

جزئیات اجرایی نوآورانه در اتصالات گیردار تیر به ستونهای صلیبی

عطیه باقری^۱، محمد سهیل قبادی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

چکیده

کاربرد ستونهای صلیبی با استفاده از اتصالات پیچ و مهره ای در قاب های خمشی دوطرفه و سیستم های لوله ای به دلیل ارجحیت معماری رو به افزایش است. اجرای ورق های مضاعف برای تقویت برشی چشمه اتصال و اجرای ورق پیوستگی با توجه به الزامات اتصالات گیردار در قاب های خمشی ویژه جزئیات اجرایی مناسبی نیاز دارد که در این مقاله به آن پرداخته می شود. تحقیقات زیادی در این زمینه وجود ندارد و در این مقاله دو جزئیات اجرایی جدید در چشمه اتصال معرفی می گردد و با جزئیات موجود مقایسه می گردد. در این راستا جزئیات جدید شامل ورق های مایل و نبشی های قائم در حضور ورق های پیوستگی به منظور تقویت ناحیه ی چشمه اتصال ستون صلیبی ارائه میشود. همچنین جزئیات جوشکاری نیز در این تحقیق مطالعه شده است. برای این منظور ۱۶ مدل غیرخطی عددی برای ارزیابی جزئیات اجرایی مختلف تحلیل شده است. در مطالعه عددی رفتار مصالح فولادی و جوش هر دو توسط معیارهای شکست و تردی مواد در قسمت های مختلف اتصال ارزیابی و مکانیزم گسیختگی کنترل شده است. نتایج عملکرد لرزه ای بهتر چشمه ی اتصال این ستون ها را با استفاده از جزئیات جدید معرفی شده نشان می دهد.

کلمات کلیدی: شاخص شکست، اتصال جوشی، ستون صلیبی، چشمه ی اتصال، عملکرد لرزه ای

*نویسنده مسئول: محمد سهیل قبادی

پست الکترونیکی: msghobadi@eng.ikiu.ac.ir

DOI: 10.22065/jsce.2016.41238
<http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2016.41238>

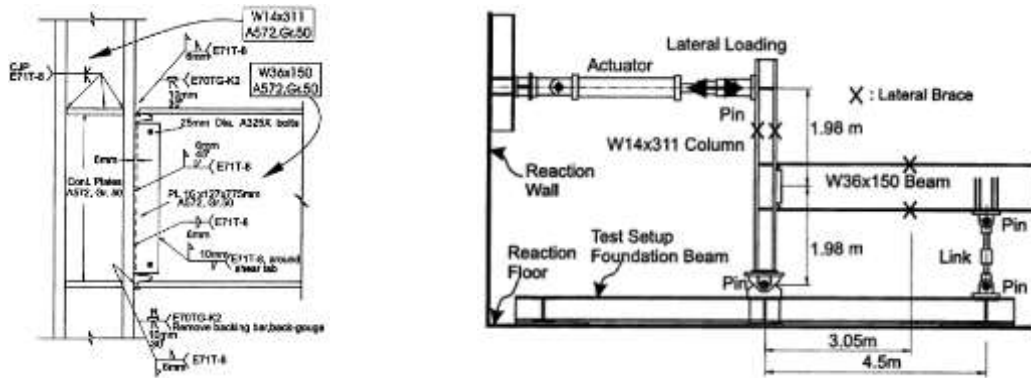
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۱۷، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۶

در زلزله‌های اخیر، گسیختگی اتصالات به عنوان اولین مرحله فروریزش سازه قبل از تسلیم تیرها و ستون‌ها رخ داد. در واقع اگرچه اتصالات صلب، مقاومت و سختی بالایی دارند، اما شکل پذیری پایین آن‌ها باعث گسیختگی زودرس می‌گردد، در نتیجه پس از زلزله نورتریج، تحقیقات به سمت افزایش شکل‌پذیری اتصالات گیردار، دور شدن مفصل پلاستیک از ناحیه اتصال، تقویت چشمه‌ی اتصال و در اتصالات جوشی؛ استفاده از فلزات پایه و فلز جوش با مقاومت و شکل‌پذیری بالاتر و جزئیات چشمه اتصال متنوع، پیش رفت. هم چنین بیان شده است که تغییر شکل زیاد چشمه اتصال علاوه بر تغییر شکل نسبی زیاد طبقه، موجب تمرکز تنش در بال ستون و در مجاورت جوش‌های اتصال تیر به ستون می‌شود و سبب پدیده‌ای به نام کینک در جوش می‌گردد [۱].

تاهیر و همکاران در تحقیقات به منظور پیش‌بینی بار محوری ستون‌های صلیبی، از روابط باربری مربوط به ستون‌های I شکل موجود آیین‌نامه‌های یورو کد ۳ و استاندارد بریتانیا استفاده کردند. بر این اساس تاهیر و همکاران نتیجه گرفتند مجموع ممان اینرسی مقطع حول محور قوی و ضعیف خود به عنوان مقدار ممان اینرسی مقطع صلیبی می‌باشد. به‌طور کلی کمانش ستون‌های صلیبی، با کمانش موضعی در میانه‌ی ارتفاع ستون آغاز می‌شود و به دنبال آن کمانش کلی رخ خواهد داد [۲]. شین و همکاران در آزمایش خود رفتار ستون CFT با تیر H شکل با وجود سخت‌کننده خارجی را مورد بررسی قرار دادند و به منظور افزایش شکل‌پذیری و کاهش تنش در گوشه‌های اتصال در سخت‌کننده T شکل، از سخت‌کننده T شکل با مقطع کاهش یافته استفاده کردند [۳ و ۴]. چن و همکاران در مدل آزمایشگاهی خود از اتصال تقویت شده بوسیله صفحات مثلی که به بال تیر وصل می‌شوند و تا ناحیه‌ی اتصال پیش می‌روند و بال استفاده کردند [۵]. یانگ و همکاران در مطالعه آزمایشگاهی اثر رفتار لرزه‌ای یک اتصال نیمه صلب پیچی - جوشی را بررسی کردند؛ این نمونه به دلیل پارگی بال ستون در نزدیکی جوش شیاری گسیخته شد [۶]. مون و همکاران در مطالعات خود اثر گسیختگی جوش بین المان‌های افقی سخت‌کننده T شکل و بال تیر را علت اصلی گسیختگی اتصال نام بردند [۷]. ماو و رایسل آزمایش‌هایی را برای بهبود خواص شکل‌پذیر اتصال بر روی شاخصه‌های فلز جوش، هندسه سوراخ دسترسی جوش، اتصال جان تیر، صفحات پیوستگی و مقاومت ناحیه‌ی اتصال تحت اثر بارگذاری لرزه‌ای انجام دادند [۸، ۹ و ۱۰]. قبادی و همکاران بهبود جزئیات شکل‌پذیر سخت‌کننده T شکل در سیستم قاب خمشی را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه تحقیقات نشان داد استفاده از جوش گوشه در سخت‌کننده‌ی T شکل بال تیر باعث محدود شدن ترک در نوک سخت‌کننده بر روی بال تیر می‌شود [۱۱]. میرقادری و همکاران در مطالعات عددی و پارامتری خود به بررسی رفتار چشمه اتصال صلیبی تحت بارگذاری لرزه‌ای و تأثیر جزئیات اتصال بر چگونگی توزیع لنگر در مقطع پرداختند، همچنین الگوی ورق‌های تقویتی مایل را برای بهبود رفتار چشمه اتصال ستون‌های صلیبی معرفی کردند [۱۲]. در این مقاله دو روش اجرای جدید اتصال گیردار ستون صلیبی معرفی شده است و تحت بارگذاری قرار گرفته است. در ابتدا یک نمونه اجزاء محدود برای صحت‌سنجی ساخته شده است. در ادامه تحقیق ۱۶ نمونه با جزئیات جدید مطرح شده در مقاله تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفته است. مدلسازی‌ها با نرم افزار آباکوس [۱۴] صورت گرفته است. رفتار غیرخطی مادی و هندسی برای نمونه‌ها در نظر گرفته شده و براساس مطالعات دقیق شاخص‌های شکست و تردی مواد رفتار جوش‌ها و مصالح فولادی و مدهای گسیختگی نتیجه‌گیری شده است. این تحقیق از جنبه بررسی سازه‌ای نواحی جوش در چشمه اتصال ستون‌های صلیبی و ارزیابی لرزه‌ای شکل‌پذیری این اتصالات با جزئیات جدید نوآورانه است.

