{st} = \frac{h_{st}}{\tan 30} = \frac{0.12}{\tan 30} = 0.21\ m$$

$$S_h = \left\{L_{st} + t_p\right\} = 0.21 + 0.025 = 0.235\,m$$

$$D = 19\ KN/m \qquad L = 19\ KN/m$$

$$ASD: D + L$$
$$= 19 + 19 = 38\ KN/m$$
$$V = \frac{38 \times 3.8}{2} = 72.2\ KN$$

$$LRFD: 1.2D + 1.6L$$
$$= 1.2 \times 19 + 1.6 \times 19 = 53.2\ KN/m$$
$$V_u = \frac{53.2 \times 3.8}{2} = 101.1\ KN$$

$$ASD:$$
$$V_h = \frac{2 \times 0.6 M_{pr}}{L_h} + V$$
$$V_h = V_{pr} + V$$
$$= \frac{2 \times 0.6 \times 316.8}{3.8 - (2 \times 0.235)} + 72.2 = 186.4\ KN$$

$$V_h = \frac{2 M_{pr}}{L_h} + V_u$$
$$V_h = V_{pr} + V_u$$
$$= \frac{2 \times 316.8}{3.8 - (2 \times 0.235)} + 101.1 = 291.4\ KN$$

$$ASD:$$
$$M_{ES} = 0.6 M_{pr} + V_h S_h + W \frac{S_h^2}{2}$$
$$W = D + L = 19 + 19 = 38\ KN/m$$
$$M_{ES} = 0.6 \times 316.8 + 186.4 \times 0.235 + 38 \times \frac{0.235^2}{2}$$
$$= 235\ KN.m$$

$LRFD$:

$$M_{EU} = M_{pr} + V_h S_h + W_u \frac{S_h{}^2}{2}$$

$$W = 1.2D + 1.6L = 1.2\times 19 + 1.6\times 19 = 53.2\ KN/m$$

$$M_{EU} = 316.8 + 291.4\times 0.235 + 53.2\times \frac{0.235^2}{2}$$

$$= 386.7\ KN.m$$

ASD :

$$V_{ES} = V_h + WS_h$$

$$= 186.4 + (38\times 0.235) = 195.3\ KN$$

$LRFD$:

$$V_{Eu} = V_h + W_u S_h$$

$$= 291.4 + (53.2\times 0.235) = 304\ KN$$

۲) انتخاب یکی از انواع اتصال (۴پیچه با سخت‌کننده، ۴ پیچه بدون سخت‌کننده و ۸ پیچه بـا سـخت‌کننـده) و مشخصات هندسی اولیه مورد نیاز اتصال (نظیر g، pfi،pfo،pb، hi) و مشخصات پیچ‌های اتصال:

در این مثال اتصال ۴ پیچه با سخت‌کننده انتخاب شده است بنابراین مشخصات هندسی اولیه موردنیاز اتصال به صورت ذیل خواهد بود:

$$g = 0.1m$$
$$P_{fo} = 0.06\ m$$
$$P_{fi} = 0.06\ m$$
$$b_P = 0.2\ m$$
$$h_1 = 0.24\ m$$
$$h_0 = 0.37\ m$$

تعیین قطر پیچ مورد نیاز:

ASD :

$$d_{b\,req'd} = \sqrt{\frac{2M_{ES}}{\pi\phi_n F_{nt}(h_0 + h_1)}}$$

$$\phi_n = 0.9$$

$$F_{nt} = 0.38F_u = 0.38\times 10000\times 10^2 = 38\times 10^4\ \frac{KN}{m^2}$$

$$d_{b\,req'd} = \sqrt{\frac{2\times 235}{\pi\times 0.9\times 38\times 10^4\times(0.37+0.24)}} = 0.026\ m$$

LRFD :

$$d_{b\,req'd} = \sqrt{\frac{2M_{EU}}{\pi\phi_n F_{nt}\left(h_0 + h_1\right)}}$$

$$\phi_n = 0.9$$

$$F_{nt} = 0.75F_u = 0.75\times 10000\times 10^2 = 75\times 10^4\ \frac{KN}{m^2}$$

$$d_{b\,req'd} = \sqrt{\frac{2\times 386.7}{\pi\times 0.9\times 75\times 10^4\times\left(0.37+0.24\right)}} = 0.024\ m$$

انتخاب قطر پیچ (d_b) از طریق قضاوت مهندسی و روش سعی و خطا بدست می‌آید و مقدار آن نباید کمتراز $d_{b\,req'd}$ باشد.

ASD :

$$d_b = 0.026\ m$$

LRFD :

$$d_b = 0.026\ m$$

۵) تعیین ضخامت ورق انتهایی

ASD :

$$t_{p\,req'd} = \sqrt{\frac{1.11M_{ES}}{\phi_d F_{yp} Y_p}}$$

$$s = \frac{1}{2}\sqrt{b_p g} = \frac{1}{2}\sqrt{0.2\times 0.1} = 0.07\,m$$

$$d_e \le s$$

$$Y_p = \frac{b_p}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{p_{fi}}+\frac{1}{s}\right)+h_0\left(\frac{1}{p_{fo}}+\frac{1}{2s}\right)\right]+\frac{2}{g}\left[h_1\left(p_{fi}+s\right)+h_0\left(d_e+p_{fo}\right)\right]$$

$$Y_p = \frac{0.2}{2}\left[0.24\times\left(\frac{1}{0.06}+\frac{1}{0.07}\right)+0.37\times\left(\frac{1}{0.06}+\frac{1}{2\times 0.07}\right)\right]$$

$$+\frac{2}{0.1}\times\left[0.24\times\left(0.06+0.07\right)+0.37\times\left(0.06+0.06\right)\right]$$

