

بررسی اثر صلبیت چشمه اتصال بر رفتار اتصال تیر با مقطع کاهش مقاومت خمشی یافته با جان لوله‌ای

ابوذر صالح

استادیار گروه عمران، واحد پروفسور حسابی، دانشگاه آزاد اسلامی، تفرش، ایران

ابوالفضل بالار

کارشناس ارشد سازه، واحد پروفسور حسابی، دانشگاه آزاد اسلامی، تفرش، ایران

امیرمهدی حیدری تفرشی*

مدرس گروه عمران، واحد پروفسور حسابی، دانشگاه آزاد اسلامی، تفرش، ایران

Am.heydari.t@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۹/۲۵

چکیده:

تنش‌های بزرگ متمرکز در ناحیه اتصال جوشی تیر به ستون در قابهای خمشی فولادی در تقاضاهای شکل‌پذیری زیاد به عنوان عاملی بحرانی در آسیب‌پذیری اتصال مطرح گردیده است. کاهش تمرکز تنش در اتصالات، میتواند با روش تضعیف عمدی مقطع تیر متصل به ستون صورت پذیرد. با روش مطرح شده، مفصل پلاستیک در مقطع ضعیف شده تشکیل می‌گردد و تقاضای وارده بر روی اجزاء اتصال شامل می‌یابد. در این مقاله اثر صلبیت چشمه بر رفتار اتصال تیر با مقطع کاهش مقاومت خمشی یافته با جان لوله‌ای بررسی گردیده است. هشت اتصال با ضخامت‌های جان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. اتصالات با استفاده از مدل‌سازی اجزای محدود تحت بارگذاری شبه استاتیکی تحلیل گردیده‌اند. در این تحقیق مشاهده می‌گردد که با افزایش ضخامت جان چشمه اتصال، افت مقاومت منحنی چرخه‌ای کاهش یافته و اتصال تغییر مکان نسبی بیشتری را تجربه می‌نماید. همچنین با افزایش ضخامت مقادیر تنش فون مایسز در چشمه اتصال کاهش یافته است. مقادیر تنش و جابجایی در جان لوله‌ای تیر در ضخامتهای بزرگتر بیشتر مشاهده گردید. خرابی ناحیه ستون و چشمه اتصال در اتصالات با افزایش ضخامت چشمه اتصال کاهش یافته است. کمترین میزان استهلاک انرژی مربوط به ضعیف‌ترین چشمه اتصال می‌باشد. با افزایش ضخامت چشمه اتصال میتوان انتظار استهلاک بیشتر انرژی از اتصال داشت. به طور کلی طبق نتایج بدست آمده از این تحقیق به کار بردن ضخامت کمتر از مقدار محاسبه شده در طراحی لرزه‌ای توصیه نمی‌شود.

۱- مقدمه

خرابی در اتصال تیر به ستون یکی از اتفاقات متداول تحت بارگذاری لرزه‌ای می‌باشد که می‌تواند منجر به از بین رفتن استحکام ساختمان و فروریختن طبقات شود. خرابی مذکور می‌تواند به دلیل کمناش بال و جان، تغییر شکل چشمه اتصال و یا شکست جوش در ناحیه اتصال تیر به ستون باشد. چنین گسیختگی‌هایی بر سختی، شکل‌پذیری و سطح عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی تاثیرگذار می‌باشد. پیش از وقوع زلزله نورتریج، با تصور اینکه اتصالات تیر به ستون با جوش کامل ظرفیت تغییرشکل بالایی دارند، در قاب‌های خمشی فولادی ویژه بصورت متداول مورد استفاده قرار می‌گرفتند. با مشاهده ی گسترش ترک‌های ترد در اتصالات تحت زلزله نورتریج، عملکرد اتصالات قاب‌های خمشی با چالش جدی مواجه گردید [۱]. عدم شکل‌پذیری کافی موجب بروز خرابی در اتصالات سازه‌های فولادی تحت اثر زلزله نورتریج گردیده بود. انگل هارت و هوسین جهت رفع این مشکل و بهبود عملکرد اتصال تیر به ستون دو ایده کلی تقویت اتصال و تضعیف تیر را پیشنهاد کردند [۲].

الف) تقویت اتصال: در این روش اتصال به نحوی تقویت می‌شود که محل مفصل پلاستیک از بر ستون دور شود. از جمله راهبردهای تقویتی می‌توان استفاده از ورق‌های روسری و زیرسری، تقویت با لچکی، تقویت با ماهیچه و تقویت با ورق‌های کناری و انتهایی را نام برد.

ب) تضعیف تیر: در این ایده مقطع تیر در فاصله‌ای از بر ستون به‌طور عمدی تضعیف می‌شود تا محل مفصل پلاستیک از بر ستون دور گردد. استفاده از اتصالات با مقطع تیر کاهش یافته (RBS) از جمله راهکارهای تضعیف عمدی تیر می‌باشد که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایده اولیه‌ی اتصال RBS توسط شرکتی اروپایی بنام ایردو و در سال ۱۹۹۲ به ثبت رسیده‌است. تحقیقات گسترده‌ای در رابطه با اتصال RBS صورت پذیرفته که این امر موجب گردیده که اتصال مذکور بعنوان یک اتصال شناخته شده مطرح گردد. پاچومیس و همکاران در سال ۲۰۱۰ رفتار چرخه‌ای اتصالات خمشی فولادی RBS بصورت عددی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق مذکور، با استفاده از مدل‌سازی آزمایشگاهی و عددی، تلاش گردیده است تا مقادیر مشخصات هندسی اتصال RBS ساخته شده توسط پروفیل‌های اروپایی پیشنهاد گردد [۳]. در سال ۲۰۰۲ با انجام تست‌های آزمایشگاهی توسط جونز و همکاران، اثرات رفتار ناحیه چشمه اتصال و همچنین اثر وجود دال بتنی مورد بررسی قرار گرفته‌است. بر اساس نتایج این تحقیق، وجود دال بتنی موجب افزایش حساسیت به کمناش جانبی بال تحتانی مقطع کاهش یافته می‌گردد [۴]. بر اساس گزارش تحقیقاتی منتشر گردیده در سال ۲۰۰۴ توسط ریکلز و همکاران، چشمه‌ی اتصال نقش مهمی در رفتار اتصالات RBS ایفا

می‌نماید [۵]. در سال ۲۰۰۲ بر اساس تحقیقی که توسط رودر انجام پذیرفته مشخص گردیده که گسترش تغییرشکل برشی ناحیه چشمه اتصال در اتصالات RBS می‌تواند موجب افزایش تقاضای شکل‌پذیری بر روی جوش اتصال بال ستون و سوراخ دسترسی جوش گردد [۶]. در سال ۲۰۰۵ بر اساس تحقیقات لی و همکاران بر روی ۸ مدل آزمایشگاهی تمام مقیاس^۲ مشخص گردیده است که چشمه‌ی اتصال قوی موجب می‌گردد که کل اتلاف انرژی در ناحیه‌ی کاهش یافته صورت‌پذیرد. این امر باعث می‌شود ناحیه‌ی مذکور دچار کمناش‌های موضعی و پیچشی جانبی قابل ملاحظه‌ای گردیده که می‌تواند منجر به پیچش ستون گردیده و اتصال را از تأمین شکل‌پذیری مورد نیاز باز دارد [۷].