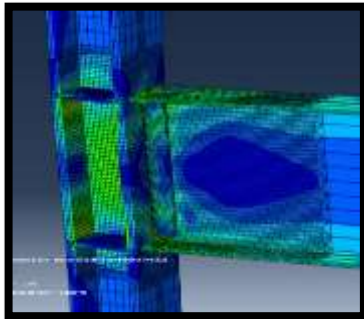
۲- صحت‌سنجی مدلسازی مطالعات عددی

از آنجا که تعداد کمی مدل آزمایشگاهی برای تحلیل رفتار لرزه‌ای ستون‌های صلیبی انجام شده است و به صورت رسمی گزارش نشده است، برای انجام مدل صحت‌سنجی از مطالعات آزمایشگاهی رایسلز و همکاران [۱] استفاده شد. در شکل ۱ شرایط مرزی و هندسی نمونه اتصال نشان داده شده است. همچنین تاریخچه بارگذاری براساس مقاله مذکور مطابق الگوی استاندارد آیین‌نامه سازه‌های فولادی آمریکا [۱۶] انتخاب شد. مشخصات مصالح نیز طبق مقاله مرجع اعمال گردید، سپس اقدام به ساخت نمونه اتصال در محیط نرم افزار گردید.

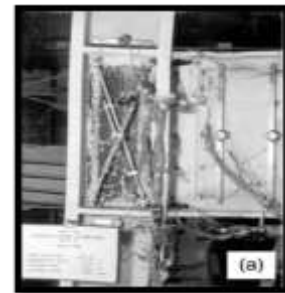


شکل ۱: هندسه مدل و شرایط مرزی نمونه آزمایشگاهی صحت سنجی شده [۱].

شکل ۲ و ۳ نشان می‌دهد رفتار هیستریزیس و مد گسیختگی مدل عددی بر مدل آزمایشگاهی مطابقت دارد.

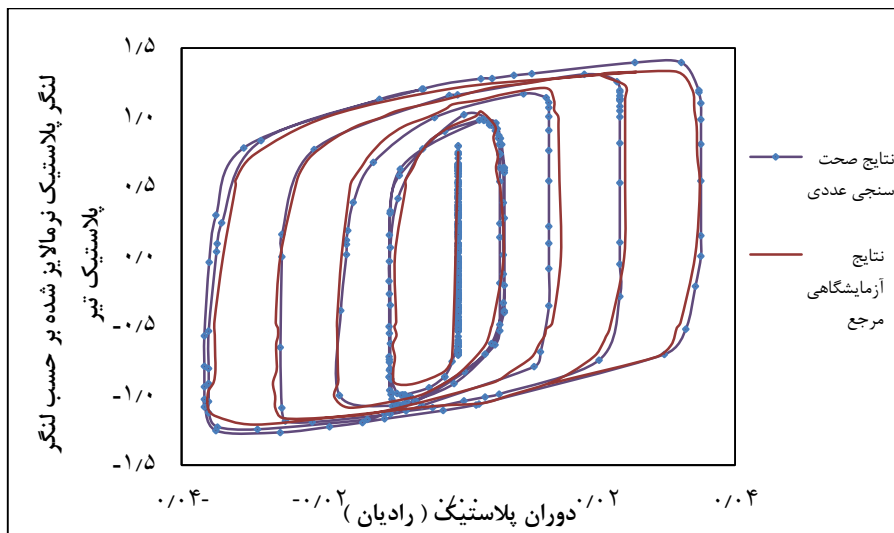


ب



الف

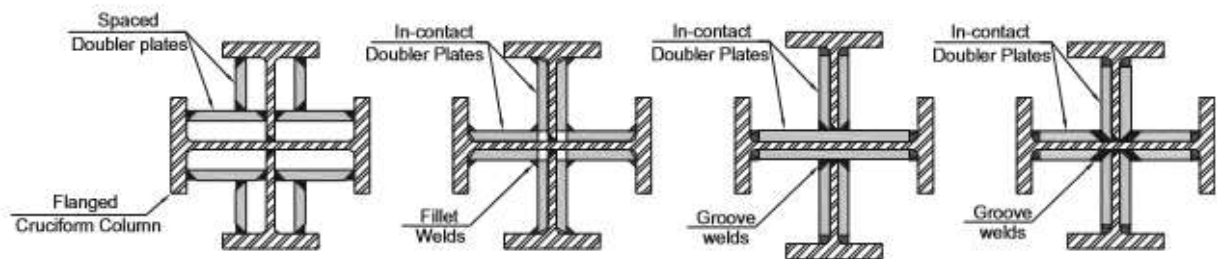
شکل ۲: نمای تغییر شکل یافته مدل صحت سنجی شده؛ الف) نمونه آزمایشگاهی [۱]، ب) مدل عددی صحت سنجی شده.



شکل ۳: نتایج مدل صحت سنجی شده؛ مقایسه نمودار هیستریزیس آزمایشگاهی [۱] و عددی.

۳- طرح مسئله در ستون های صلیبی و پیشنهاد مقاله

چشمه‌ی اتصال در مقاطع I شکل با استفاده از ورق‌های مضاعف جان تقویت می‌شود. در ستون‌های صلیبی شکل، هندسه نسبتاً پیچیده‌ی اتصال، تقویت ناحیه‌ی چشمه‌ی اتصال ستون را با مشکل مواجه می‌کند و افزایش مقاومت برشی چشمه اتصال در هر دو جهت اصلی ستون براحتی امکان‌پذیر نیست. در مقاطع ساخته شده از ورق این عمل با افزایش ضخامت هر دو جان ستون در ناحیه‌ی چشمه‌ی اتصال انجام می‌شود، ولی در ستون‌های صلیبی ساخته شده از مقاطع نورد شده که امکان افزایش ضخامت جان در ناحیه‌ی چشمه‌ی اتصال وجود ندارد، این تقویت باید با استفاده از ورق‌های مضاعف‌کننده جان در هر دو راستای ستون انجام گیرد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، ورق‌های تقویت با جان‌های ستون دچار انقطاع می‌شوند. به دلیل وجود دو جان متعامد بر هم در این مقاطع، استفاده از ورق‌های تقویت جان منجر به تقاطع با جان و ورق‌های تقویتی راستای دیگر و در نتیجه عدم پیوستگی ورق‌ها می‌شود. این عدم پیوستگی‌ها مانع از گردش و انتقال بار در چشمه‌ی اتصال این مقاطع می‌شود و در نتیجه تقویت این مقاطع با استفاده از الگوی متداول ورق‌های مضاعف‌کننده جان ممکن نمی‌باشد [۲]. در نتیجه جهت تقویت ناحیه چشمه اتصال در اتصالات تیر به ستون های صلیبی باید جزئیات جدید ورق‌های پیوستگی متناسب با هندسه این مقاطع پیشنهاد شود.

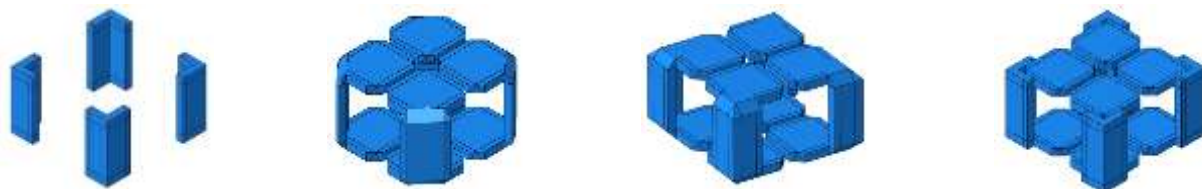


شکل ۴: تقویت جان چشمه‌ی اتصال در مقاطع صلیبی با ورق‌های مضاعف [۲].