$$Y_p = 3.14$$

$$t_{p\,req'd} = \sqrt{\frac{1.11\times 235}{1\times 2400\times 10^2\times 3.14}}$$

$$t_{p\,req'd} = 0.02\ m$$

LRFD :

$$t_{p\,req'd} = \sqrt{\frac{1.11 M_{EU}}{\phi_d F_{yp} Y_p}}$$

$$s = \frac{1}{2}\sqrt{b_p g} = \frac{1}{2}\sqrt{0.2 \times 0.1} = 0.07\,m$$

$$d_e \le s$$

$$Y_p = \frac{b_p}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s}\right) + h_0\left(\frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2s}\right)\right] + \frac{2}{g}\left[h_1\left(p_{fi} + s\right) + h_0\left(d_e + p_{fo}\right)\right]$$

$$Y_p = \frac{0.2}{2}\left[0.24 \times \left(\frac{1}{0.06} + \frac{1}{0.07}\right) + 0.37 \times \left(\frac{1}{0.06} + \frac{1}{2 \times 0.07}\right)\right]$$

$$+ \frac{2}{0.1} \times \left[0.24 \times \left(0.06 + 0.07\right) + 0.37 \times \left(0.06 + 0.06\right)\right]$$

$$Y_p = 3.14$$

$$t_{p\,req'd} = \sqrt{\frac{1.11 \times 386.7}{1 \times 2400 \times 10^2 \times 3.14}}$$

$$t_{p\,req'd} = 0.024\ m$$

۶) انتخاب ضخامت ورق انتهایی (tp) که مقدار آن باید از tp,req'd بیشتر باشد:

$$t_p = 0.025\ m$$

۷) محاسبه نیروی ضریب‌دار بال تیر

ASD :

$$F_{fs} = \frac{M_{ES}}{d - t_{bf}}$$

$$F_{fs} = \frac{235}{0.32 - (2 \times 0.01)} = 783.3\ KN$$

LRFD :

$$F_{fu} = \frac{M_{EU}}{d - t_{bf}}$$

$$F_{fu} = \frac{386.7}{0.32 - (2 \times 0.01)} = 1289\ KN$$

(۸) و (۹): این مراحل مربوط به اتصال ۴ پیچه بدون سخت‌کننده می‌باشند لذا از این دو مرحله در این مثال صرفنظر می‌گردد.

۱۰) انتخاب ضخامت ورق سخت‌کننده

$$t_s \geq t_{bw}\left(\frac{F_{yb}}{F_{ys}}\right)$$

$$t_s \geq 0.008\times\left(\frac{2400\times10^2}{2400\times10^2}\right)$$

$$t_s \geq 0.008\ m \quad \rightarrow \quad t_s = 0.01\ m$$

کنترل کمانش موضعی

ASD :

$$\frac{h_{st}}{t_s} \leq \frac{250}{\sqrt{F_{ys}}}$$

$$h_{st} = 120\ m$$

$$\frac{120}{10} \leq \frac{250}{\sqrt{240\frac{N}{mm^2}}}$$

$$12 \leq 16.14 \Rightarrow ok$$

$LRFD$:

$$\frac{h_{st}}{t_s} \leq 0.56\sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$$

$$h_{st} = 12\ cm$$

$$\frac{12}{1} \leq 0.56\sqrt{\frac{2.1\times10^6}{2400}}$$

$$12 \leq 16.6 \Rightarrow ok$$

جوش‌های شیاری با نفوذ کامل (CJP) باید برای جوش اتصال بین ورق اتصال انتهایی و سخت‌کننده استفاده شوند. هر دو نوع جوش گوشه و جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP) برای استفاده در جوش اتصال بین ورق سخت-کننده با بال تیر مناسب هستند.

۱۱) مقاومت گسیختگی برشی پیچ اتصال بوسیله پیچ‌های موجود در بال فشاری تامین می‌گردد و بنابراین:

ASD :

$$V_{ES} \leq \phi_n R_n = \phi_n (n_b) F_{nv} A_b$$

$$\phi_n = 1$$

$$F_{nv} = 0.15F_u = 0.15\times10000\times10^2 = 15\times10^4\ \frac{KN}{m^2}$$

$$\phi_n R_n = 1\times4\times15\times10^4\times\left(\frac{\pi\times0.026^2}{4}\right) = 318.6\ KN$$

$$195.3\ KN \leq 318.6\ KN \Rightarrow ok$$

$LRFD$:

$V_u \le \phi_n R_n = \phi_n (n_b) F_{nv} A_b$

$\phi_n = 1$

$F_{nv} = 0.45 F_u = 0.45 \times 10000 \times 10^2 = 45 \times 10^4 \ KN$

$\phi_n R_n = 1 \times 4 \times 45 \times 10^4 \times \left(\frac{\pi \times 0.026^2}{4} \right) = 955.7 \ KN$

$304 \ KN \le 955.7 \ KN \Rightarrow ok$

۱۲) کنترل باربری پیچ یا گسیختگی ناشی از پارگی ورق انتهایی و بال ستون

ASD :

$V_{ES} \le \phi_n R_n = \phi_n (n_i) r_{ni} + \phi_n (n_o) r_{no}$

$\phi_n = 1$

$r_{ni} \ , r_{no} = 1.2 \ L_c t F_u \le 2.4 d_b t F_u$

$r_{ni} \ , r_{no} = 1.2 \ \times (0.05 - \frac{0.026}{2}) \times 0.025 \times 3700 \times 10^2 \le 2.4 \times 0.026 \times 0.025 \times 3700 \times 10^2$

