





دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده: فنی و مهندسی، گروه: عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش: سازه

عنوان:

تاثیر نوع جوش و جنس مصالح بر رفتار لرزه‌ای اتصالات گیردار تقویت شده با ورق
در سازه‌های فولادی

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر جعفر عسگری مارنانی

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر امین غفوری پور

پژوهشگر:

نگار قره شیر

زمستان ۱۳۹۰

تقدیم بہ:

مادر و پدر بزرگوار و همسر عزیزہ

تشکر و قدردانی

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر عسگری که با راهنمایی های ارزنده شان امکان تمقیق در این زمینه را فراهم نمودند و در تمام مراحل تهیه و تدوین این پایان نامه من را از راهنمایی های کریمانه و دلسوزانه خود بهره مند ساختند، سپاسگزارم.

همچنین از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر غفوری پور که راهنمایی ها و کمک ایشان، همواره یاری بخش من در انجام این پایان نامه بوده است تشکر و قدردانی می کنم.

و با سپاس فراوان از خواهر و برادر عزیزه که یاوران من در تمام مراحل زندگی می باشند و با همفکری و دلگرمیشان موجب پیشرفت این پایان نامه شده اند.

بسمه تعالی

در تاریخ: ۹۰/۱۱/۱۳

دانشجو کارشناسی ارشد آقای / خانم نگار قره شیر از پایان نامه خود دفاع نموده و با

نمره بحروف و با درجه مورد تصویب قرار گرفت.

امضا استاد راهنما

چکیده

گسترده‌گی آسیب‌های وارده به اتصالات فولادی جوشی پس از زلزله نورث‌ریج، به وضوح وجود کاستی‌های اساسی را در طراحی و شیوه‌های ساخت قاب‌های خمشی فولادی به اثبات رساند. وقوع شکست‌های ترد در اتصالات سازه‌های فولادی جوشی در زلزله‌های گذشته نشان داده است که خسارت‌های ایجاد شده در قاب‌های فولادی با عملکرد اتصال رابطه مستقیم دارد. بنابراین به منظور کاهش خسارت‌های وارده بر اتصالات خمشی فولادی و بهبود عملکرد لرزه‌ای آنها، استراتژی‌های متفاوتی توسط آیین‌نامه‌های لرزه‌ای مطرح گردید. اتصال با ورق‌های پوششی یکی از رایج‌ترین اتصالات پس از زلزله نورث‌ریج می‌باشد که در آن استراتژی تقویت موضعی اتصال اتخاذ گردیده است. تحقیق ارائه شده جهت بررسی رفتار چرخه‌ای اتصالات خمشی متداول و ارائه طرح تقویت این اتصالات جهت مقاوم سازی قاب‌های خمشی فولادی صورت گرفته است.

از عوامل مهم در رفتار اتصالات صلب جوشی با ورق‌های تقویتی روی بال‌ها، می‌توان به جزییات انواع اتصال دهنده‌های جوشی، نوع الکتروود و خصوصیات مصالح کاربردی اشاره کرد. به منظور مطالعه پارامترهای فوق، نمونه‌هایی از اتصالات صلب تیر به ستون جعبه‌ای با در نظر گرفتن پارامترهای ذکر شده به روش اجزای محدود مدل شده و تحت تغییر مکان چرخه‌ای ناشی از بارگذاری بر روی تیر تحلیل گردیده است. سپس منحنی لنگر-دوران اتصالات استخراج شده و در تحلیل قاب‌های خمشی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به اینکه بررسی رفتار لرزه‌ای اتصالات عموماً تنها از طریق بررسی منحنی هیستریزیس، مقاومت و شکل پذیری اتصالات انجام گرفته است، در این تحقیق علاوه بر پارامترهای ذکر شده به بررسی نحوه توزیع تنش و کرنش در نقاط مختلف اتصال با بکارگیری دو نوع الکتروود E6013 و E7018 پرداخته شده است تا از این طریق برآورد دقیق‌تری از رفتار اتصالات صلب جوشی صورت پذیرد.