شکل ۵ پیشنهاد این تحقیق شامل ورق مایل با جزئیات جدید و نبشی شونده جایگزین را نشان می‌دهد. ورق مایل در این مطالعه با گروه c مشخص شده است با ارتفاعی معادل ارتفاع چشمه‌ی اتصال استفاده شده است. همچنین شکل ۶ مدل پیشنهادی مطالعات میرقادری و همکاران [۱۲ و ۱۳] شامل ورق‌های مایل که به بال‌های ستون صلیبی و ورق پیوستگی در ناحیه‌ی چشمه‌ی اتصال متصل است و جزئیات پیشنهادی این تحقیق را به صورت سه بعدی نشان می‌دهد. ارتفاع ورق‌های مایل پیشنهادی در این مقاله کمتر از نمونه مطالعات میرقادری و همکاران است و به نظر می‌رسد پیشنهاد آن مطالعه با سهولت اجرا همراه بود. نبشی‌های پیشنهاد شده با دو نوع اجرای جوش متفاوت در مدل‌ها، دو گروه متفاوت را تشکیل می‌دهند. گروه a؛ شامل جوش شیاری با نفوذ کامل نبشی در ناحیه چشمه اتصال به بال‌های ستون و جوش شیاری ورق پیوستگی به نبشی‌ها که شیاری ایجاد شده بر روی ورق‌های پیوستگی اجرا می‌شود و گروه b شامل جوش شیاری با نفوذ کامل نبشی‌ها به ورق پیوستگی و بال‌های ستون می‌باشد که شیاری لازم بر روی نبشی‌ها ایجاد می‌شود. گروه d استفاده از نبشی بدون ورق‌های پیوستگی را نشان می‌دهد و در واقع مشابه گروه a بدون ورق پیوستگی است. مزیت پیشنهاد ارائه شده؛ افزایش سطح مقطع در ورق‌های پیوستگی، ایجاد مقطعی همانند ستون‌های جعبه‌ای در ناحیه چشمه اتصال می‌باشد که این عوامل سبب بهبود کارایی چشمه اتصال ستون‌های صلیبی در تغییرشکل‌های بزرگ زلزله می‌شود. در این مقاله با استفاده از هندسه سه بعدی به بررسی شاخص گسیختگی در جوش‌ها و مصالح فولادی به کار رفته در چشمه اتصال مقاطع صلیبی پرداخته می‌شود.

در این راستا چهار هندسه متفاوت از اتصالات گیردار صلیبی مطالعات میرقادری و همکاران [۱۲] به عنوان اتصالات مرجع انتخاب شد. در انتخاب نمونه‌ها اصل تیر ضعیف-ستون قوی در نظر گرفته شده و الزامات لرزه‌ای آیین نامه AISC [۱۶] در آن لحاظ شده است. طول تیرها برابر ۶ و ارتفاع ستون ۴ متر انتخاب شد و شرایط مرزی مشابه نمونه‌ی آزمایشگاهی صحت سنجی انتخاب گردید. در مدلسازی تیرها نصف طول تیر یعنی ۳ متر استفاده می‌گردد زیرا نقطه عطف در وسط تیر قرار دارد. در تحلیل‌های عددی پیش رو به بررسی رفتار چشمه اتصال در حضور ورق‌های مایل و نبشی‌ها و مطالعه احتمال شکست جوش جزئیات چشمه اتصال پرداخته می‌شود. جزئیات هندسی مدل‌ها

در جدول ۱، مشخصات مکانیکی مصالح در جدول ۲ مشاهده می‌شود. با توجه به جدول ۱ در هر دسته چهار تیر و ستون مختلف انتخاب شده است که به ترتیب از ترکیب ضعیف به قوی تبدیل می‌گردد. به عنوان مثال مدل Fa ورق‌ها و جوش‌های ضخیم تری نسبت به مدل ۱a دارد.



د گروه (د)

ج گروه (ج)

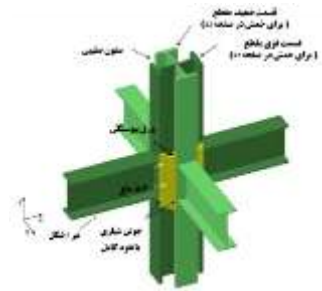
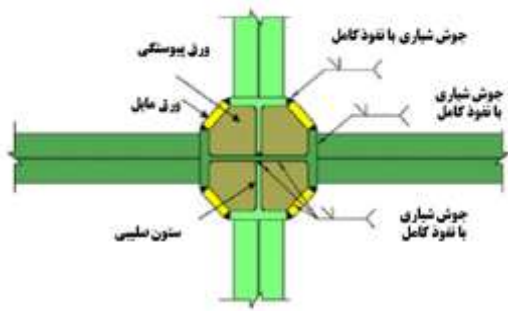
ب گروه (ب)

الف گروه (الف)

شکل ۵: هندسه چشمه‌ی اتصال الف) نبشی با جوش شیاری با نفوذ کامل و ایجاد جوش درز در نبشی، ب) نبشی با جوش شیاری با نفوذ کامل و ایجاد جوش درز در بال ستون، ج) ورق‌های مایل با جوش شیاری با نفوذ کامل، د) چشمه اتصال بدون استفاده از ورق پیوستگی و با نبشی گروه a.

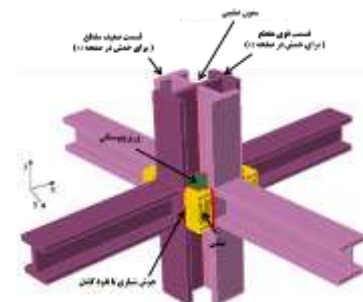
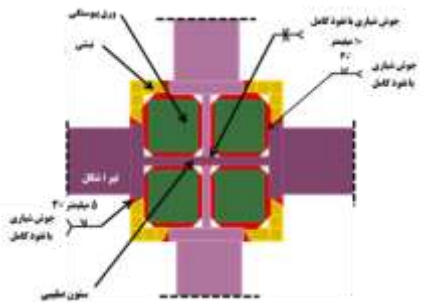
جدول ۱: جزئیات هندسی اتصالات

شماره مدل	مقطع تیر	مقطع ستون	ضخامت ورق پیوستگی (میلیمتر)	ضخامت ورق مایل (میلیمتر)	ضخامت نبشی (میلیمتر)	گروه بندی چشمه اتصال	لنگر پلاستیک تیر/لنگر پلاستیک چشمه اتصال
۱	W۲۱-۱۸۲	W۱۲-۱۰۶	۳۸	۳۸	۳۸	۱a	۱/۶۴
۲	W۲۱-۱۸۲	W۱۲-۱۰۶	۳۸	۳۸	۳۸	۱b	۱/۶۴
۳	W۲۱-۱۸۲	W۱۲-۱۰۶	۳۸	۳۸	۳۸	۱c	۱/۶۴
۴	W۲۱-۱۸۲	W۱۲-۱۰۶	۳۸	۳۸	۳۸	۱d	۱/۶۴
۵	W۲۱-۲۰۱	W۱۲-۱۲۰	۴۱	۴۱	۴۱	۲a	۱/۶۱
۶	W۲۱-۲۰۱	W۱۲-۱۲۰	۴۱	۴۱	۴۱	۲b	۱/۶۱
۷	W۲۱-۲۰۱	W۱۲-۱۲۰	۴۱	۴۱	۴۱	۲c	۱/۶۱
۸	W۲۱-۲۰۱	W۱۲-۱۲۰	۴۱	۴۱	۴۱	۲d	۱/۶۱
۹	W۲۴-۲۷۹	W۱۲-۱۷۰	۵۸	۵۸	۵۸	۳a	۱/۶۸
۱۰	W۲۴-۲۷۹	W۱۲-۱۷۰	۵۸	۵۸	۵۸	۳b	۱/۶۸
۱۱	W۲۴-۲۷۹	W۱۲-۱۷۰	۵۸	۵۸	۵۸	۳c	۱/۶۸
۱۲	W۲۴-۲۷۹	W۱۲-۱۷۰	۵۸	۵۸	۵۸	۳d	۱/۶۸
۱۳	W۲۴-۳۳۵	W۱۲-۲۱۰	۶۳	۶۳	۶۳	۴a	۱/۶۴
۱۴	W۲۴-۳۳۵	W۱۲-۲۱۰	۶۳	۶۳	۶۳	۴b	۱/۶۴
۱۵	W۲۴-۳۳۵	W۱۲-۲۱۰	۶۳	۶۳	۶۳	۴c	۱/۶۴
۱۶	W۲۴-۳۳۵	W۱۲-۲۱۰	۶۳	۶۳	۶۳	۴d	۱/۶۴