در نشریه FEMA-350 نوع دیگری از اتصال کاهش یافته ارائه گردیده که کاهش تقاضای وجه ستون از طریق ایجاد سوراخ‌هایی دایروی در جان تیر و در نزدیکی اتصال فراهم گردیده‌است. سایز سوراخ ایجاد گردیده به اندازه‌ای است که جاری شدگی جان در طول دهانه اتفاق افتاده و ناحیه اتصال در محدوده ارتجاعی باقی می‌ماند [۸]. در سال ۲۰۰۹ توسط یانگ و همکاران، طرح ایجاد حفره دایروی شکل در مقطع جان مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیق مذکور بررسی عددی و آزمایشگاهی بر روی تیورق فولادی با سوراخ دایروی، با قطر سوراخ مختلف، صورت پذیرفته است [۹]. از سوی میرقادی و همکاران در سال ۲۰۱۰ تحقیقاتی بر روی اتصال خمشی تیر با مقطع کاهش یافته توسط جان موج‌دار صورت پذیرفته‌است. در تحقیق مذکور دو ورق L شکل بصورت متقارن نسبت به صفحه‌ی جان بعنوان ورق موج‌دار به جای جان حذف شده قرار داده شده و بصورت عددی و آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته‌است [۱۰]. در سال ۲۰۱۶ توسط صالح و همکاران اتصال با مقطع کاهش یافته توسط جان لوله‌ای شکل^۱ پیشنهاد گردیده‌است. در اتصال مذکور، یک لوله‌ی فولادی در مکان مورد انتظار جهت تشکیل مفصل پلاستیک جایگزین جان مقطع می‌گردد. در تحقیق مذکور، مطالعه‌ی آزمایشی و عددی بر روی اتصال با جان لوله‌ای انجام و نتیجه‌گیری شده که علاوه بر عملکرد فیوز مانند جان لوله‌ای، جابجایی نسبی طبقات نیز حدود ۶٪ بهبود یافته‌است. همچنین سختی خارج از صفحه و پایداری پیچشی-جانبی جان لوله‌ای نسبت به اتصالات RBS رایج، بهبود یافته‌است [۱۱]. در این مطالعه نمونه‌های با ضخامت‌های مختلف به منظور بررسی تاثیر ضخامت جان چشمه اتصال بر رفتار اتصال کاهش مقاومت خمشی یافته با جان لوله‌ای ارزیابی شده است.

۲- راستی آزمایشی مدل اجزای محدود

بر اساس مطالعات آزمایشگاهی انجام شده توسط صالح و همکاران [۱۱] راستی آزمایشی مدل عددی به روش اجزای محدود انجام شده‌است. مطالعه‌ی

³ Full Scale

⁴ Tubular Web RBS connection (TW-RBS)

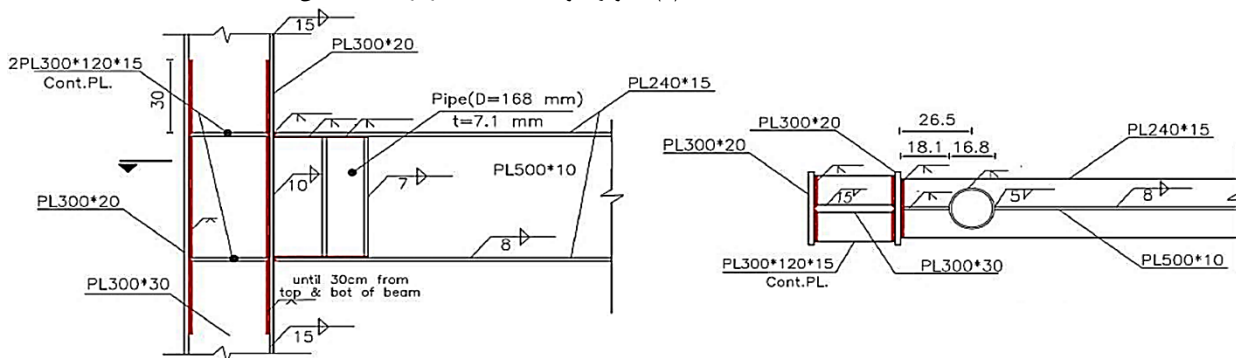
¹ Reduced Beam Section

² Ared

ورق با مقطع جان 500×10 میلیمتر و بال های 240×15 میلیمتر قرار گرفته است. جزئیات این نمونه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. خطوط

مذکور شامل یک ستون H شکل ساخته شده از ورق با مقطع جان 300×30 میلیمتر و بال های 300×20 میلیمتر می باشد. جان لوله ای به قطر $16/8$ میلیمتر و ضخامت $7/1$ میلیمتر در تیر ساخته شده از

قرمز رنگ محل جوش های نفوذی بکار رفته را نشان می دهد. در شکل (۲) تصویر نمونه ساخته شده در آزمایشگاه نشان داده شده است.



شکل ۱- جزئیات نمونه های آزمایشگاهی اتصال TW-RBS



شکل ۲- نمونه ساخته شده در آزمایشگاه و جزئیات آن

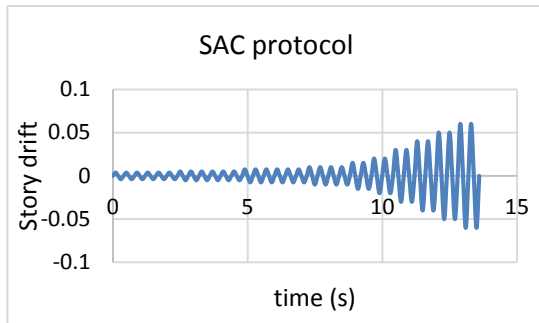
S235 انتخاب شده اند. به منظور تعیین مشخصات فولاد اجزاء نمونه، نمونه های کوپن استاندارد از ورق ها، جان و بال ستون، جان و بال تیر و لوله گرفته شده و تحت آزمایش کششی قرار گرفته است (استاندارد ASTM A370)، در جدول (۱) مشخصات اجزای نمونه های آزمایشگاهی ارائه شده است [۱۱].