$r_{ni} \ , r_{no} = 410.7 \ KN \le 577.2 \ KN \rightarrow r_{ni} \ , r_{no} = 410.7 \ KN$

$\phi_n R_n = 1 \times 2 \times 410.7 + 1 \times 2 \times 410.7$

$\phi_n R_n = 1642.8 \ KN$

$195.3 \ KN \le 1642.8 \ KN \Rightarrow ok$

$LRFD$:

$V_{EU} \le \phi_n R_n = \phi_n (n_i) r_{ni} + \phi_n (n_o) r_{no}$

$\phi_n = 1$

$r_{ni} \ , r_{no} = 1.2 \ L_c t F_u \le 2.4 d_b t F_u$

$r_{ni} \ , r_{no} = 1.2 \ \times (0.05 - \frac{0.026}{2}) \times 0.025 \times 3700 \times 10^2 \le 2.4 \times 0.026 \times 0.025 \times 3700 \times 10^2$

$r_{ni} \ , r_{no} = 410.7 \ KN \le 577.2 \ KN \rightarrow r_{ni} \ , r_{no} = 410.7 \ KN$

$\phi_n R_n = 1 \times 2 \times 410.7 + 1 \times 2 \times 410.7$

$\phi_n R_n = 1642.8 \ KN$

$304 \ KN \le 1642.8 \ KN \Rightarrow ok$

۱۳) طراحی جوش‌های اتصال ورق انتهایی به جان و بال باید مطابق الزامات بند «جزئیات اتصالات جوش» این بخش انجام گیرد.

ب) طراحی اجزای ستون‌ها در محل اتصال به تیر

۱) کنترل بال ستون برای تسلیم خمشی

ابتدا پارامتر مربوط به مکانیزم خط تسلیم را بدون سخت کننده در بال ستون در نظر می‌گیریم:

ASD :

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{1.11M_{ES}}{\phi_d F_{yc} Y_c}}$$

$$s = \frac{1}{2}\sqrt{b_{cf}\, g} = \frac{1}{2}\sqrt{0.3 \times 0.1} = 0.09\, m$$

$$c = (p_{fo} + p_{fi} + t_{fb}) = (0.06 + 0.06 + 0.01) = 0.13\ m$$

$$Y_c = \frac{b_{cf}}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{s}\right) + h_0\left(\frac{1}{s}\right)\right] + \frac{2}{g}\left[h_1\left(s + \frac{3c}{4}\right) + h_0\left(s + \frac{c}{4}\right) + \frac{c^2}{2}\right] + \frac{g}{2}$$

$$Y_c = \frac{0.3}{2}\left[0.24 \times \left(\frac{1}{0.09}\right) + 0.37 \times \left(\frac{1}{0.09}\right)\right]$$

$$+ \frac{2}{0.1} \times \left[0.24 \times \left(0.09 + \frac{3 \times 0.13}{4}\right) + 0.37 \times \left(0.09 + \frac{0.13}{4}\right) + \frac{0.13^2}{2}\right] + \frac{0.1}{2}$$

$$Y_c = 3.04$$

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{1.11 \times 235}{1 \times 2400 \times 10^2 \times 3.04}}$$

$$0.02\, m \geq 0.019\ cm$$

چون رابطه برقرار می‌باشد نیازی به استفاده از ورق پیوستگی نمی‌باشد.

$LRFD$:

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{1.11M_{EU}}{\phi_d F_{yc} Y_c}}$$

$$s = \frac{1}{2}\sqrt{b_{cf}\, g} = \frac{1}{2}\sqrt{0.3 \times 0.1} = 0.09\, m$$

$$c = (p_{fo} + p_{fi} + t_{fb}) = (0.06 + 0.06 + 0.01) = 0.13\ m$$

$$Y_c = \frac{b_{cf}}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{s}\right) + h_0\left(\frac{1}{s}\right)\right] + \frac{2}{g}\left[h_1\left(s + \frac{3c}{4}\right) + h_0\left(s + \frac{c}{4}\right) + \frac{c^2}{2}\right] + \frac{g}{2}$$

$$Y_c = \frac{0.3}{2}\left[0.24 \times \left(\frac{1}{0.09}\right) + 0.37 \times \left(\frac{1}{0.09}\right)\right]$$

$$+ \frac{2}{0.1} \times \left[0.24 \times \left(0.09 + \frac{3 \times 0.13}{4}\right) + 0.37 \times \left(0.09 + \frac{0.13}{4}\right) + \frac{0.13^2}{2}\right] + \frac{0.1}{2}$$

$$Y_c = 3.04$$

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{1.11 \times 386.7}{1 \times 2400 \times 10^2 \times 3.04}}$$

$$0.02\, m \geq 0.024\ m \quad \times$$

پس باید سخت کننده به بال اضافه گردد بنابراین فرض می‌شود ضخامت سخت کننده ۱ سانتیمتر است:

$LRFD$ **:**

$t_s = 0.01\ m$

$$p_{so} = p_{si} = \frac{c - t_s}{2} = \frac{0.13 - 0.01}{2} = 0.06\ m$$

برای بال ستون با سخت کننده داریم:

$LRFD$:

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{1.11 M_{EU}}{\phi_d F_{yc} Y_c}}$$

$$s = \frac{1}{2}\sqrt{b_{cf}\, g} = \frac{1}{2}\sqrt{0.3 \times 0.1} = 0.09\, m$$

$$Y_p = \frac{b_{cf}}{2}\left[h_1\left(\frac{1}{p_{si}} + \frac{1}{s}\right) + h_0\left(\frac{1}{p_{so}} + \frac{1}{s}\right)\right] + \frac{2}{g}\left[h_1\left(p_{si} + s\right) + h_0\left(s + p_{so}\right)\right]$$

$$Y_p = \frac{0.3}{2}\left[0.24 \times \left(\frac{1}{0.06} + \frac{1}{0.09}\right) + 0.37 \times \left(\frac{1}{0.06} + \frac{1}{0.09}\right)\right]$$

$$+ \frac{2}{0.1} \times \left[0.24 \times \left(0.06 + 0.09\right) + 0.37 \times \left(0.06 + 0.09\right)\right]$$

$$Y_p = 4.37$$

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{1.11 \times 386.7}{1 \times 2400 \times 10^2 \times 4.37}}$$

$0.02\ m \geq 0.02\ m \Rightarrow ok$

۲) در صورت نیاز به استفاده از سخت‌کننده برای تسلیم خمشی ستون باید نیروی مورد نیاز سخت‌کننده مشخص شود:

$LRFD$:

$$\phi_d M_{cf} = \phi_d F_{yc} Y_c t_{cf}^2$$

$$M_{cf} = 2400 \times 10^2 \times 3.04 \times 0.02^2 = 291.8\ KN.m$$

بنابراین، نیروی طراحی بال ستون معادل از رابطه ذیل بدست می‌آید:

$LRFD$:

$$\phi_d R_n = \frac{\phi_d M_{cf}}{\left(d - t_{bf}\right)}$$

$$R_n = \frac{291.8}{\left(0.32 - (2 \times 0.01)\right)} = 972.7\ KN$$

این نیرو جهت طراحی ورق پیوستگی کاربرد دارد.

۳) برای کنترل مقاومت تسلیم موضعی جان ستون در حالتی که جان ستون بدون سخت‌کننده است:

ASD :

$F_{fu} \le \phi_d R_n$

$783.3\ KN \le \phi_d R_n$

$R_n = C_t \left(6k_c + t_{bf} + 2t_p\right) F_{yc} t_{cw}$

$k_c = t_{cf} + 0.707 t_w = 0.02 + (0.707 \times 0.01) = 0.027\ m$

$R_n = 1 \times \left(6 \times 0.027 + 0.01 + 2 \times 0.025\right) \times 2400 \times 10^2 \times 0.01$

$R_n = 532.8\ KN$

$783.3\ KN \le 532.8\ KN \quad \times$

$LRFD$:

$F_{fu} \le \phi_d R_n$

$1289\ KN \le \phi_d R_n$

$R_n = C_t \left(6k_c + t_{bf} + 2t_p\right) F_{yc} t_{cw}$

$k_c = t_{cf} + 0.707 t_w = 0.02 + (0.707 \times 0.01) = 0.027\ m$

$R_n = 1 \times \left(6 \times 0.027 + 0.01 + 2 \times 0.025\right) \times 2400 \times 10^2 \times 0.01$

$R_n = 532.8\ KN$

$1289\ KN \le 532.8\ KN \quad \times$

که در آن tw بعد ساق جوش گوشه است.

بنابراین نیاز به استفاده از ورق‌های مضاعف در جان ستون است.

کنترل مقاومت کمانش جان ستون بدون سخت‌کننده تحت اثر فشار ناشی از بال تیر. مقاومت مورد نیاز برای این منظور طبق رابطه ذیل کنترل می‌شود:

ASD :

$F_{fs} \le R_n / \Omega$

$783.3\ KN \le R_n / 1.67$

$LRFD$:

$F_{fu} \le \phi R_n$

$1289\ KN \le 0.9 \times R_n$

الف) در صورتیکه نیروی F_{fu} در فاصله‌ای برابر یا بیشتر از $d_c/2$ از انتهای ستون اعمال شود، آنگاه R_n طبق رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$R_n = \frac{24 t_{cw}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h}$$

$$R_n = \frac{24 \times 0.01^3 \times \sqrt{2.1 \times 10^6 \times 10^2 \times 2400 \times 10^2}}{\left(0.34 - (2 \times 0.02)\right)}$$

$$R_n = 568 \ KN$$

ASD :

$$F_{fs} \le R_n / \Omega$$

$$783.3 \ KN \le \left(568 \, KN / 1.67\right)$$

$$783.3 \ KN \le 340.1 KN \quad \times$$

$LRFD$:

$$F_{fu} \le \phi R_n$$

$$1289 \ KN \le 0.9 \times 568 \, KN$$

$$1289 \ KN \le 511.2 \ KN \quad \times$$

بنابراین نیاز به استفاده از ورق‌های مضاعف در جان ستون وجود دارد.

۵) کنترل مقاومت لهیدگی جان ستون بدون سخت‌کننده در بال فشاری تیر طبق رابطه ذیل کنترل می‌گردد:

ASD :

$$F_{fs} \le R_n / \Omega$$

$$783.3 \ KN \le \left(R_n / 2\right)$$

$LRFD$:

$$F_{fu} \le \phi R_n$$

$$1289 \ KN \le 0.75 \times R_n$$

الف) در صورتیکه نیروی F_{fu} در فاصله‌ای بیشتر یا مساوی dc/2 از انتهای ستون وارد شود، آنگاه R_n طبق رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$R_n = 0.80 t_{cw}^2 \left[1 + 3\left(\frac{N}{d_c}\right)\left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{E F_{yc} t_{cf}}{t_{cw}}}$$

$$N = t_{fb} + 2D_w = 0.01 + (2 \times 0.01) = 0.03 \ m$$

$$R_n = 0.80 \times 0.01^2 \times \left[1 + 3\left(\frac{0.03}{0.34}\right)\left(\frac{0.01}{0.02}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 \times 10^2 \times 2400 \times 10^2 \times 0.02}{0.01}}$$

$$R_n = 878.4 \ KN$$

ASD :

$F_{fs} \le R_n/\Omega$

$783.3\ KN \le (878.4\,KN/2)$

$783.3\ KN \le 439.2\ KN \quad \times$

$LRFD$:

$F_{fu} \le \phi R_n$

$1289\ KN \le 0.75 \times 878.4\ KN$

$1289\ KN \le 658.8\ KN \quad \times$

به سخت‌کننده نیازی است.