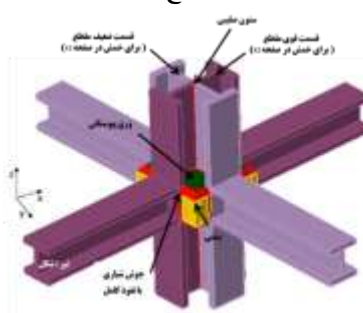
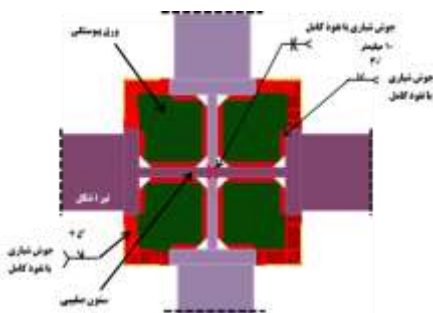
ب [۱۲]

الف [۱۲]



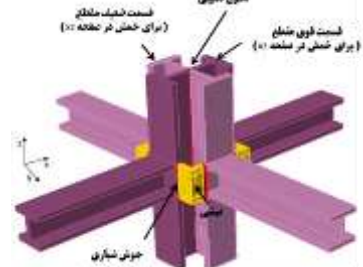
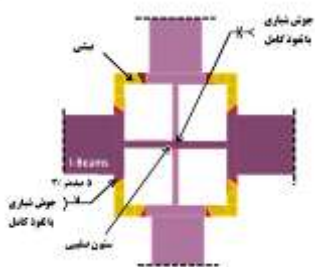
د

ج



و

ه



ل

ک

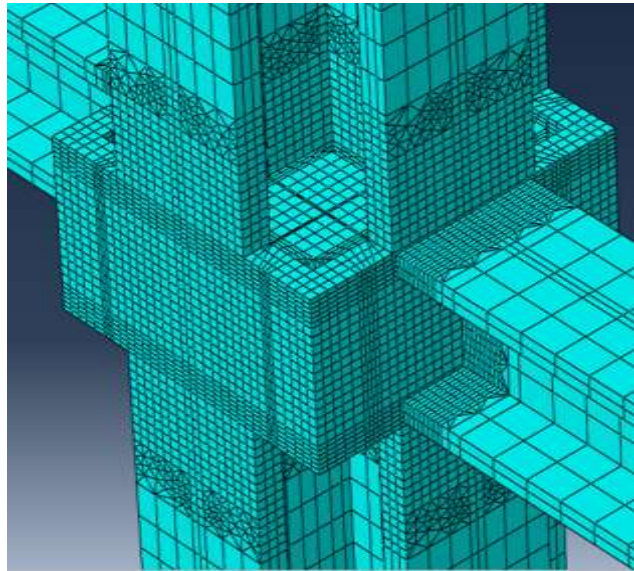
شکل ۶: الف) مطالعات میرقاردی در تقویت مقاطع ستون صلیبی [۱۲]، ب) جزئیات ناحیه چشمه اتصال [۱۲]، ج) استفاده از نبشی در تقویت مقاطع ستون صلیبی پیشنهادی مقاله با ایجاد درز جوش شیاری در ورق پیوستگی و بال ستون، د) نما از بالای جزئیات اتصال جوشی گروه a در حالت ج، ه) استفاده از نبشی در تقویت مقاطع ستون صلیبی گروه b، و) نما از بالای جزئیات اتصال جوشی گروه b در حالت ه، ک) جزئیات ناحیه چشمه اتصال بدون استفاده از ورق های پیوستگی در گروه d، ل) نما از بالا جزئیات اتصال جوشی در گروه d.

جدول ۲: مشخصات مکانیکی مصالح مدل‌های عددی

مشخصات ماده	تنش تسلیم (مگاپاسکال)	تنش نهایی (مگاپاسکال)	تنش تسلیم/ تنش نهایی	ازدیاد طول
Steel A۳۶	۲۴۸	۴۰۰	۰/۶۲	۰/۲
E۷۰۱۸	۵۴۰	۶۲۷	۰/۸۶	۰/۱۶

۳-۱- تاریخچه بارگذاری و مش بندی نمونه ها

مدل‌ها با بارگذاری غیرخطی یکنواخت افزایش یابنده تا مقدار چرخش نسبی طبقه ۶٪ تحلیل گردید. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در مش بندی مدل‌ها از المان آجری هشت گرهی (C3D8R) به روش انتگرال کاهش یافته استفاده و ابعاد مش در نزدیکی چشمه اتصال با اختصاص مش بندی محلی به چگالی این مش‌ها افزوده شد.



شکل ۷: مش بندی متراکم چشمه اتصال.

۳-۲- معرفی معیار شکست مصالح

در تحلیل‌هایی که ترک و رشد آن در مدل‌ها ایجاد نشود از شاخص گسیختگی^۱ برای مطالعه نواحی که پتانسیل شکست را دارا هستند استفاده می‌شود. این شاخص در نقاطی که دارای توانایی بالقوه گسیختگی هستند از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$RI = \frac{\varepsilon_p / \varepsilon_y}{\exp\left(-1.5 \frac{\sigma_m}{\sigma_{eff}}\right)} \quad (1)$$

که در آن ε_p ، ε_y ، σ_m و σ_{eff} به ترتیب برابر است با کرنش پلاستیک موثر^۲، کرنش تسلیم^۳، تنش هیدرواستاتیک^۴ و تنش موثر که تنش فون میسز^۵ نامیده می‌شود. شاخص گسیختگی برای اولین بار توسط هانکوک و مکنزی [۱۸] برای کرنش گسیختگی پلاستیک

1 Rupture Index
2 Effective Plastic Strain
3 Yield Strain
4 Hydrostatic Pressure
5 Von Misses Stress

موثر در شرایط تنش سه محوره مختلف اندازه گیری شد. این شاخص به همراه کرنش معادل پلاستیک و شاخص سه محوره به عنوان شاخص های خسارت در مطالعات ال طولیل و همکاران [۱۵] نیز استفاده شد.

شروع فرآیند گسیختگی شکل پذیر به دلیل مقادیر بالای تنش های کششی سه محوره است که در نهایت باعث شروع شکست می شود. نسبت تنش هیدرواستاتیک به تنش فون مایسز که در معادله بالا دیده می شود، نسبت سه محوره^۱ نامیده می شود. مقادیر بزرگ این شاخص باعث کاهش شدید کرنش گسیختگی در مواد می شود، این افت شدید به دلیل محدود شدن شکل پذیری ماده اتفاق می افتد. در نتیجه در نواحی از اتصال با مقادیر بالای شاخص گسیختگی پتانسیل بزرگتری برای شکست دارا می باشند [۱۷].

نسبت کرنش پلاستیک موثر به تنش تسلیم در رابطه ی بالا کرنش معادل پلاستیک می باشد که از رابطه ی (۲) بدست می آید.

$$PEEQ = \frac{\sqrt{\frac{2}{3} \epsilon_x \epsilon_y \epsilon_z}}{\epsilon_y} \quad (2)$$

که در آن ϵ_{ij}^p مولفه های کرنش پلاستیک می باشد.