ارتفاع ستون نمونه های آزمایشگاهی یعنی فاصله بین تکیه گاه مفصلی تحتانی تا تکیه گاه مفصلی فوقانی در محور جک بارگذاری برابر با ۲۰۰۰ میلیمتر می باشد. دهانه تیر یعنی فاصله میان تکیه گاه مفصلی در انتهای تیر تا آکس ستون برابر ۲۴۰۰ میلیمتر می باشد. تیرها، ستون ها و سایر اجزای اتصال در نمونه های آزمایشگاهی همگی از نوع فولاد (A36)

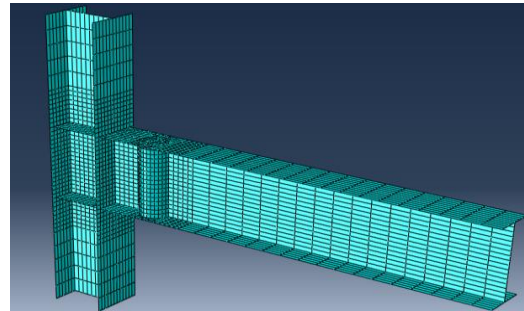
جدول ۱- مشخصات مصالح اجزای نمونه های آزمایشگاهی اتصال TW-RBS [۱۱]

عضو	قطر D (mm)	ضخامت t (mm)	تنش حدی تسلیم F_y (Mpa)	تنش حدی نهایی F_u (Mpa)	ازدیاد طول نسبی % (A50)
بال	-	۱۵	۲۷۳	۴۲۷	۴۰
جان	-	۱۲	۲۹۱	۴۳۵	۴۰/۵
تیر	-	۲۰	۲۶۱	۴۱۷	۴۴
بال ستون	-	۳۰	۲۵۶	۴۲۵	۴۴
جان ستون	-	۷/۱	۳۴۴	۴۹۱	۲۹
لوله	۱۶/۸	-	-	-	-

بمنظور راستی‌آزمایی، مدل SPI با ضخامت جان چشمه اتصال ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شده‌است. اجزاء اتصال براساس مشخصات ذکر شده در جدول (۱) در نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس [۱۲] مدل‌سازی شده‌است (شکل ۳). بارگذاری چرخه‌ای بصورت تغییرمکان بر انتهای ستون اعمال شده، پروتکل بارگذاری در شکل (۴) نشان داده شده‌است.

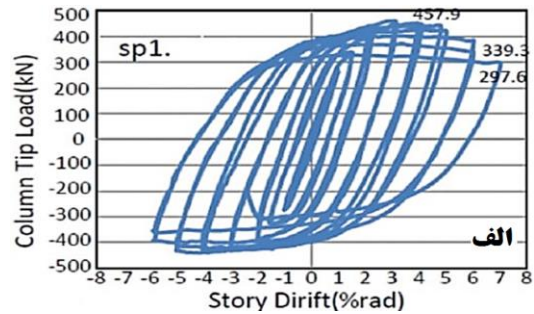
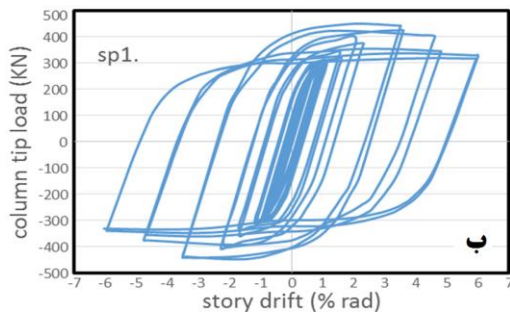


شکل ۴- پروتکل بارگذاری چرخه‌ای اعمال شده

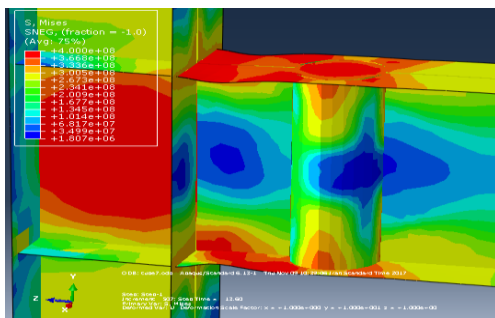


شکل ۳- اتصال مدل شده در نرم‌افزار آباکوس

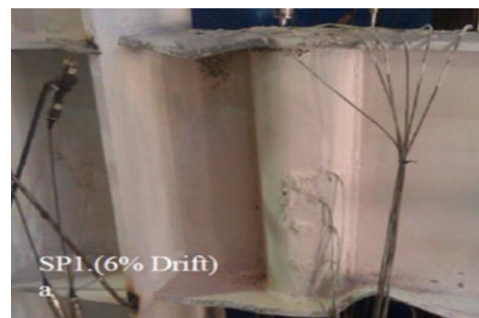
بمنظور بررسی راستی‌آزمایی مدل‌سازی اجزاء محدود، نمودارهای نیرو-زاویه تغییرمکان نسبی طبقه در دو حالت آزمایشگاهی و نرم‌افزاری (شکل ۵)، هندسه تغییر شکل یافته نمونه ساخته شده در آزمایشگاه و خروجی تنش فون-مایسز نرم‌افزار (شکل ۶) و همچنین مقایسه پوش نرمال شده کرنش



الف) منحنی استخراج گردیده از مدل آزمایشگاهی [۱۱] (ب) منحنی استخراج گردیده از نرم‌افزار آباکوس
شکل ۵: مقایسه منحنی نیرو - زاویه تغییرمکان نسبی طبقه

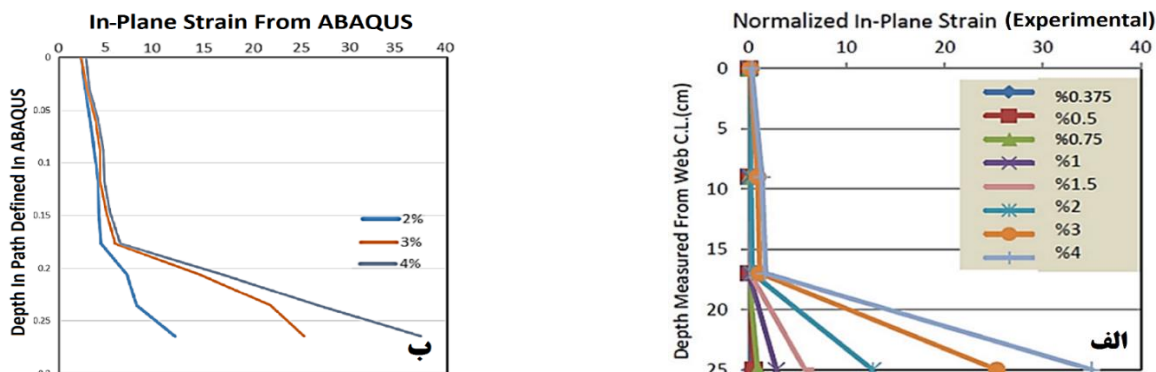


ب

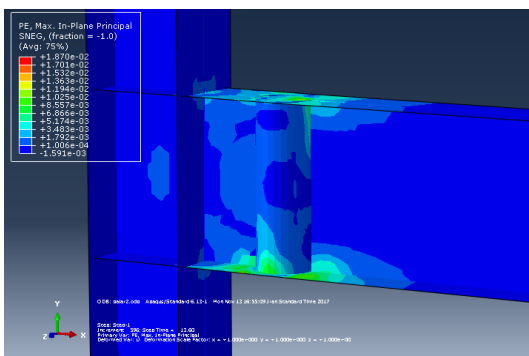


الف

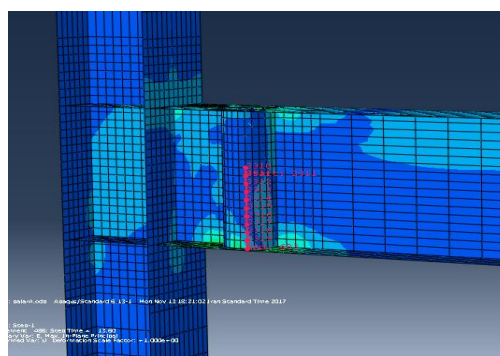
شکل ۶-هندسه تغییر شکل یافته نمونه آزمایشگاهی [۱۱] (شکل الف) و خروجی تنش فون مایسنز نرم افزار (شکل ب)