۶) در صورت نیاز به استفاده از ورق‌های سخت‌کننده برای هر طرف ستون در حالت‌های حدی، آنگاه مقاومت مورد نیاز طبق رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$F_{su} = F_{fu} - Min(\phi R_n)$$

$$F_{su} = 1289\,KN - Min\begin{cases} 972.7\,KN \\ 532.8\,KN \\ 511.2\,KN \\ \hline 658.8\,KN \end{cases}$$

$$F_{su} = 777.8\ KN$$

بر اساس این نیروی بدست آمده، سخت‌کننده‌ها طراحی می‌شوند که در مثال‌های ارائه شده قبلی مراحل طراحی آنها به طور کامل ارائه شده است. همچنین به منظور طراحی و کنترل چشمه اتصال مراحل طراحی و جزئیات کنترل آن در مثال‌های قبلی بیان شده است.

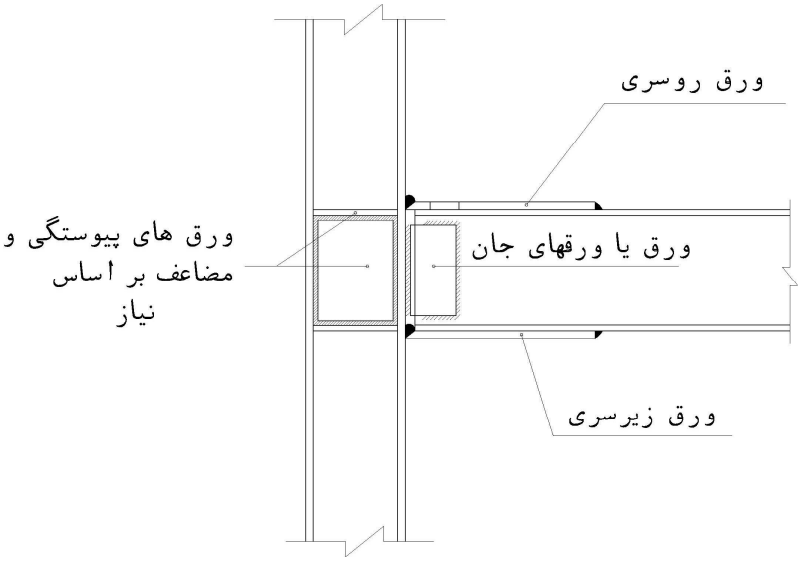
مثال ۳– ۴) اتصال گیردار جوشی از طریق ورق های روسری و زیرسری (WFP) را با مشخصات ذیل طراحی نمایید.

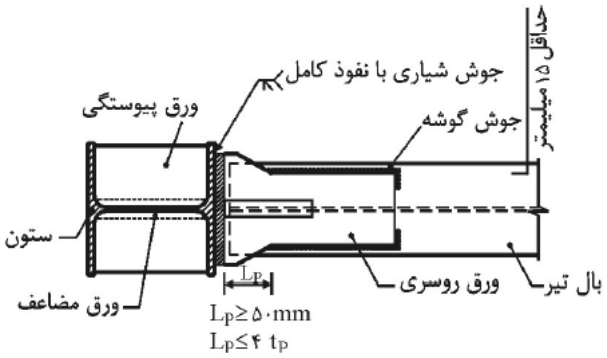
Beam :

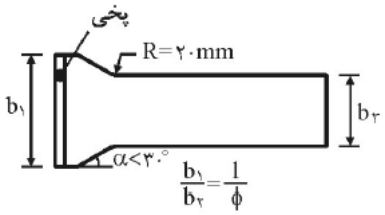
$d = 0.32m \quad b_f = 0.2m \quad t_f = 0.01m \quad t_w = 0.008m \quad Z = 8\times10^{-4}\,m^3$

Column :

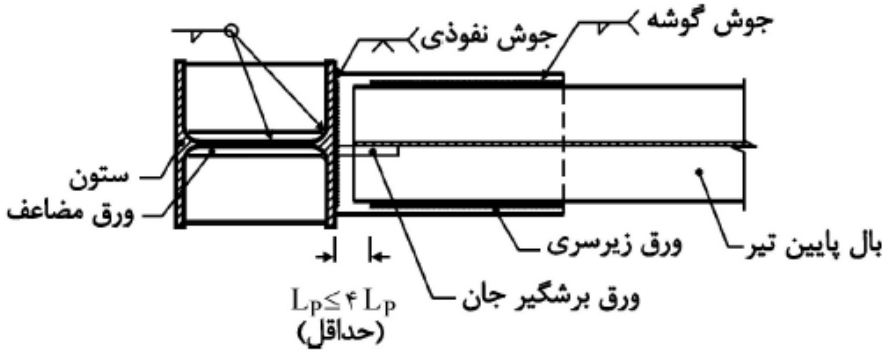
$d = 0.34m \quad b_f = 0.3m \quad t_f = 0.02m \quad t_w = 0.01m$







ϕ = ضریب بازرسی جوش



مراحل طراحی :