در روابط تنش هیدرواستاتیک نیاز است و از رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}}{3} \quad (3)$$

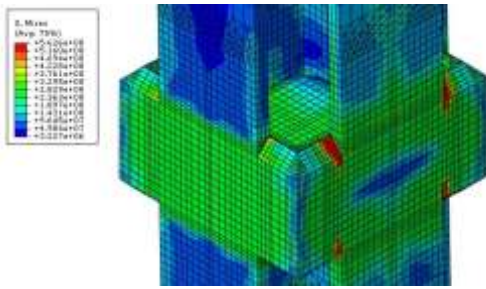
که در آن σ_{11} ، σ_{22} و σ_{33} نرم افزار (پارامترهای معادل تنش های عمودی در رابطه فوق) به ترتیب تنش های عمودی در راستای x ، y و z می باشند.

برای بدست آوردن نسبت سه محوره و کرنش معادل پلاستیک در خروجی نرم افزار ABAQUS باید از رابطه زیر استفاده نمود. در نرم افزار کرنش موثر پلاستیک با شاخص PEEQ اندازه گیری می شود. بنابراین برای محاسبه کرنش معادل پلاستیک از رابطه (۴) باید استفاده شود.

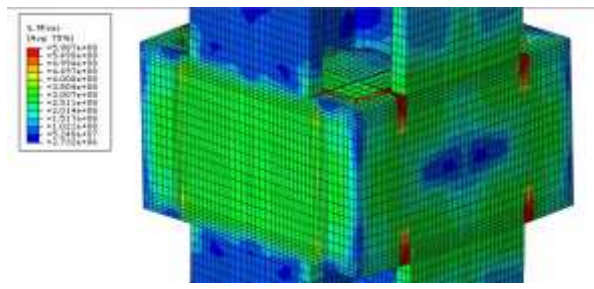
$$PEEQ = \frac{(PEEQ_{ABAQUS})}{\epsilon_y} \quad (4)$$

۴- نتایج مطالعات عددی و بحث

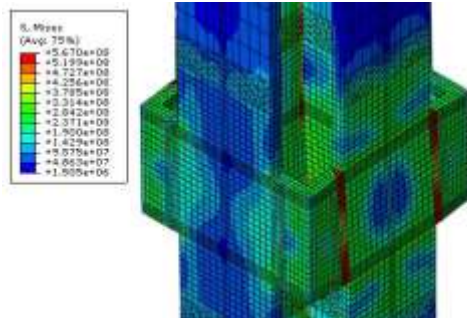
کانتور تنش های فون میسس در شکل های ۸ الی ۲۳ نشان داده شده است. مطالعه بر روی ناحیه چشمه اتصال صورت گرفته است. لازم به ذکر است در این مدل سازی ها مشابه با میرقادی و همکاران [۱۳] تیر با مصالح خطی مدلسازی شده تا تمام رفتار پلاستیک در ستون رخ دهد و بتوان بررسی شرایط ستون را در بدترین وضعیت مطالعه نمود. با توجه به این اشکال نقاط تمرکز تنش در مصالح فولادی و جوش های شیاری با نفوذ کامل شناسایی شده و مطالعات گسیختگی به این نقاط معطوف گشته است.



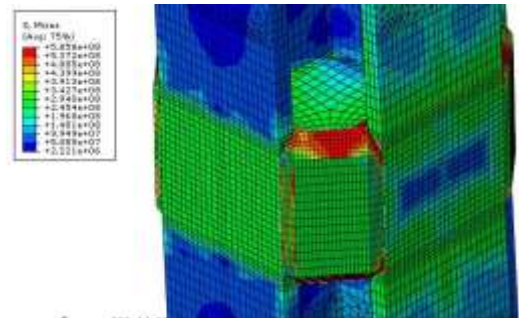
شکل ۹: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 1b.



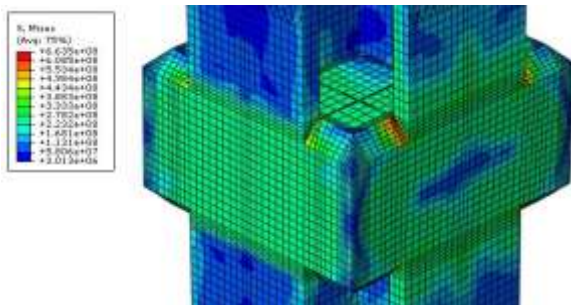
شکل ۸: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 1a.



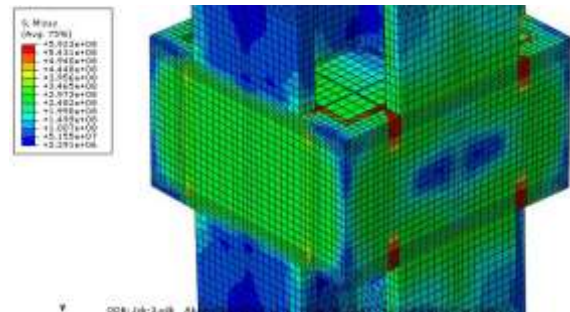
شکل ۱۱: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 1d.



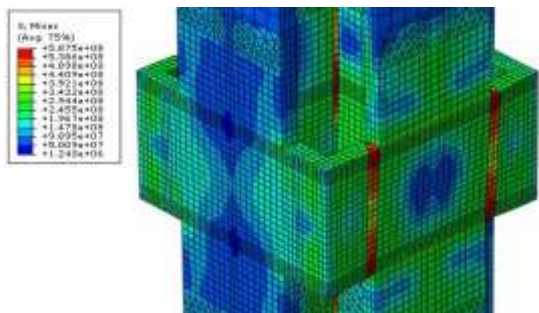
شکل ۱۰: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 1c.



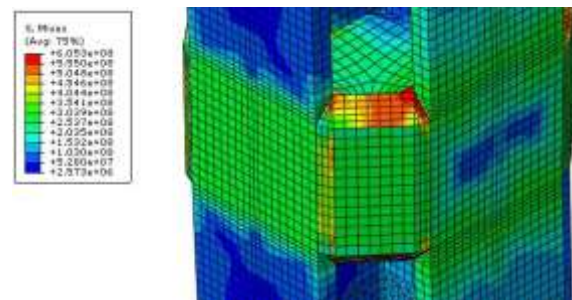
شکل ۱۳: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 2b.



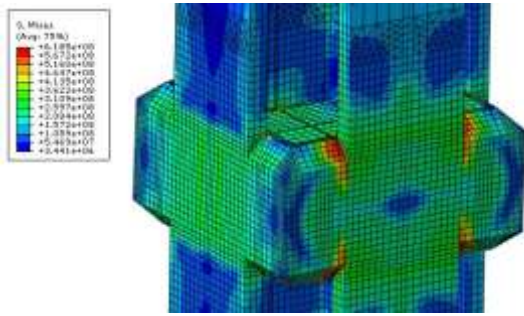
شکل ۱۲: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 2a.



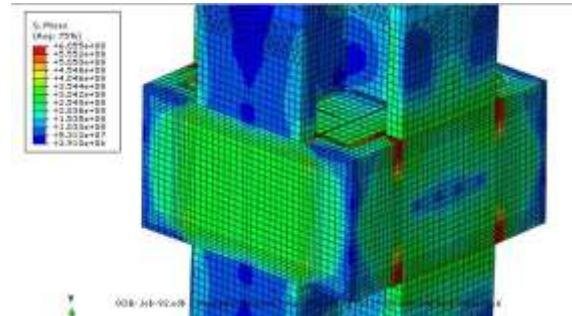
شکل ۱۵: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 2d.



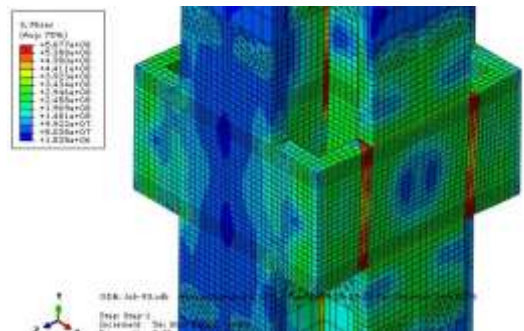
شکل ۱۴: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 2c.