الف) منحنی استخراج گردیده از مدل آزمایشگاهی (ب) منحنی استخراج گردیده از نرم افزار آباکوس شکل ۷: پوش نرمال شده کرنش پلاستیک در فاصله‌های مختلف از محور اصلی جان لوله



شکل ۹- توزیع کرنش پلاستیک بوجود آمده در اتصال در جابجایی نسبی ۵ درصد



شکل ۸- مسیر تعریف شده بمنظور استخراج خروجی کرنش پلاستیک در راستای جان لوله

همانطور که پیش‌بینی می‌گردید مدل عددی دارای سختی بیشتری نسبت مدل آزمایشگاهی می‌باشد. این موضوع به دلیل قیدهای بیشتر مدل عددی است که در آزمایشگاه حصول این میزان گیرداری تا حدی غیر ممکن می‌باشد.

در جدول (۲) مقایسه‌ی کمی بین مدل آزمایشگاهی و عددی ارائه گردیده است. براساس نتایج بدست آمده، مدلسازی عددی از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد. میزان ممان حداکثر در مدل عددی بیشتر از آزمایشگاهی است و مدل عددی زودتر از آزمایشگاهی وارد ناحیه پلاستیک شده است.

جدول ۲- مقایسه مدل عددی و آزمایشگاهی

میزان کرنش حداکثر بال پایین در دیرپفتهای مختلف					سختی $\frac{KN \cdot m}{Rad}$	چرخش نهایی اتصال بر اساس معیار FEMA	حداکثر ممان وارد بر اتصال	نوع مدل
۴٪	۳٪	۲٪	۱٪					
34	25	11	7	25935	0.06	457.9	مدل آزمایشگاهی	
36	27	14	8.5	31206	0.06	468.1	مدل عددی	

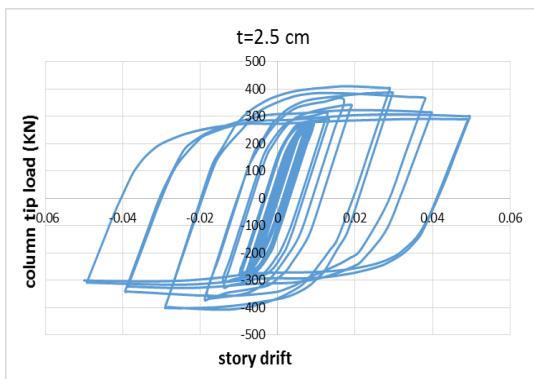
گرفته شده است. مشخصات و ابعاد در نظر گرفته شده برای مصالح معادل مقادیر ارائه گردیده در جدول ۱ می‌باشد.

۳-۱- منحنی چرخه‌ای نیرو - دوران

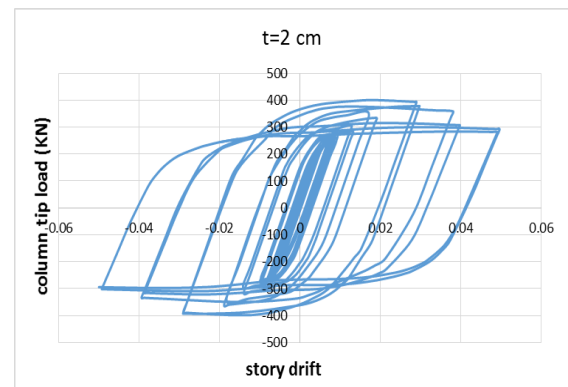
در این قسمت بررسی نمودارهای نیرو - تغییر مکان ارائه گردیده است. شکل منحنی‌های چرخه‌ای دارای حلقه‌های رشد کننده می‌باشد که این امر نشان‌دهنده عملکرد مناسب اتصال در اتلاف انرژی می‌باشد (شکل ۱۰ تا ۱۳). افزایش ضخامت چشمه اتصال منجر به کاهش ظرفیت استهلاک انرژی در بال تیر گردیده است که این امر موجب افزایش پایداری منحنی-های چرخه‌ای گردیده است (شکل ۱۲ و ۱۳).

۳- نتایج مدلسازی

در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر ضخامت جان چشمه اتصال بر رفتار اتصال، نمونه‌های مختلف با ضخامت‌های ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵، ۵ و ۶ سانتی‌متر ارزیابی شده است. در تمامی نمونه‌ها ابعاد و ضخامت سایر قسمت‌های اتصال ثابت و تنها ضخامت جان چشمه اتصال آن‌ها تغییر کرده است. اتصال، براساس ضخامت جان چشمه آن به سه دسته تقسیم شده است، ضخامت برابر با ۳ سانتی‌متر به عنوان ضخامت متعادل، ضخامت بیشتر از آن قوی (۳/۵، ۴، ۴/۵) و خیلی قوی (۵ و ۶) و ضخامت کمتر از آن ضعیف (۲ و ۲/۵) در نظر

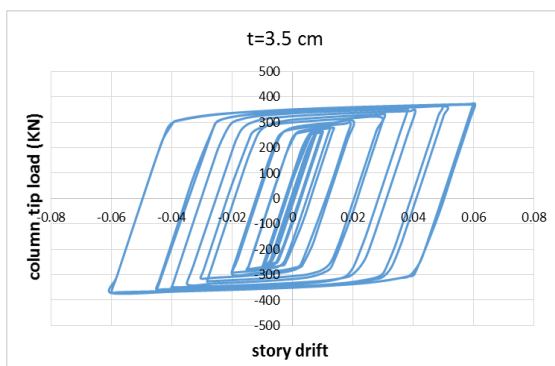


ب- چشمه اتصال با ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر

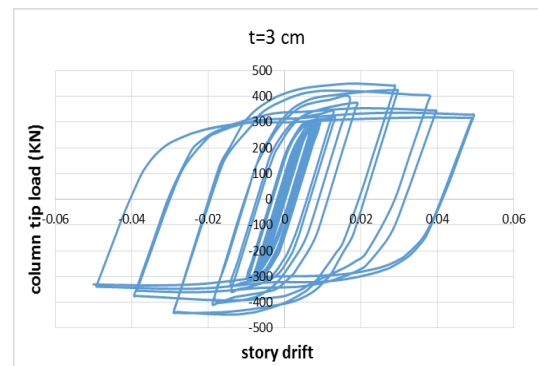


الف- چشمه اتصال با ضخامت ۲ سانتی‌متر

شکل ۱۰- نمودار نیرو - تغییر مکان نسبی طبقه برای ضخامت‌های ۲ و ۲/۵ سانتی‌متر جان چشمه اتصال