۱) محاسبه لنگر خمشی بیشینه در محل مفصل پلاستیک تیرو محاسبه نیـروی برشـی در موقعیـت محـل مفصـل پلاستیک در هر انتهای تیرو محاسبه لنگر مورد انتظار در بر بال ستون:
روش تنش مجاز: با فرض وقوع مفصل پلاستیک در فاصله db از بر ستون باشد.
روش حالات حدی: با فرض اینکه بزرگترین طول ورق‌های روسری و زیرسری برابر ۴۰ سانتیمتر باشد.

$$M_{pr} = C_{pr} Z_b R_y F_y = 1.1 \times 8 \times 10^{-4} \times 1.5 \times 2400 \times 10^2 = 316.8\, KN.m$$

$$D = 19\ KN/m \qquad L = 19\ KN/m$$

$$D + L$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$= 19 + 19 = 38\ KN/m$$

$$V = \frac{38 \times 3.8}{2} = 72.2\ KN$$

$$1.2D + 1.6L$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$= 1.2 \times 19 + 1.6 \times 19 = 53.2\, KN/m$$

$$V_u = \frac{53.2 \times 3.8}{2} = 101.1\, KN$$

$$V_h = \frac{2 \times 0.6 M_{pr}}{L_h} + V$$

$$V_h = V_{pr} + V$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$= \frac{2 \times 0.6 \times 316.8}{3.8 - (2 \times 0.32)} + 72.2 = 192.5\, KN$$

$$V_h = \frac{2 M_{pr}}{L_h} + V_u$$

$$V_h = V_{pr} + V_u$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$= \frac{2 \times 316.8}{3.8 - (2 \times 0.4)} + 101.1 = 312.3\, KN$$

ASD :

$$M_{ES} = 0.6M_{pr} + V_h S_h + W\frac{S_h^2}{2}$$

$$W = D + L = 19 + 19 = 38\ KN/m$$

$$M_{ES} = 0.6\times 316.8 + 192.5\times 0.32 + 38\times\frac{0.32^2}{2}$$

$$= 254\,KN.m$$

$LRFD$:

$$M_{EU} = M_{pr} + V_h S_h + W_u\frac{S_h^{\ 2}}{2}$$

$$W = 1.2D + 1.6L = 1.2\times 19 + 1.6\times 19 = 53.2\ KN/m$$

$$M_{EU} = 316.8 + 312.3\times 0.4 + 53.2\times\frac{0.4^2}{2}$$

$$= 446\,KN.m$$

۲) محاسبه نیروی ایجاد شده در ورق بال تحت اثر لنگر مورد انتظار در بر بال ستون:

ASD :

$$F_{pr_s} = \frac{M_{ES}}{d_b}$$

روش تنش مجاز (ASD)

$$F_{pr_s} = \frac{254}{0.32}$$

$$F_{pr_s} = 794\ KN$$

$LRFD$:

$$F_{pr_u} = \frac{M_{Eu}}{d_b}$$

روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

$$F_{pr_u} = \frac{446}{0.32}$$

$$F_{pr_u} = 1393.7\ KN$$

۳) تعیین ابعاد ورق‌های روسری وزیرسری:

برای ورق روسری:

ASD :

$$A_{PL} \geq \frac{F_{prs}}{0.6F_y}$$

$$A_{PL} \geq \frac{794}{0.6\times 2400\times 10^2}$$

$$A_{PL} \geq 5.51\times 10^{-3}\ m^2$$

$$b_2 = 0.2 - 0.03 = 0.17\,m$$
$$b_1 = \frac{0.17}{0.75} = 0.23\,m \Rightarrow b_1 = 0.25\,m$$
$$b_1 \times t = 5.51 \times 10^{-3}\ m^2$$
$$t = \frac{5.51 \times 10^{-3}}{0.25} = 0.02\,m$$

برای ورق زیرسری:

$$b = 0.2 + 0.03 = 0.23\ m$$
$$b \times t = 5.51 \times 10^{-3}\ m^2$$
$$t = \frac{5.51 \times 10^{-3}}{0.23} = 0.023\,m$$

برای ورق روسری:

$$LRFD:$$
$$b_2 = 0.2 - 0.03 = 0.17\,m$$
$$b_1 = \frac{0.17}{0.75} = 0.23\,m \Rightarrow b_1 = 0.25\,m$$
$$F_{pru} \le \varphi F_{pr}$$
$$1393.7 \le 1 \times 0.25t \times 3600 \times 10^2$$
$$t \ge 0.015\ m$$

برای ورق زیرسری:

$$b = 0.2 + 0.03 = 0.23\ m$$
$$F_{pru} \le \varphi F_{pr}$$
$$1393.7 \le 1 \times 0.23t \times 3600 \times 10^2$$
$$t \ge 0.017\ m$$

۴) محاسبه جوش موردنیاز جهت اتصال ورق روسری و زیرسری به ستون

ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ کامل، برابر با ضخامت قطعه نازکتر در اتصال لب به لب و ضخامت قطعه جوش شده در اتصال کنج و سپری در نظر گرفته می‌شود. پس در اینجا براساس ضخامت بال ستون که قطعه نازکتر است جوش شیاری انجام می‌شود.