نتایج بدست آمده از آنالیز اجزای محدود غیرخطی حاکی از آن است که استفاده از ورق پشتبند و الکتروود با چقرمگی بالا، شکل پذیری اتصال را افزایش داده و باعث کاهش قابل توجه تمرکز تنش به دور از ناحیه اتصال تیر به ستون می‌گردد. نتایج حاصل از بررسی تاثیر جنس مصالح اتصال بر رفتار اتصالات فولادی جوشی نشان داده است که استفاده از فولاد پر مقاومت، باعث افزایش مقاومت اتصال حداکثر تا ۰/۸٪ می‌-

گردد، به نحویکه با توجه به ملاحظات اقتصادی و نتایج حاصله، استفاده از فولادهای پر مقاومت تاثیر قابل توجهی بر عملکرد لرزه‌ای اتصالات نخواهد داشت.

فهرست مطالب

| | |
|----------|--|
| ۶..... | چکیده |
| ۱..... | فصل ۱: سیستم قاب خمشی فولادی |
| ۱-۱..... | ۱-۱- مقدمه |
| ۳..... | ۱-۲- اصلاح رفتار اتصالات صلب خمشی |
| ۵..... | ۱-۳- اتصالات تایید شده |
| ۶..... | ۱-۳-۱- اتصال صلب مستقیم اصلاح شده به همراه جان پیچ شده (WUF-B) |
| ۷..... | ۱-۳-۲- اتصال صلب مستقیم اصلاح شده به همراه جان جوش شده (WUF-W) |
| ۹..... | ۱-۳-۳- اتصال صلب بال جداشده (FF) |
| ۱۱..... | ۱-۳-۴- اتصال تیر با مقطع کاهش یافته (RBS) |
| ۱۲..... | ۱-۳-۵- اتصال با ورقهای تقویتی روی بال (WFP) |
| ۱۴..... | ۱-۴- اصول اولیه طراحی اتصالات |
| ۱۶..... | ۱-۴-۱- تعیین محل تشکیل مفصل پلاستیک |
| ۱۷..... | ۱-۴-۲- تعیین لنگر پلاستیک در محل مفاصل |
| ۱۸..... | ۱-۴-۳- تعیین برش در محل مفاصل پلاستیک |
| ۱۹..... | ۱-۴-۵- محاسبه لنگر تسلیم |
| ۲۰..... | ۱-۴-۶- تیر ضعیف-ستون قوی |
| ۲۱..... | ۱-۴-۷- مهاربندی جانبی و کمانش موضعی |
| ۲۲..... | ۱-۴-۸- طراحی ستونها |
| ۲۳..... | ۱-۴-۹- ورقهای پیوستگی |
| ۲۳..... | ۱-۴-۱۰- چشمه اتصال |
| ۲۴..... | ۱-۵- صلبیت اتصال |

| | |
|---------|--|
| ۲۵..... | ۶-۱- مقاومت اتصال |
| ۲۵..... | ۷-۱- شکل پذیری |
| ۲۷..... | ۸-۱- اهداف و ساختار تحقیق |
| ۲۹..... | فصل ۲: مروری بر تحقیقات انجام شده |
| ۲۹..... | ۱-۲- مقدمه |
| ۲۹..... | ۲-۲- تحقیقات مطالعاتی و آزمایشات انجام شده |
| ۴۷..... | فصل ۳: طراحی، نحوه مدلسازی و اعتبار سنجی اتصالات |
| ۴۷..... | ۱-۳- مقدمه |
| ۴۸..... | ۲-۳- طرح اتصالات مورد مطالعه |
| ۵۰..... | ۳-۳- مدلسازی اتصالات مورد مطالعه |
| ۵۰..... | ۱-۳-۳- معرفی روش اجزای محدود |
| ۵۱..... | ۲-۳-۳- نحوه مدلسازی اجزای محدود اتصال |
| ۵۳..... | ۳-۳-۳- شرایط مرزی |
| ۵۳..... | ۴-۳-۳- بارگذاری |
| ۵۵..... | ۴-۳- اعتبارسنجی مدل اجزاء محدود |
| ۵۹..... | فصل ۴: تحلیل و بررسی نمونه‌ها |
| ۵۹..... | ۱-۴- مقدمه |
| ۵۹..... | ۲-۴- معرفی نمونه‌های مورد بررسی |
| ۶۱..... | ۳-۴- تغییر در نوع اتصال دهنده و نوع الکتروود |
| ۶۲..... | ۱-۳-۴- نمونه RC1 |
| ۶۴..... | ۲-۳-۴- نمونه RC2 |
| ۶۷..... | ۳-۳-۴- نمونه RC3 |
| ۶۹..... | ۴-۳-۴- نمونه RC4 |
| ۷۱..... | ۵-۳-۴- نمونه RC5 |