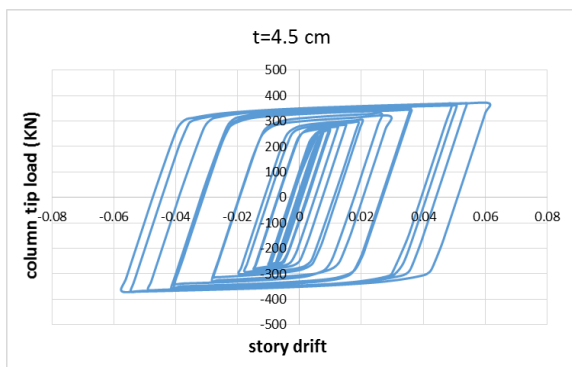


ب- چشمه اتصال با ضخامت ۳/۵ سانتی‌متر

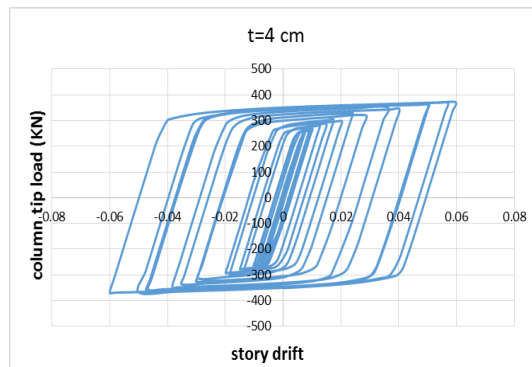


الف- چشمه اتصال با ضخامت ۳ سانتی‌متر

شکل ۱۱- نمودار نیرو - تغییر مکان نسبی طبقه برای ضخامت‌های ۳ و ۳/۵ سانتی‌متر جان چشمه اتصال

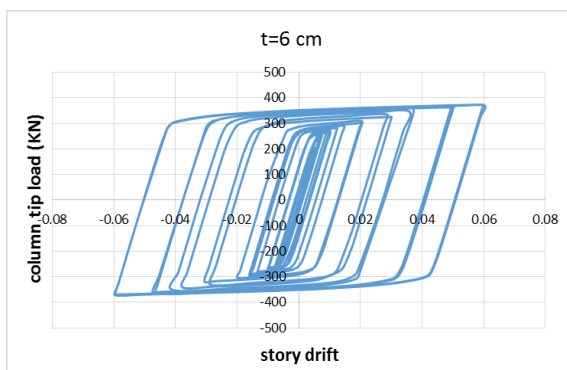


ب- چشمه اتصال با ضخامت ۴/۵ سانتی‌متر

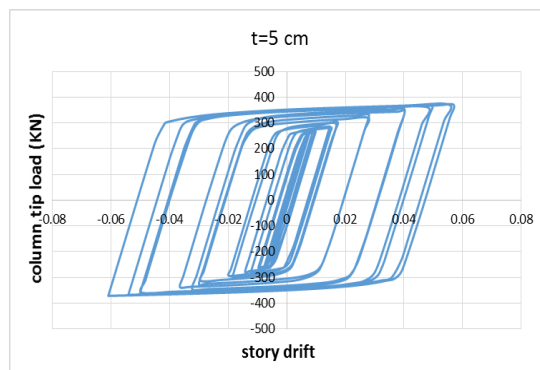


الف- چشمه اتصال با ضخامت ۴ سانتی‌متر

شکل ۱۲- نمودار نیرو- تغییر مکان نسبی طبقه برای ضخامت‌های ۴ و ۴/۵ سانتی‌متر جان چشمه اتصال



ب- چشمه اتصال با ضخامت ۶ سانتی‌متر

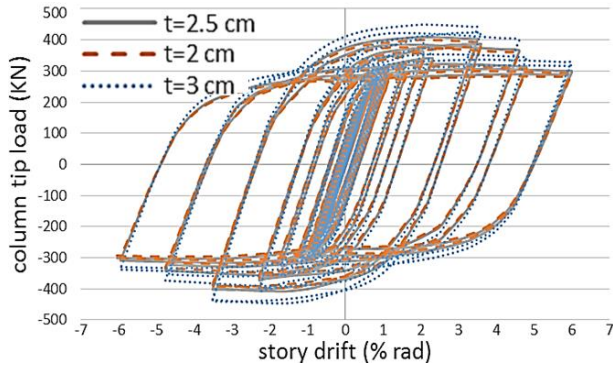


الف- چشمه اتصال با ضخامت ۵ سانتی‌متر

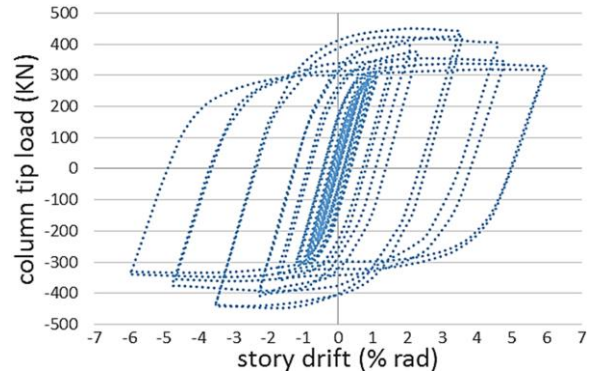
شکل ۱۳- نمودار نیرو- تغییر مکان نسبی طبقه برای ضخامت‌های ۵ و ۶ سانتی‌متر جان چشمه اتصال

تسلیم در بال تیر گردیده و مانع از رسیدن مصالح بال تیر به ناحیه سخت-شوندگی می‌شود.

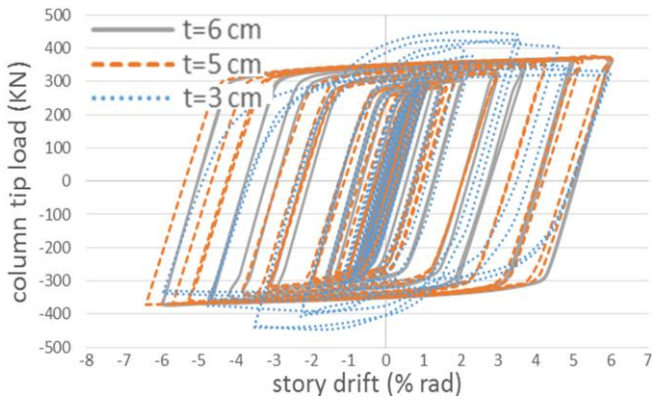
به منظور مقایسه بهتر نتایج تحلیلهای اتصال، ضخامتهای در نظر گرفته شده را در سه حوزه ضعیف (ضخامت ۲ و ۲/۵ سانتی‌متر)، قوی (ضخامت ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵ سانتی‌متر) و خیلی قوی (ضخامت ۵ و ۶ سانتی‌متر) تقسیم بندی کرده و شکل ۱۴ (نمودارهای الف تا ت) به منظور ارائه‌ی مقایسه‌ی حالات بیان گردیده با حالت متعادل ارائه شده‌است. افزایش ضخامت ورق منجر به افزایش پایداری منحنی چرخه‌ای و کاهش گسترش و پیشرفت