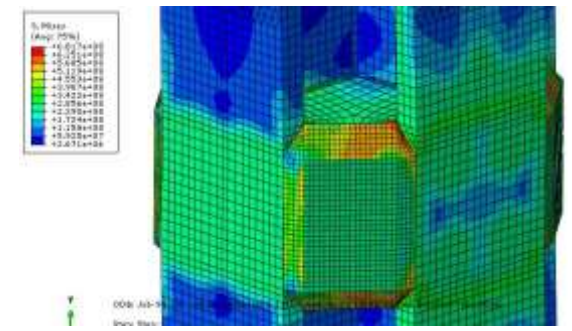
شکل ۱۷: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 3b.



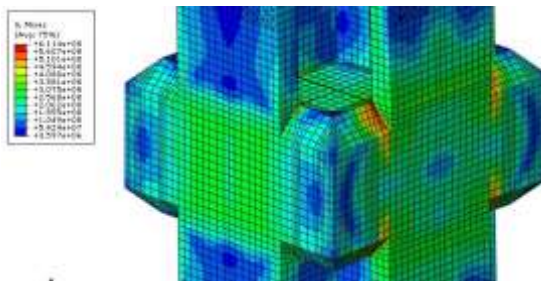
شکل ۱۶: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 3a.



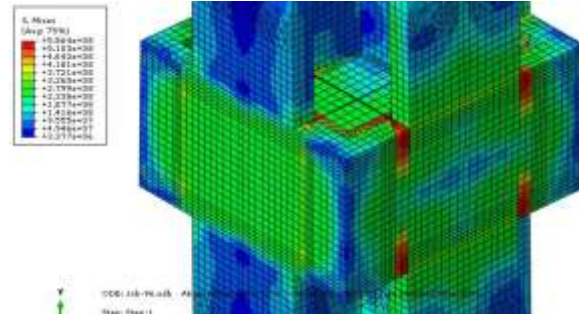
شکل ۱۹: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 3d.



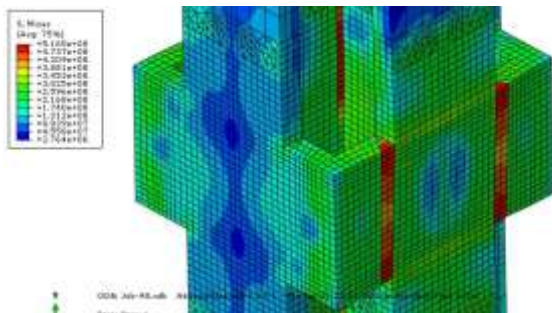
شکل ۱۸: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 3c.



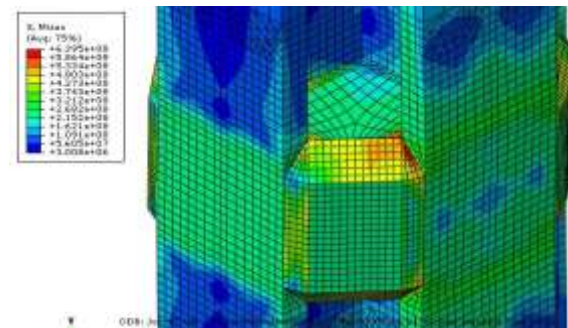
شکل ۲۱: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 4b.



شکل ۲۰: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 4a.

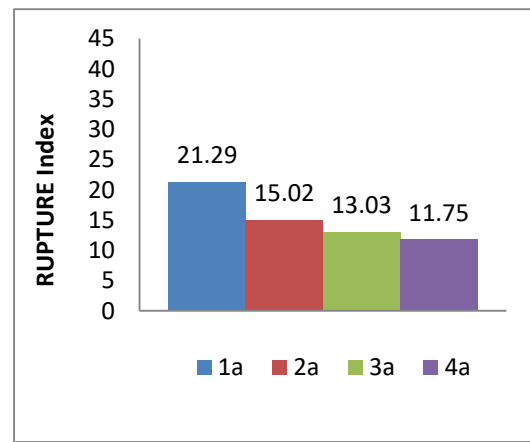
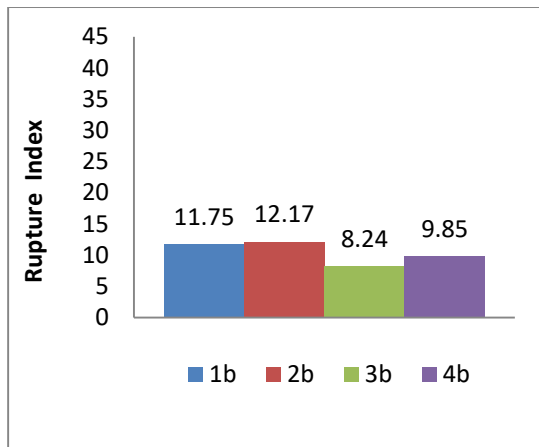


شکل ۲۳: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 4d.



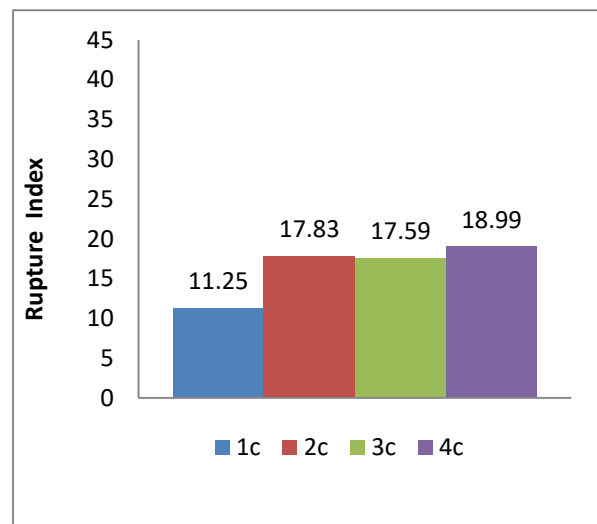
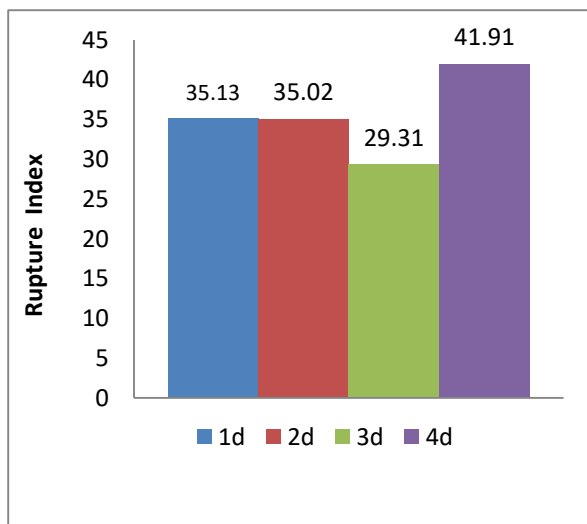
شکل ۲۲: کانتور تنش فون میسس در تحلیل عددی نمونه 4c.

بر این اساس بر روی این نقاط شاخص گسیختگی بدست آمده است. این شاخص‌ها در شکل های ۲۴ الی ۲۷ برای هر چهار گروه مطالعه شده ملاحظه می‌گردد.



شکل ۲۴: بیشترین احتمال گسیختگی در تحلیل های عددی گروه a. شکل ۲۵: بیشترین احتمال گسیختگی در تحلیل های عددی گروه b.