| | |
|---------|---------------------------------------|
| ۷۲..... | RC6 نمونه ۶-۳-۴ |
| ۷۷..... | ۴-۴- تغییر در پارامترهای فیزیکی اتصال |
| ۷۷..... | RC2-1 نمونه ۱-۴-۴ |
| ۸۰..... | RC2-2 نمونه ۲-۴-۴ |
| ۸۲..... | RC2-3 نمونه ۳-۴-۴ |
| ۸۳..... | ۵-۴- تغییر در خواص مصالح اتصال |
| ۸۴..... | RC2-4 نمونه ۱-۵-۴ |
| ۸۴..... | RC2-5 نمونه ۲-۵-۴ |
| ۸۴..... | RC2-6 نمونه ۳-۵-۴ |
| ۸۸..... | فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات |
| ۸۸..... | ۱-۵- مقدمه |
| ۸۹..... | ۲-۵- نتایج |
| ۹۱..... | ۳-۵- پیشنهادات |
| ۹۲..... | فهرست مراجع |

فهرست جداول

| | |
|-----------------------------------|---|
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۱-۱- اتصالات کاملاً صلب جوشی آیین نامه FEMA350 |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۱-۲- جزییات نمونه‌های اتصالات مورد بررسی |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۲-۲- مشخصات مصالح اتصالات مورد بررسی |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۲-۳- نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های مورد بررسی |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۲-۴- نمونه‌ها و هدف از ساخته شدن آنها |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۲-۵- مشخصات نمونه‌های مورد بررسی |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۳-۱- مشخصات مصالح بر اساس نتایج تست کوپن |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۳-۲- پارامترهای ارزیابی حاصل از نتایج آزمایشگاهی |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۳-۳- پارامترهای ارزیابی حاصل از مطالعه عددی |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۳-۴- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۴-۱- مشخصات نمونه‌ها با تغییر در نوع اتصال دهنده‌ها و نوع الکتروود |
| Error! Bookmark not defined. | شکل ۴-۱۰- توزیع کرنش در نمونه RC6 |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۴-۲- نتایج تحلیل نمونه‌های مرحله ۱ با استفاده از الکتروود E6013 |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۴-۳- نتایج تحلیل نمونه‌های مرحله ۱ با استفاده از الکتروود E7018 |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۴-۴- نتایج تحلیل نمونه با تغییر در جزییات اتصال دهنده‌های جوشی |
| Error! Bookmark not defined. | جدول ۴-۵- نتایج تحلیل نمونه‌ها با تغییر در خواص مصالح اتصال |

فهرست نمودارها

- نمودار ۱-۱- منحنی $M-\theta$ برای یک اتصال و طبقه‌بندی میزان صلبیت آن Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۲-۱- منحنی $M-\theta$ برای طبقه‌بندی اتصالات از لحاظ شکل‌پذیری Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۱-۲- توزیع کرنش در نمونه RC01 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۲-۲- منحنی نیرو تغییر مکان نمونه های S1A, S1B, S1C و S1D Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۳-۲- منحنی نیرو تغییر مکان نمونه های سری ۳ Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۴-۲- منحنی نیرو تغییر مکان نمونه S5D Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۵-۲- منحنی هیستریزس نمونه ی RC1 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۱-۳- تاریخچه بارگذاری چرخه‌های Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۲-۳- مقایسه پاسخ منحنی هیستریزس نمونه عددی و نمونه آزمایشگاهی RC1 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۳-۳- مقایسه پاسخ منحنی هیستریزس نمونه عددی و نمونه آزمایشگاهی RC2 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۴-۳- مقایسه پاسخ منحنی هیستریزس نمونه عددی و نمونه آزمایشگاهی RC4 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۱-۴- توزیع کرنش در نقاط مختلف نمونه RC1 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۲-۴- پاسخهای هیستریزس نمونه RC1 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۳-۴- توزیع کرنش در نمونه RC2 با الکتروود E7018 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۴-۴- پاسخ های هیستریزس نمونه RC2 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۵-۴- حداکثر کرنش پلاستیک ایجاد شده در بال تیر نمونه RC2 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۶-۴- حداکثر کرنش پلاستیک ایجاد شده در جوش نمونه RC2 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۷-۴- پاسخهای هیستریزس نمونه RC3 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۸-۴- کرنش ایجاد شده در بال تیر نمونه های RC2, RC3, RC4 Error! Bookmark not defined.
- نمودار ۹-۴- پاسخهای هیستریزس نمونه RC4 Error! Bookmark not defined.