۵) طراحی بعد جوش گوشه برای اتصال ورق روسری و زیرسری با بال تیر و طول کلی ورق روسری و زیرسری با استفاده از الکترود E70

$$ASD:$$
$$(2 \times L_w) \times (0.3 \times F_u \times \phi) \times (\cos 45 \times D) \ge 794\,KN$$
$$(2 \times L_w) \times (0.3 \times 4900 \times 10^2 \times 0.85) \times (\cos 45 \times 0.02) \ge 794\,KN$$
$$L_w \ge 0.22\,m$$

از طرفی همانطور که در شکل نشان داده شده است به میزان L_P جوش نمی‌کنیم، پس این مقدار به طول صـفحه موردنظر اضافه می‌شود.

$$50\,mm \le L_P \le 4\times t_P$$

$$4\times t_P = 4\times 0.02 = 0.08\,m$$

به این ترتیب با فرض $L_P = 0.08\,m$ طول صفحه کششی برابر است با:

$$L = 0.22 + 0.08 = 0.3m$$

طول جوش ورق زیرسری برابر است با:

$$(2\times L_w)\times(0.3\times 4900\times 10^2\times 0.85)\times(\cos 45\times 0.02) \ge 794\,KN$$

$$L_w \ge 0.22m$$

از طرفی همانطور که در شکل نشان داده شده است به میزان L_P جوش نمی‌کنیم، پس این مقدار به طول صـفحه موردنظر اضافه می‌شود.

$$L_P \le 4\times t_P$$

$$4\times t_P = 4\times 0.023 = 0.092m$$

به این ترتیب با فرض $L_P = 0.08\,m$ طول ورق زیرسری برابر است با:

$$L = 0.22 + 0.08 = 0.3m$$

$LRFD$:

$$F_{pr_u} \le \varphi R_n$$

$$F_{pr_u} \le 0.9\times(2\times L_w)\times(0.6\times F_u\times\phi)\times(\cos 45\times D)$$

$$1393.7\ KN \le 0.9\times(2\times L_w)\times(0.6\times 4900\times 10^2\times 0.85)\times(\cos 45\times D)$$

$$L_w D \ge 4.4\times 10^{-3}\ m$$

$$L_w = 0.4\,m \ \rightarrow\ D = 0.01\ m$$

۶و۷) طراحی ورق برشگیر جان و طراحی جوش گوشه ورق جان به تیر و ستون

از جفت ورق برای اتصال جان تیر به بال ستون استفاده می‌کنیم.

ارتفاع ورق جان را برابر ۲۰ سانتی‌متر و عرض آن را ۱۰ سانتی‌متر در نظر می‌گیریم و فاصله ۱/۵ سانتی-متری تیر از بر ستون را رعایت می‌کنیم.

$$f_v = \frac{3}{2}\times\frac{V_{ES}}{2\times L\times t} \le 0.4F_y$$

$$V_{ES} = 192.5 + (38\times 0.32) = 204.7\,KN$$

$$\frac{3}{2}\times\frac{204.7}{2\times 0.2\times t}\le 0.4\times 2400\times 10^{2}$$
$$t\ge 0.008\ m$$

در صورت استفاده از الکترود E70 و بازرسی چشمی آن‌گاه خواهیم داشت، بعد جوش گوشه ورق جان به بال ستون:

$$ASD:$$
$$(2\times L_w)\times(0.3\times F_u\times\phi)\times(\cos 45\times D)\ge V_{ES}$$
$$(2\times 0.2)\times(0.3\times 4900\times 10^{2}\times 0.75)\times(\cos 45\times D)\ge 204.7\ KN$$
$$D\ge 0.007 m$$

بعد جوش ورق جان به تیر:

$$A_w=2\times 0.085+0.2=0.37\ m^2$$
$$\bar{x}=\frac{2\times 0.085\times 0.0425}{0.37}=0.0195 m$$
$$I_x=\frac{0.2^3}{12}+2\times 0.085\times 0.1^2=2.37\times 10^{-3}\ m^4$$
$$I_y=\left(0.2\times 0.0195^2\right)+\frac{2}{3}\left(0.0195^3+0.0655^3\right)=2.68\times 10^{-4}\ m^4$$
$$J=I_x+I_y=2.37\times 10^{-3}+2.68\times 10^{-4}=2.64\times 10^{-3}\ m^4$$

برای تعیین لنگر پیچشی می‌توان نوشت:

$$e=0.1-0.0195=0.0805\ m$$
$$T=\frac{V_{ES}}{2}e=\frac{204.7}{2}\times 0.0805=8.24\ KN.m$$

تنش‌های برشی ناشی از نیروی برشی V_{ES} و لنگر پیچشی T در نقطه بحرانی جوش به قرار زیر است:

$$f_{vs}=\frac{V_{ES}}{2A_w}=\frac{204.7}{2\times 0.37}=277\ \frac{KN}{m^2}$$
$$f_{vx}=\frac{Ty}{J}=\frac{8.24\times\frac{0.2}{2}}{2.64\times 10^{-3}}=312\ \frac{KN}{m^2}$$
$$f_{vy}=\frac{Tx}{J}=\frac{8.24\times\left(0.085-0.0195\right)}{2.64\times 10^{-3}}=204.4\ \frac{KN}{m^2}$$

f_r تنش برشی برایند جوش گوشه برابر است با:

$$f_r=\sqrt{\left(f_{vs}+f_{vy}\right)^2+f_{vx}{}^2}=\sqrt{\left(277+204.4\right)^2+312^2}=574\ \frac{KN}{m^2}$$

برای تعیین بعد جوش گوشه به جان تیر می‌توان نوشت:

$$(0.3\times F_u\times\phi)\times(\cos 45\times D)\geq 574$$
$$0.3\times 4900\times 10^2\times 0.75\times\cos 45\times D\geq 574$$
$$D\geq 0.007\,m$$

روش حالات حدی:

از جفت ورق برای اتصال جان تیر به بال ستون استفاده می‌کنیم.