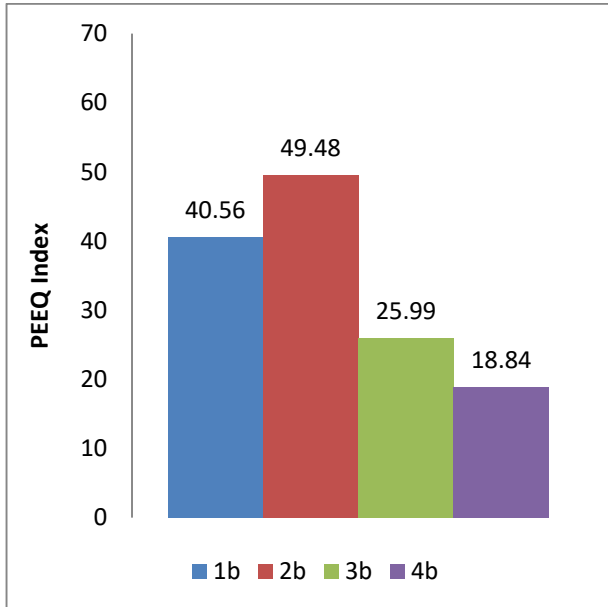
بیشترین احتمال گسیختگی در تحلیل های عددی



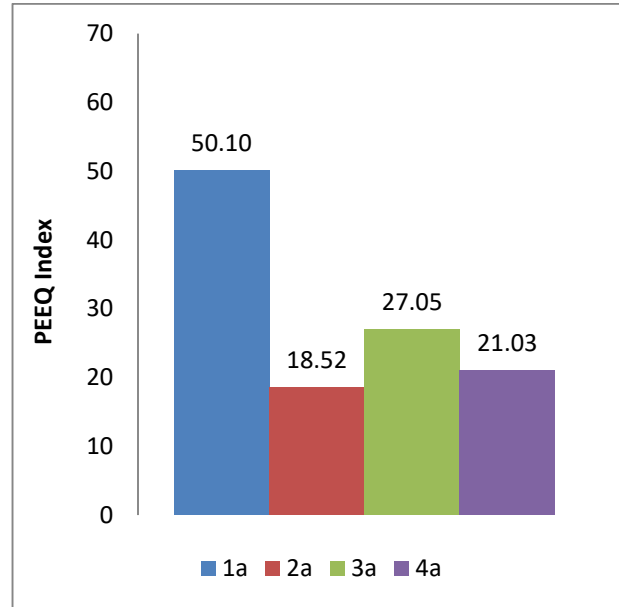
شکل ۲۶: بیشترین احتمال گسیختگی در تحلیل های عددی گروه c. شکل ۲۷: بیشترین احتمال گسیختگی در تحلیل های عددی گروه d.

نتایج تحلیل حاکی از آن است که در مدل های نبشی دار (گروه a و b)، به دلیل مساحت بیشتر ورق های پیوستگی، از احتمال گسیختگی در ناحیه چشمه اتصال مقطع کاسته شده است. در مدل با ورق های مایل (گروه c)، به دلیل هندسه چشمه اتصال از مساحت ورق پیوستگی کاسته شده است، با این حال سختی ورق های مایل باعث افزایش سختی چشمه اتصال در این گروه شده است و در نتیجه سبب بهبود شاخص شکست گردیده است. بیشینه مقدار شاخص خرابی در مدل های بدون ورق پیوستگی و با حضور نبشی ها به عنوان سخت کننده داخلی در ناحیه ی چشمه ی اتصال (گروه d)، مشاهده شده است. در این صورت به دلیل عدم پیوستگی جان های مقطع ستون صلیبی، فقط بخشی از مقطع در تحمل نیروهای وارده بر چشمه ی اتصال مشارکت داشته است. همچنین با بزرگ تر شدن سایز تیر و ستون و ضخامت ورق های پیوستگی وضعیت مدل های گروه a بهتر و گروه c بدتر و در گروه های d و b تقریباً تغییری نمی‌نماید. این به آن معناست که در

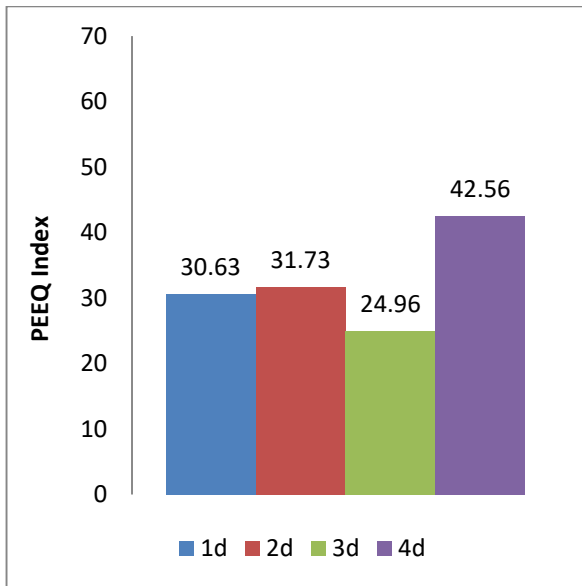
صورت استفاده از تیر و ستون با مقاطع سنگین تر جزئیات جوشکاری در مدل های a برتری دارد و مدل های c اعتبار کمتری را برای جزئیات تقویت دارا می‌باشند. در شکل های ۲۸ الی ۳۱ بیشترین تقاضای کرنش در جوش های بحرانی انواع اتصال ملاحظه می‌گردد.



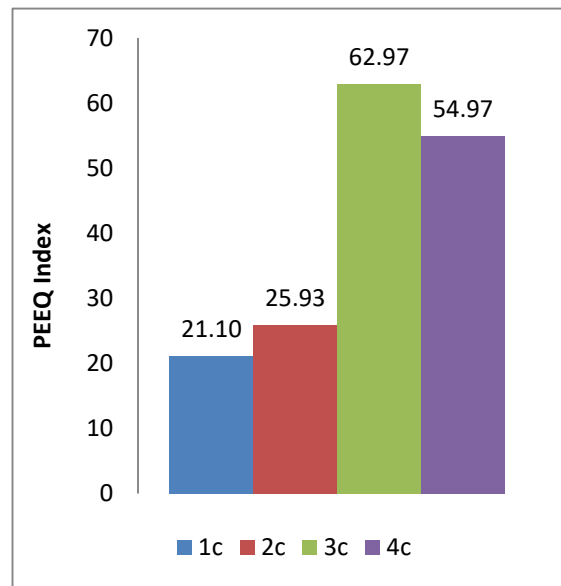
شکل ۲۹: بیشترین مقدار تقاضای کرنش پلاستیک گروه b.



شکل ۲۸: بیشترین مقدار تقاضای کرنش پلاستیک گروه a.



شکل ۳۱: بیشترین مقدار تقاضای کرنش پلاستیک گروه d.



شکل ۳۰: بیشترین مقدار تقاضای کرنش پلاستیک گروه c.

در مدل نبشی‌دار (گروه a)، کرنش معادل پلاستیک از مقدار ۵۰/۱۰ در ریشه جوش شیاری نبشی به بال ستون به مقدار ۱۸/۵۲ در مدل کاهش است. در مدل نبشی‌دار (گروه b)، از مقدار ۴۹/۴۸ در ریشه جوش شیاری نبشی به ورق پیوستگی و بال ستون تا مقدار ۱۸/۸۴ در مدل شماره ۴ کاهش یافته است. در مدل با ورق‌های مایل (گروه c)، کرنش معادل پلاستیک در ورق‌ها از مقدار ۶۲/۹۷ به مقدار ۲۱/۱۰ کاهش یافته است. به دلیل هندسه ورق‌های مایل، افزایش سختی در این ورق‌ها باعث افزایش کرنش فرا ارتجاعی نسبت به مدل‌های نبشی‌دار شده است. بیشینه مقدار کرنش فرا ارتجاعی در مدل‌های بدون ورق پیوستگی و با حضور نبشی‌ها (گروه d)، از مقدار ۲۵ تا مقدار ۴۳ مشاهده شده است. با جمع بندی کلی رفتار نمونه‌های گروه b و a و c به ترتیب بهترین هستند و نمونه گروه d رفتار نامطمئنی به نمایش می‌گذارد. در هر

دو گروه a و b در صورت استفاده از مقاطع سنگین وضعیت قابل قبولی وجود دارد و حتی شاخص شکست و تقاضای کرنش افت می‌کند. ولی در مدل‌های گروه c مقاطع سنگین‌تر وضعیت بحرانی‌تری پیدا می‌کنند.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