Error! Bookmark not defined. نمودار ۴-۱۰- پاسخهای هیستریزیس نمونه RC5

Error! Bookmark not defined. نمودار ۴-۱۱- پاسخهای هیستریزیس نمونه RC6

نمودار ۴-۱۲- حداکثر کرنش پلاستیک ایجاد شده در تیر و جوش اتصال دهنده ورق زیرسری به ستون در نمونه RC6
 Error! Bookmark not defined. E6013 , E7018 با استفاده از دو الکتروود

Error! Bookmark not نمودار ۴-۱۳- حداکثر کرنش پلاستیک ایجاد شده در بال تیر در نمونه های مورد بررسی defined.

نمودار ۴-۱۴- حداکثر کرنش پلاستیک ایجاد شده در جوش اتصال دهنده ورق زیرسری به ستون در نمونه های مورد
 Error! Bookmark not defined. بررسی

Error! Bookmark not defined. نمودار ۴-۱۵- توزیع کرنش در نقاط مختلف نمونه های RC2 و RC2-1

Error! Bookmark not defined. نمودار ۴-۱۶- منحنی هیستریزیس نمونه RC2-1

نمودار ۴-۱۷- حداکثر کرنش پلاستیک ایجاد شده در تیر و جوش اتصال دهنده ورق زیرسری به ستون در نمونه های
 Error! Bookmark not defined. RC2 و RC2-2 با استفاده از الکتروود E6013

نمودار ۴-۱۸- حداکثر کرنش پلاستیک ایجاد شده در تیر و جوش اتصال دهنده ورق زیرسری به ستون در نمونه های
 Error! Bookmark not defined. RC2 و RC2-2 با استفاده از الکتروود E7018

Error! Bookmark not defined. نمودار ۴-۱۹- پاسخهای هیستریزیس نمونه های RC2 و RC2-2

Error! Bookmark not defined. نمودار ۴-۲۰- توزیع کرنش در نقاط مختلف نمونه های RC2 و RC2-3

Error! Bookmark RC2, RC2-4, RC2-5 در نمونه های E7018 با الکتروود $\Theta=0.08$ در توزیع کرنش در
 not defined.

Error! Bookmark not نمودار ۴-۲۲- توزیع کرنش در $\Theta=0.08$ با الکتروود E6013 در نمونه های RC2, RC2-6
 defined.

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- جزئیات رایج اتصالات صلب فولادی جوشی پیش از زلزله نورث ریج ۲
- شکل ۲-۱- ناحیه شروع گسیختگی در اتصالات رایج فولادی جوشی پیش از زلزله نورث ریج ۲
- شکل ۳-۱- مثالهایی از روشهای افزایش سختی اتصالات خمشی ۴
- شکل ۴-۱- روشهای کاهش مقطع تیر ۵
- شکل ۵-۱- جزئیات اتصالات WUF-B ۶
- شکل ۶-۱- جزئیات اتصالات WUF-W ۸
- شکل ۷-۱- جزئیات اتصالات FF ۱۰
- شکل ۸-۱- جزئیات اتصالات RBS ۱۱
- شکل ۹-۱- جزئیات اتصالات WFP ۱۳
- شکل ۱۰-۱- رفتار غیرالاستیک قاب خمشی با تشکیل مفصل پلاستیک در تیر ۱۵
- شکل ۱۱-۱- محل تشکیل مفصل پلاستیک ۱۷
- شکل ۱۲-۱- محاسبه برش در محل مفصل پلاستیک ۱۸
- شکل ۱۳-۱- محاسبه مقاومت در مقاطع بحرانی ۱۹
- شکل ۱-۲- جزئیات هندسی نمونه‌های اتصالات جوشی ۳۱
- شکل ۲-۲- نحوه گسیختگی نمونه‌های سری (c) ۳۲
- شکل ۳-۲- نحوه گسیختگی نمونه‌های سری (a) ۳۳
- شکل ۴-۲- اتصالات تقویت شده: (a) با ورق پوششی (b) با ورق تقویتی ۳۴
- شکل ۵-۲- مشخصات هندسی نمونه‌های: RC06(b) RC01(a) ۳۶
- شکل ۶-۲- نحوه بارگذاری نمونه‌های آزمایشگاهی ۳۶
- شکل ۷-۲- هندسه نمونه‌های مورد آزمایش ۴۰
- شکل ۸-۲- گسیختگی شکل پذیر شکل نمونه S1E ۴۲