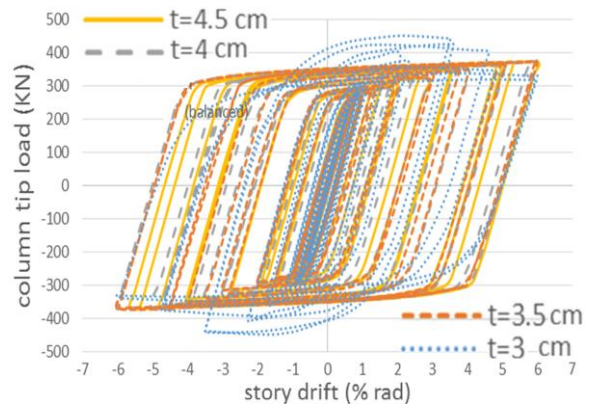
ب- چشمه اتصال ضعیف



الف- چشمه اتصال متعادل



ت- چشمه اتصال خیلی قوی



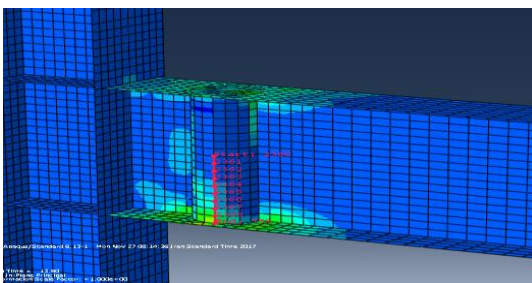
ب- چشمه اتصال قوی

شکل ۱۴- نمودار نیرو-تغییر مکان برای حالات مختلف چشمه اتصال و مقایسه با حالت متعادل

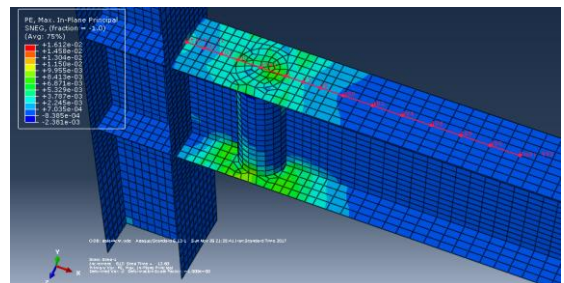
سمت تیر، در چند نقطه بصورت متناوب افزایش و کاهش در کرنش پلاستیک مشاهده می‌شود. محل وقوع حداکثر کرنش پلاستیک در بال تیر در نمونه‌ها تقریباً یکسان و در فاصله حدود ۳۸ سانتی‌متر از بر اتصال می‌باشد. هر اندازه ضخامت چشمه اتصال بیشتر می‌شود میزان کرنش‌های پلاستیک در داخل بال تیر کاهش می‌یابد. در تمامی مدل‌ها از میانه جان به سمت بال پایین تیر پارامتر کرنش پلاستیک در راستای جان لوله افزایش یافته است.

۳-۲- منحنی‌های کرنش پلاستیک

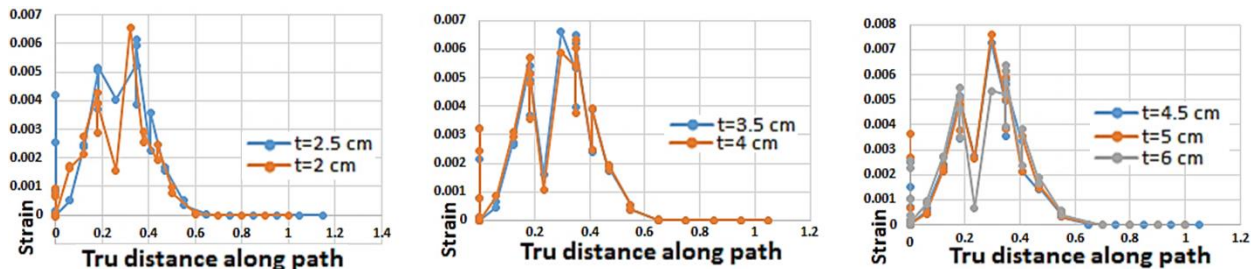
در نرم‌افزار بمنظور استخراج منحنی‌های کرنش پلاستیک در راستای بال تیر و جان لوله در شکل ۱۵ و ۱۶ نمایش داده شده است. منحنی‌های کرنش پلاستیک در راستای بال تیر در شکل ۱۷ و در راستای جان لوله در شکل ۱۸ برای ضخامت‌های مختلف جان چشمه اتصال ترسیم شده است. در این منحنی‌ها محور قائم کرنش پلاستیک و محور افقی فاصله نقاط تعریف شده از نقطه میناء (نقطه اولیه) می‌باشد. با فاصله‌گرفتن از بر اتصال به



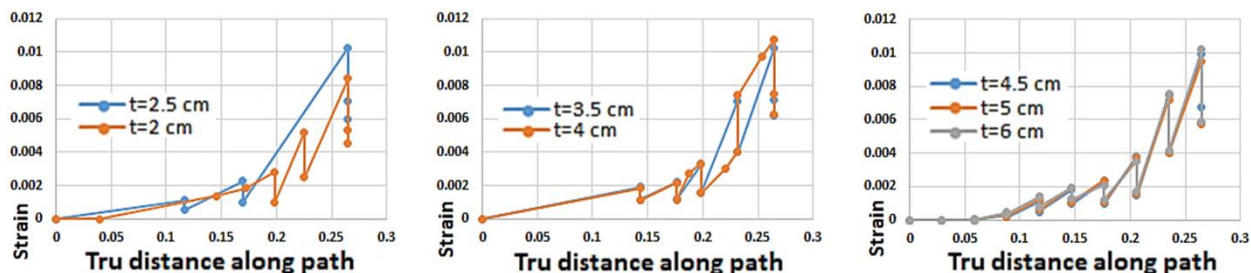
شکل ۱۶- مسیر تعریف شده در راستای جان لوله به طول ۲۵ سانتی‌متر



شکل ۱۵- مسیر تعریف شده در راستای بال تیر به طول ۱۰۰ سانتی‌متر



شکل ۱۷- کرنش پلاستیک در راستای بال تحت فشار در تغییر مکان نسبی ۲ درصد (محور افقی نرمال شده طول مسیر تعریف شده در راستای بال تیر می باشد)

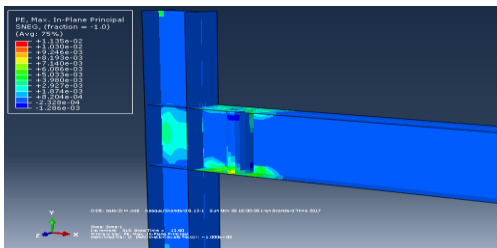


شکل ۱۸- کرنش پلاستیک در راستای جان لوله (محور افقی نرمال شده طول مسیر تعریف شده در راستای جان لوله می باشد)

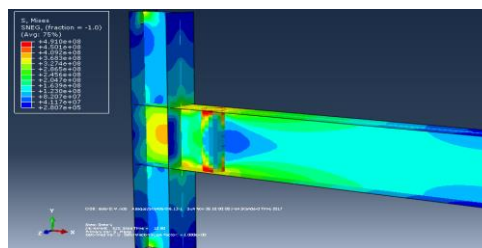
اتصال یکسان می باشد، اما توزیع آن ها متفاوت است. با افزایش ضخامت جان چشمه اتصال مقادیر تنش فون مایسز در چشمه اتصال کاهش یافته است. با افزایش ضخامت جان چشمه اتصال مقادیر کرنش پلاستیک در جان چشمه اتصال کاهش یافته است. توزیع کرنش پلاستیک نیز در جان لوله ای تیر دارای بیشترین مقدار است.