ارتفاع ورق جان را برابر ۲۰ سانتی‌متر و عرض آن را ۱۰ سانتی‌متر در نظر می‌گیریم و فاصله ۱/۵ سانتی-متری تیر از بر ستون را رعایت می‌کنیم.

$$V_{EU}\leq\varphi V_n$$
$$V_{Eu}=312.3+(53.2\times 0.4)=333.6\,KN$$
$$333.6<1\times 0.6\times 3600\times 10^2\times 0.2\times t$$
$$t>0.008\ m$$

بعد جوش ورق جان به تیر:

$$A_w=2\times 0.085+0.2=0.37\,m^2$$
$$\overline{x}=\frac{2\times 0.085\times 0.0425}{0.37}=0.0195m$$
$$I_x=\frac{0.2^3}{12}+2\times 0.085\times 0.1^2=2.37\times 10^{-3}\,m^4$$
$$I_y=\left(0.2\times 0.0195^2\right)+\frac{2}{3}\left(0.0195^3+0.0655^3\right)=2.68\times 10^{-4}\,m^4$$
$$J=I_x+I_y=2.37\times 10^{-3}+2.68\times 10^{-4}=2.64\times 10^{-3}\,m^4$$

برای تعیین لنگر پیچشی می‌توان نوشت:

$$e=0.1-0.0195=0.0805\,m$$
$$T_u=\frac{V_{EU}}{2}e=\frac{333.6}{2}\times 0.0805=13.43\ KN.m$$

تنش‌های برشی ناشی از نیروی برشی V_{ES} و لنگر پیچشی T در نقطه بحرانی جوش به قرار زیر است:

$$f_{uvs}=\frac{V_{EU}}{2A_w}=\frac{333.6}{2\times 0.37}=451\ \frac{KN}{m^2}$$
$$f_{uvx}=\frac{Ty}{J}=\frac{13.43\times\frac{0.2}{2}}{2.64\times 10^{-3}}=508\ \frac{KN}{m^2}$$
$$f_{uvy}=\frac{Tx}{J}=\frac{13.43\times(0.085-0.0195)}{2.64\times 10^{-3}}=333.2\ \frac{KN}{m^2}$$

f_{ur} تنش برشی برایند در جوش گوشه برابر است با:

$$f_{ur} = \sqrt{\left(f_{vs} + f_{vy}\right)^2 + f_{vx}{}^2} = \sqrt{\left(451 + 333.2\right)^2 + 508^2} = 934.4\ \frac{KN}{m^2}$$

برای تعیین بعد جوش گوشه به جان تیر می‌توان نوشت:

$$D = \frac{f_{ur}}{\varphi F_w}$$

$$= \frac{934.4}{0.9 \times 0.85 \times 0.6 \times 4900 \times 10^2}$$

$$D = 0.004\, m$$

جوش گوشه اتصال جان به بال ستون :

$$(2 \times L_w) \times (0.6 \times F_u \times 0.75 \times \phi) \times (\cos 45 \times D) \geq 333.6\ KN$$

$$(2 \times 0.2) \times (0.6 \times 4900 \times 10^2 \times 0.75 \times 0.75) \times (\cos 45 \times D) \geq 404\ KN$$

$$D \geq 0.007\ m$$

۸ و ۹) کنترل ضوابط مربوط به ورق پیوستگی و کنترل ضوابط مربوط به چشمه اتصال ستون مانند مثال روش BFP انجام می‌شود و از تکرار آن برای اتصال WFP اجتناب شده است.

مراجع

« مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم: طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی»، وزارت مسکن و شهرسازی دفتر امور مقررات ملی ساختمان، ویرایش سوم ۱۳۸۷، ویرایش چهارم ۱۳۹۲.

« مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم: بارهای وارد بر ساختمان »، وزارت مسکن و شهرسازی دفتر امرو مقررات ملی ساختمان، ویرایش دوم ۱۳۸۸، ویرایش سوم ۱۳۹۲.

آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰–ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.

م. ازهری، س. میرقادری، «طراحی سازه های فولادی(جلد سوم) – اتصالات»، انتشارات ارکان دانش، پاییز ۱۳۹۰.

م. ازهری، س. میرقادری، «طراحی سازه های فولادی(جلد چهارم) – مباحث طراحی لرزه ای»، انتشارات ارکان دانش، زمستان ۱۳۹۰.

م. ازهری، س. میرقادری، «طراحی سازه های فولادی(جلد ششم) – طراحی اتصالات (LRFD , ASD) »، انتشارات ارکان دانش، تابستان ۱۳۹۳.

American Institute of Steel Construction, (2010). *Specification for structural steel buildings*, *American Institute of Steel Constructions -ANSI/AISC 360-10*, Chicago, Illinois.

American Institute of Steel Construction, (2010a). *Seismic provisions for structural steel buildings- ANSI/AISC 341-10*, Chicago, Illinois.

American Institute of Steel Construction, (2010b). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications-ANSI/AISC 358-10*, Chicago, Illinois.

American Institute of Steel Construction, (2009). *Supplement No. 1 to ANSI/AISC 358-05 Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications- ANSI/AISC 358-05s1-09*, Chicago, Illinois.

Murray, T.M. and Sumner, E.A., (1990). *Extended end-plate moment connections: sesimic and wind application, 2nd Edition, (Steel Design Guide, Vol. 4)*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.

Carter, C.J., (2003). *Stiffening of Wide-Flange Columns at Moment Connections: Wind and Seismic Applications, 2nd Edition, (Steel Design Guide, Vol. 13)*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.

تهران- خیابان شریعتی- بالاتر از پل رومی- خیابان شهید موسیوند- کوچه شهید لطیفی- پلاک ۶- سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور

صندوق پستی: ۱۹۳۹۵/۳۶۴۱ کد پستی: ۱۹۳۳۸۸۴۸۸۳ تلفن: ۲۲۲۴۷۹۷۹ نمابر: ۲۲۲۱۱۸۳۵

وب سایت: www.nosazimadares.ir پست الکترونیکی: info@nosazimadares.ir