- شکل ۲-۹- مکانیزم گسیختگی ورق تقویت شده توسط سخت کننده مثلثی و محل تمرکز تنش ۴۳
- شکل ۳-۱- مدلسازی و مشبندی احجام اتصال ۵۲
- جدول ۳-۱- مشخصات مصالح بر اساس نتایج تست کوپن ۵۲
- شکل ۳-۲- تغییر شکل اتصال و نحوه محاسبه η ۵۴
- شکل ۳-۳- جزییات اتصال RC2 - شکل ۳-۴- جزییات اتصال RC1 ۵۵
- شکل ۳-۵- نحوه نصب و برپایی نمونه های آزمایشگاهی ۵۶
- شکل ۴-۱- مشخصات هندسی نمونه ها ۶۱
- شکل ۴-۲- توزیع تنش در نمونه RC1 ۶۲
- شکل ۴-۳- توزیع کرنش در نمونه RC1 ۶۲
- شکل ۴-۴- توزیع کرنش در نمونه RC2 ۶۵
- شکل ۴-۵- توزیع تنش در نمونه RC3 ۶۸
- شکل ۴-۶- توزیع کرنش در نمونه RC3 ۶۸
- شکل ۴-۷- توزیع کرنش در نمونه RC4 ۶۹
- شکل ۴-۸- توزیع کرنش در جوش اتصال دهنده ورق اتصال زیرسری به ستون در نمونه RC5 ۷۱
- شکل ۴-۹- توزیع کرنش در تیر در نمونه RC5 ۷۱
- شکل ۴-۱۰- توزیع کرنش در نمونه RC6 ۷۳
- شکل ۴-۱۱- توزیع تنش و تغییر شکل نمونه RC2-1 ۷۸
- شکل ۴-۱۲- توزیع کرنش در نمونه RC2-1 ۷۸
- شکل ۴-۱۳- توزیع تنش در نمونه RC2-2 ۸۰

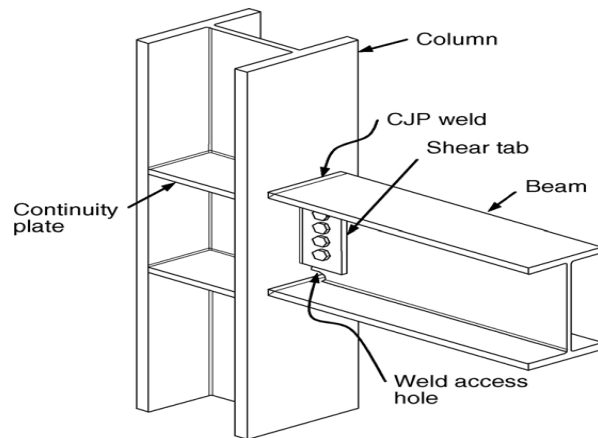
فصل ۱: سیستم قاب خمشی فولادی

۱-۱- مقدمه

کاربرد قاب‌های خمشی (MRFs)^۱ بدلیل امکان برخورداری از فضاهای باز معماری از دیرباز مورد توجه طراحان سازه بوده است. ساختمان‌های فولادی جوشی با قاب‌های خمشی مقاوم برای مقابله با تکان‌های زمین لرزه بر این اساس طراحی می‌شوند که بدون از دست دادن مقاومت، قابلیت تسلیم و تغییر شکل خمیری زیادی را دارا باشند. این نوع قاب‌ها در صورتی می‌توانند به شکل پذیری مطلوب برسند که تسلیم خمشی در تیرها، تسلیم برشی در ناحیه چشمه اتصال ستون‌ها و یا ترکیبی از این دو مکانیزم رخ دهد. بدین ترتیب انتظار می‌رود قبل از آنکه اتصال دچار شکست ترد شود، آسیب‌هایی مثل تسلیم و کمانش‌های موضعی در المان‌های فولادی اتفاق بیافتد. بر این اساس آیین‌نامه‌های ساختمانی قبلاً اجازه می‌دادند که سازه‌های فولادی جوشی با قاب‌های خمشی تنها برای قسمتی از مقاومت لازم برای پاسخ به تکان‌های زمین لرزه حد طراحی، در محدوده الاستیک طرح شوند [۱].