۳-۳- کانتور تنش و کرنش

در اشکال ۱۹ تا ۲۵ کانتور تنش فون مایسز و کانتور کرنش پلاستیک معادل اتصال برای ضخامت های مختلف جان چشمه اتصال نشان داده شده است. مشاهده می شود که میزان تنش در حالات مختلف ضخامت جان چشمه

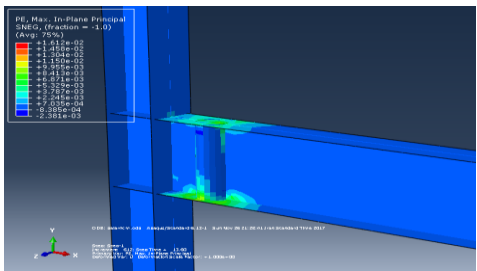


ب

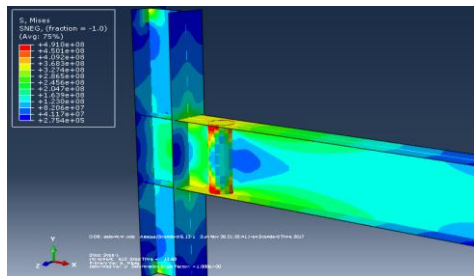


الف

شکل ۱۹- الف) کانتور تنش فون مایسز ب) کانتور کرنش پلاستیک، ضخامت جان چشمه اتصال ۲ سانتی متر

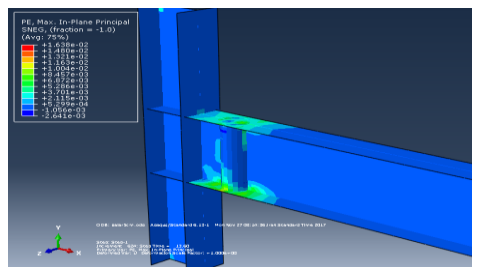


ب

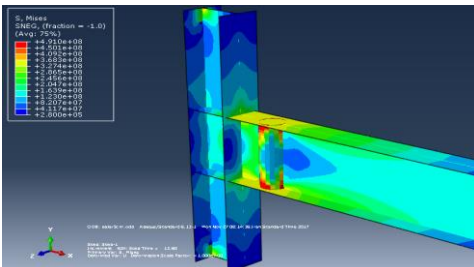


الف

شکل ۲۰- الف) کانتور تنش فون مایسز ب) کانتور کرنش پلاستیک، ضخامت جان چشمه اتصال ۲/۵ سانتی متر

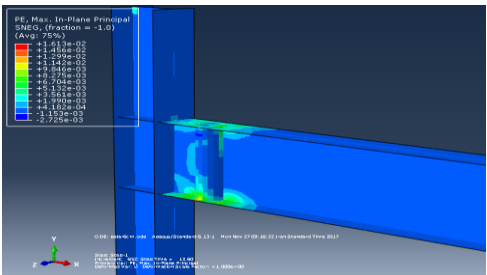


ب

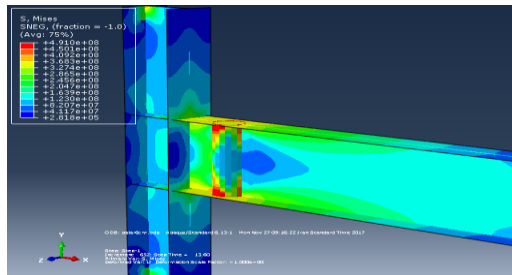


الف

شکل ۲۱- الف) کانتور تنش فون مایسز ب) کانتور کرنش پلاستیک، ضخامت جان چشمه اتصال ۳/۵ سانتی متر

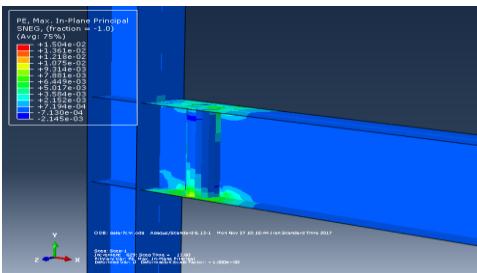


ب

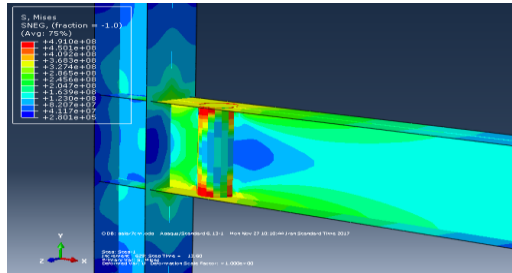


الف

شکل ۲۲- الف) کانتور تنش فون مایسز ب) کانتور کرنش پلاستیک، ضخامت جان چشمه اتصال ۴ سانتی متر

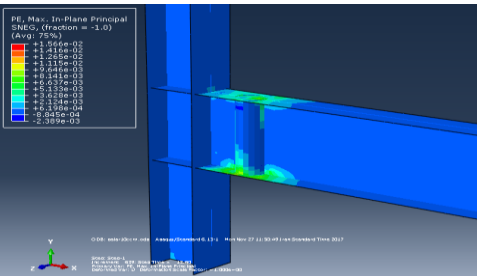


ب

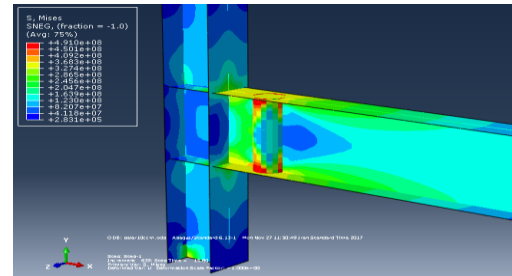


الف

شکل ۲۳- الف) کانتور تنش فون مایسز ب) کانتور کرنش پلاستیک، ضخامت جان چشمه اتصال ۴/۵ سانتی متر

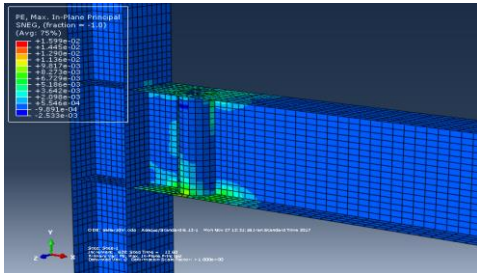


ب

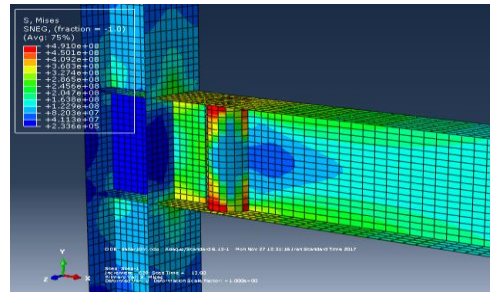


الف

شکل ۲۴- الف) کانتور تنش فون مایسز ب) کانتور کرنش پلاستیک، ضخامت جان چشمه اتصال ۵ سانتی متر