از آنجایی که در ادبیات فنی در مورد اتصالات گیردار ستون‌های صلیبی تحقیقات کمتری وجود دارد، چهار جزئیات جدید برای تقویت چشمه اتصال این اتصالات پیشنهاد شده است. این جزئیات به کمک یک مطالعه جامع عددی غیرخطی ارزیابی گردیده است. جزئیات پیشنهادی معرفی شده این مقاله شامل نبشی که در ناحیه‌ی چشمه‌ی اتصال به بالهای ستون با دو نوع روش جوش متصل شده است و ورق‌های مایل با ارتفاع چشمه اتصال است. در مطالعات مذکور جزئیات شکل پذیری و احتمال شکست ترد جوش‌های شیار با نفوذ کامل و مصالح فولادی در نقاط بحرانی مورد بررسی قرار گرفته است. به طور کلی از چهار روش سه روش ارائه شده مورد تایید است و رفتار مناسبی را در چشمه اتصال نشان داده است. ولی مدل‌های تقویت شده با نبشی رفتار بسیار مناسبتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارند. نتایج تحقیق عبارتند از:

- جزئیات پیشنهادی معرفی شده در گروه‌های a و b باعث افزایش سطح مقطع ورق‌های پیوستگی در ناحیه چشمه اتصال و در نتیجه بهبود رفتار لرزه‌ای چشمه اتصال و جوش‌های شیار با نفوذ کامل آن می‌شود.
- ورق‌های مایل گروه c، به دلیل سطح مقطع کمتر در مقایسه با نبشی‌ها، در انتقال نیروها و جذب انرژی‌های وارده به چشمه اتصال زودتر بسیج می‌شوند و تقاضای کرنش پلاستیک در جوش‌های شیار اتصال در مقایسه با نبشی‌ها مقادیر بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد.
- احتمال گسیختگی و مطابق با آن بیشترین احتمال شکست ترد در مدل‌های عددی مربوط به گروه d می‌شود که در آن‌ها ورق پیوستگی وجود ندارد. عدم حضور ورق‌های پیوستگی در گروه d باعث افزایش تنش سه محوره و افزایش شاخص گسیختگی می‌شود. به دلیل عدم پیوستگی در توزیع بار فقط بخشی از بال و جان مقطع در انتقال نیروهای برشی و لنگرهای خمشی وارده از تیر به داخل چشمه اتصال مشارکت دارد و از اینرو این هندسه کفایت لازم را برای بکارگیری در چشمه‌ی اتصال ستون‌های صلیبی نخواهد داشت.
- تقاضای کرنش پلاستیک در تمامی نمونه‌ها در بال ستون و در ریشه جوش شیار نبشی‌ها به بال بیشترین میزان را دارا می‌باشد.
- افزایش ابعاد تیر و ستون و ضخامت چشمه اتصال باعث افزایش تقاضای کرنش‌های پلاستیک، کاهش تنش‌های سه محوره و کاهش احتمال گسیختگی در نمونه‌های نبشی‌دار می‌شود.
- کاهش ضخامت ورق پیوستگی منجر به کاهش مقاومت چشمه‌ی اتصال می‌شود و در نتیجه توزیع بار در ورق‌های مایل و نبشی‌ها با تأخیر بیشتری بسیج می‌شوند. بدین دلیل استفاده از ورق پیوستگی با ضخامت حداقل برابر ضخامت بال تیر و بیشتر توصیه می‌شود.
- کمترین احتمال گسیختگی مربوط به گروه‌های a، b و c می‌باشد و هر سه روش پیشنهادی باعث افزایش سختی و عملکرد قابل قبول برشی چشمه اتصال می‌شود.
- عملکرد لرزه‌ای گروه b؛ به دلیل افزایش سطح مقطع ورق‌های پیوستگی و مطابق با آن افزایش سطح مقطع چشمه‌ی اتصال، هندسه جوش‌های شیار با نفوذ کامل، توزیع مناسب بار در این ناحیه و مشارکت کامل بال‌ها و جان‌های ستون صلیبی در ناحیه چشمه اتصال در انتقال نیروهای برشی و لنگرهای خمشی وارده از تیر به داخل چشمه اتصال به مقدار اندکی از بقیه‌ی گروه‌های پیشنهادی بهتر است.
- عملکرد لرزه‌ای در مدل‌های عددی گروه b بهتر از گروه a و در نهایت بهتر از گروه c می‌باشد ولی با توجه به احتمال گسیختگی تقریباً برابر در هر سه گروه، به ترتیب گروه b و a، عملکرد لرزه‌ای بهتری در مقابل بارهای اعمالی از خود نشان می‌دهد.

مراجع

- [1] Ricles, J. M., Fisher, J. W., Lu, L. W., & Kaufmann, E. J. (2002). Development of improved welded moment connections for earthquake-resistant design. *Journal of Constructional Steel Research*, 58(5), 565-604.
- [2] Tahir, M. M., Shek, P. N., Sulaiman, A., & Tan, C. S. (2009). Experimental investigation of short cruciform columns using universal beam sections. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1354-1364.
- [3] Shin, K. J., Kim, Y. J., & Oh, Y. S. (2008). Seismic behaviour of composite concrete-filled tube column-to-beam moment connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(1), 118-127.
- [4] Shin, K. J., Kim, Y. J., Oh, Y. S., & Moon, T. S. (2004). Behavior of welded CFT column to H-beam connections with external stiffeners. *Engineering Structures*, 26(13), 1877-1887.
- [5] Chen, C. C., Lin, C. C., & Tsai, C. L. (2004). Evaluation of reinforced connections between steel beams and box columns. *Engineering structures*, 26(13), 1889-1904.
- [6] Yang, C. M., & Kim, Y. M. (2007). Cyclic behavior of bolted and welded beam-to-column joints. *International journal of mechanical sciences*, 49(5), 635-649.
- [7] Kang, C. H., Shin, K. J., Oh, Y. S., & Moon, T. S. (2001). Hysteresis behavior of CFT column to H-beam connections with external T-stiffeners and penetrated elements. *Engineering Structures*, 23(9), 1194-1201.
- [8] Mao, C., Ricles, J., Lu, L. W., & Fisher, J. (2001). Effect of local details on ductility of welded moment connections. *Journal of Structural engineering*, 127(9), 1036-1044.
- [9] Ricles, J. M., Fisher, J. W., Lu, L. W., & Kaufmann, E. J. (2002). Development of improved welded moment connections for earthquake-resistant design. *Journal of Constructional Steel Research*, 58(5), 565-604.
- [10] Ricles, J. M., Mao, C., Lu, L. W., & Fisher, J. W. (2003). Ductile details for welded unreinforced moment connections subject to inelastic cyclic loading. *Engineering Structures*, 25(5), 667-680.
- [11] Ghobadi, M. S., Mazroi, A., & Ghassemieh, M. (2009). Cyclic response characteristics of retrofitted moment resisting connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(3), 586-598.
- [12] Nasrabadi, M. M., Torabian, S., & Mirghaderi, S. R. (2013). Panel zone modelling of Flanged Cruciform Columns: An analytical and numerical approach. *Engineering Structures*, 49, 491-507.
- [13] Mirghaderi, S. R., Torabian, S., & Imanpour, A. (2010). Seismic performance of the Accordion-Web RBS connection. *Journal of Constructional Steel Research*, 66(2), 277-288.
- [14] ABAQUS: *User's Manual: Version 6.1*. Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Incorporated, 2000.
- [15] El-Tawil, S., Mikesell, T., Vidarsson, E., & Kunnath, S. K. *Strength and Ductility of FR Welded-Bolted Connections*. SAC Joint Venture. 1998. Report No. SAC/BD-98/01
- [16] AISC 341-05 (2005). Seismic provisions for structural steel buildings. *American Institute of Steel Construction, Inc.*, Chicago, IL.
- [17] Hancock, J. W., & Mackenzie, A. C. (1976). On the mechanisms of ductile failure in high-strength steels subjected to multi-axial stress-states. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 24(2-3), 147-160.