تصور می‌شد که جزییات اتصالات جوشی رایج در قاب‌های خمشی فولادی بکار رفته در پیش از زلزله ۱۹۹۴ (شکل ۱-۱) نورتریج بتواند شکل پذیری خوبی را از طریق ایجاد زوایای دوران پلاستیک بالای ۲٪ رادیان بدون وقوع افت مقاومت در برابر بارهای وارده از زلزله تامین کند، اما مشاهده آسیب‌های بوجود آمده در زلزله نورتریج مشخص ساخت که در بسیاری از موارد، شکست‌های ترد اتصالات در محدوده‌های پایین خمیری بوده‌اند و در بعضی موارد در حالی اتفاق افتاده‌اند که ساختمان هنوز کاملاً در حد الاستیک بوده است [۱].

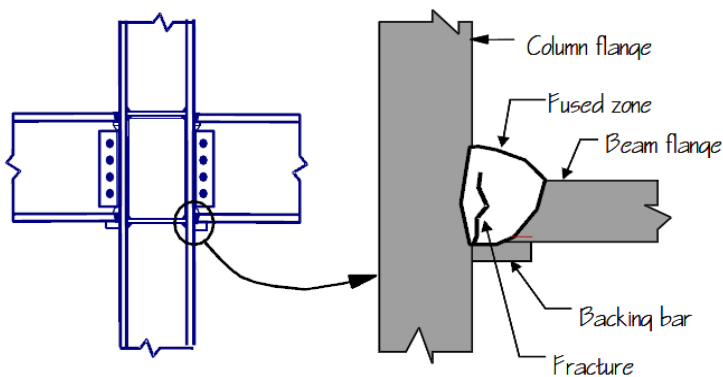
¹ Moment Resisting Frames



شکل ۱-۱- جزئیات رایج اتصالات صلب فولادی جوشی پیش از زلزله نورث ریج

در این اتصال بال‌های تیر به ستون توسط جوش شیاری با نفوذی کامل و اتصال جان تیر به ستون بوسیله یک ورق انتقال برش است که به ستون جوش و به جان تیر نیز بوسیله پیچ‌های پرمقاومت پیچ می‌شود و یک اتصال پیچی اصطکاکی را بوجود می‌آورد. سطح مشترک تیر و ستون مقطع بحرانی می‌باشد زیرا که ماکزیمم لنگر خمشی وقتی اتصال در معرض نیروهای لرزه‌ای قرار می‌گیرد در آن بوجود می‌آید. بنابراین گسیختگی اتصال معمولاً از محل جوش‌های شیاری اتصال دهنده بال‌های تیر به ستون آغاز می‌شود [۲]. در بیشتر موارد مطابق شکل ۱-۲ اتصال بال فوقانی تیر به ستون سالم مانده و بیشتر خرابی‌ها در بال پایینی گزارش شده است [۱] که با دلایل زیر قابل توجیه است:

- عملکرد مختلط دال بتنی با بال فوقانی که موجب انتقال تارخشی به طرف بالا و افزایش تنش در بال تحتانی تیر می‌شود.
- تسمه‌ی پشتبند جوش در بال پایینی تیر در تار تنش حداکثر قرار دارد.

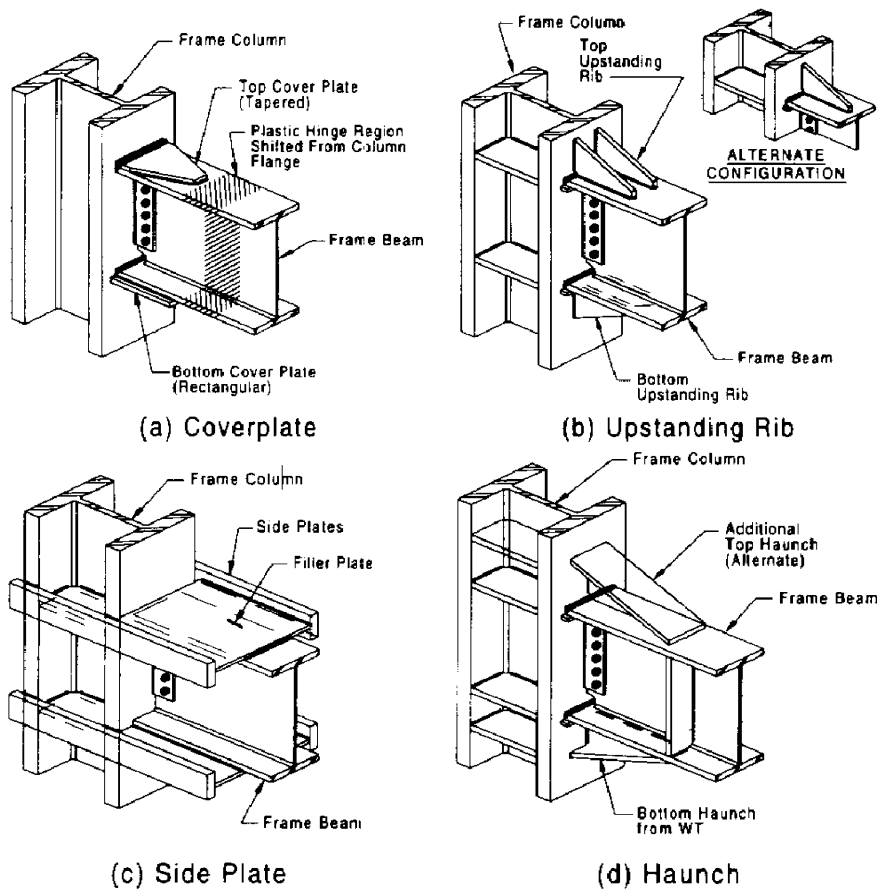


شکل ۱-۲- ناحیه شروع گسیختگی در اتصالات رایج فولادی جوشی پیش از زلزله نورث ریج

اغلب با شروع گسیختگی ترد در محل جوش، این گسیختگی با توجه به شرایط اتصال در جهات مختلف پخش شده و به عنوان مثال سبب ایجاد ترک در بال ستون و جدایی آن از بال تیر گردیده بود. وقوع شکست-های ترد در محل اتصال تیر به ستون و یا در ناحیه حرارت دیده در اثر جوشکاری منجر می‌گردد تا اتصالات قادر به نشان دادن شکل پذیری مناسب و یا رسیدن به مقاومت تیرها و چشمه اتصال نباشند. بنابراین برای دستیابی به رفتار شکل‌پذیر باید شرایطی که شکست ترد بدنبال دارد را شناسایی و از وقوع آن جلوگیری کرد و روش‌های طراحی مناسبی را برای ایجاد مکانیزم استهلاک انرژی پایدار و قابل اطمینان اتخاذ نمود. این امر موجب آغاز مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی گسترده‌ای بر روی قاب‌های خمشی فولادی جوشی گردید و استراتژی‌های متفاوتی جهت معرفی اتصالات بهبود یافته جدید مطرح گردید تا به نوعی سطح تنش در محل اتصال تیر به ستون را کاهش داده و از خسارات در پی آن جلوگیری کرد.

۱-۲- اصلاح رفتار اتصالات صلب خمشی

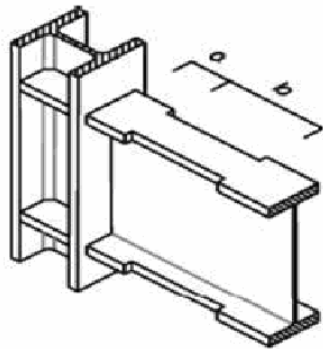
تلاش‌های انجام شده برای اصلاح رفتار تناوبی اتصالات خمشی رایج به دو راهکار اصلاحی کلی قابل تقسیم‌بندی است. یکی از روش‌ها سخت کردن اتصال و دیگری نرم کردن تیر در مجاورت ستون می‌باشد. این دو روش اصلاح اتصالات اگرچه در ظاهر با یکدیگر متفاوت هستند، ولیکن هدف مشترک آنها سوق دادن مفصل پلاستیک به ناحیه‌ای دور از بر ستون می‌باشد. یعنی دور کردن مفصل پلاستیک از نقطه‌ای که مستعد برای شکست ناگهانی به علت معایب احتمالی در جوش، تمرکز تنش به علت وجود سوراخ‌های دسترسی و ورق پشتبند، تقید قابل توجه در محل جوش تیر به ستون و وجود تنش‌های سه محوره می‌باشد. در واقع در اتصالات سخت شده با قوی کردن اتصال، تشکیل مفصل پلاستیک به دور از بال ستون، جایی که شرایط بحرانی فوق‌الذکر وجود ندارد، انتقال می‌یابد، در حالی که در روش دوم با ضعیف کردن تیر در ناحیه‌ای دور از بر ستون، مفصل پلاستیک به داخل تیر هدایت می‌شود. در راهکار اول یعنی سخت کردن، همانطور که در شکل ۱-۳ ملاحظه می‌گردد، اتصالات خمشی رایج با اضافه کردن ورق‌های پوششی، لچکی‌های قائم، ورق‌های کناری و یا ماهیچه‌ها تقویت می‌شوند [۳].



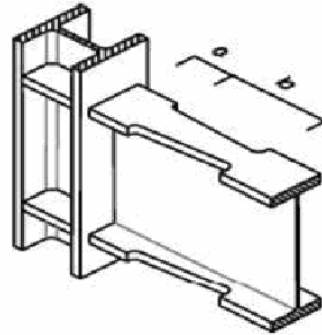
شکل ۱-۳- مثال‌هایی از روش‌های افزایش سختی اتصالات خمشی

با سخت کردن اتصال، تنش در جوش اتصال تیر به ستون پایین می‌آید. همچنین، با افزایش سختی اتصال امکان وقوع مفصل پلاستیک در نزدیکی ستون کاهش یافته و مفصل به داخل تیر منتقل می‌گردد. بدین ترتیب سطح تقاضا در محل اتصال تیر به ستون پایین آمده و جوش کمتر در معرض شکست ترد خواهد بود.

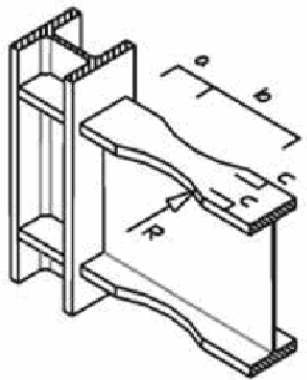
راهکار دوم اصلاح عملکرد اتصالات خمشی، نرم کردن بخشی از تیر در فاصله‌ای از محل اتصال تیر به ستون می‌باشد که به دو روش قابل اجرا است. روش اول بریدن بال تیر در فاصله‌ای از بر ستون می‌باشد، اتصال حاصل از این روش به اتصال تیر با مقطع کاهش یافته و یا به اختصار RBS موسوم است. برش بال تیر می‌تواند به صورت برش ثابت، دوزنقه‌ای و یا دایروی باشد. روش دیگر، سوراخ کردن بال تیر و کاهش سطح مقطع آن است این روش به دلیل وقوع تمرکز تنش‌های شدید در اطراف سوراخ‌ها و نیز هزینه نسبتاً بالای سوراخکاری چندان مورد استفاده قرار نگرفته است. روش‌های مختلف کاهش مقطع تیر در شکل ۱-۴ آورده شده است.



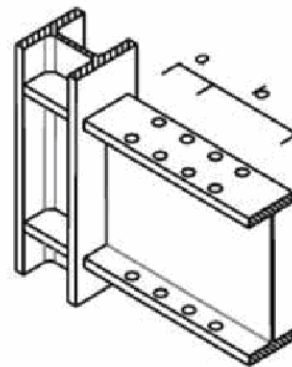
ب) برش ثابت



الف) برش دوزنقه‌ای



د) برش دایروی



ج) سوراخ کردن بال تیر

شکل ۱-۴- روش‌های کاهش مقطع تیر

۳-۱- اتصالات تایید شده

در آیین‌نامه FEMA350 پنج نوع اتصال کاملاً صلب جوشی که با روش نرم یا سخت شدن اصلاح شده‌اند، مطابق جدول ۱-۱ معرفی شده‌اند [۱].

جدول ۱-۱- اتصالات کاملاً صلب جوشی آیین‌نامه FEMA350