ب



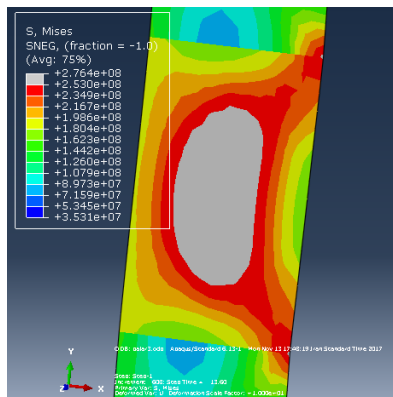
الف

شکل ۲۵- الف) کانتور تنش فون مایسز ب) کانتور کرنش پلاستیک، ضخامت جان چشمه اتصال ۶ سانتی متر

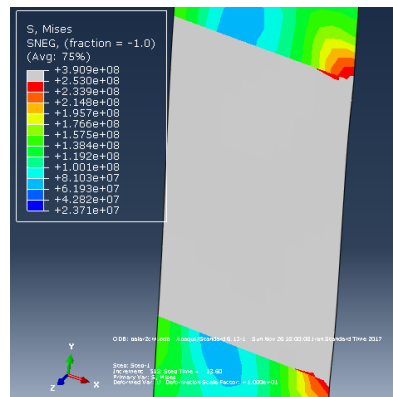
جابه‌جایی وسط چشمه اتصال صفر است. با افزایش ضخامت چشمه اتصال سختی آن نیز افزایش می‌یابد و هر اندازه ضخامت چشمه اتصال بیشتر باشد ناحیه کمتری از آن تسلیم می‌شود که این امر در کانتورهای مقیاس- شده تنش کاملاً مشهود است.

۳-۴- تنش مقیاس شده چشمه اتصال

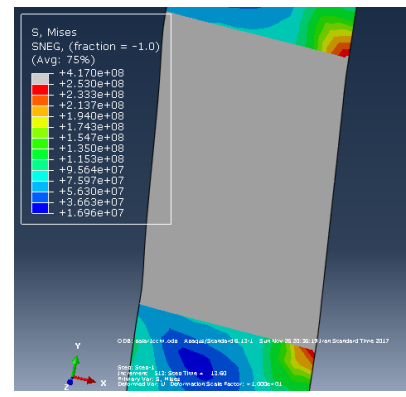
تنش مقیاس شده چشمه اتصال در ضخامت‌های مختلف جان در این قسمت ارائه گردیده است (اشکال ۲۶ و ۲۷). در کانتورهای مقیاس شده از حد مشخصی به بعد توزیع پارامتر مورد نظر به رنگ خاکستری نشان داده می‌شود. کانتورهای تنش نسبت به تنش تسلیم جان ستون، که معادل ۲۵۳ مگاپاسکال است، مقیاس شده‌اند. ابتدا و انتها چشمه اتصال بیشترین جابه‌جایی را دارد و با افزایش ضخامت جان چشمه اتصال جابه‌جایی‌های آن نیز افزایش یافته به گونه‌ای که جابه‌جایی قسمت‌های میانی چشمه اتصال نیز افزایش یافته است. این درحالیست که در تمامی حالات



پ



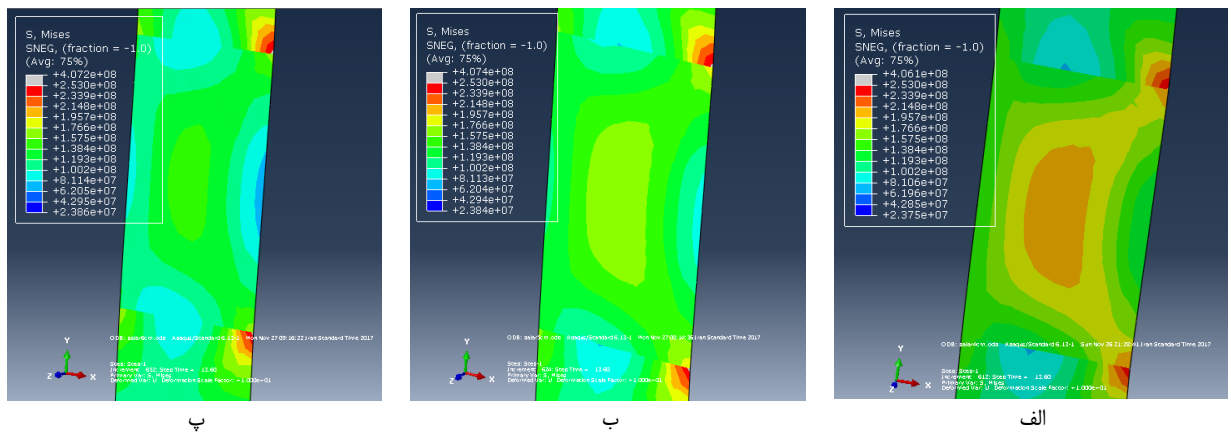
ب



الف

شکل ۲۶- تنش مقیاس شده در چشمه اتصال در حالت‌های ضخامت چشمه اتصال ۲، ۲/۵ و ۳/۵ سانتی متر

الف) ۳/۵ جان چشمه ۲ سانتی متر؛ ب) جان چشمه ۲/۵ سانتی متر؛ پ) جان چشمه ۳/۵ سانتی متر

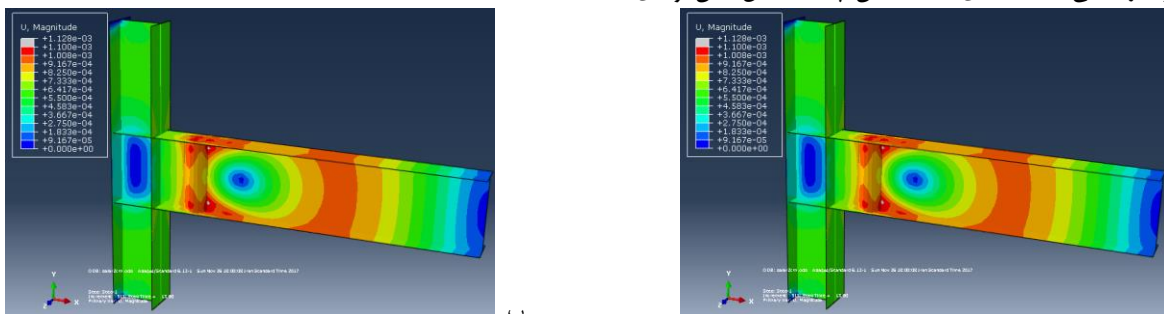


شکل ۲۷- تنش مقیاس شده در چشمه اتصال در حالت‌های ضخامت چشمه اتصال ۴، ۴/۵ و ۵ سانتی‌متر
 الف) ۳/۵ جان چشمه ۴ سانتی‌متر؛ ب) جان چشمه ۴/۵ سانتی‌متر؛ ب) جان چشمه ۵ سانتی‌متر

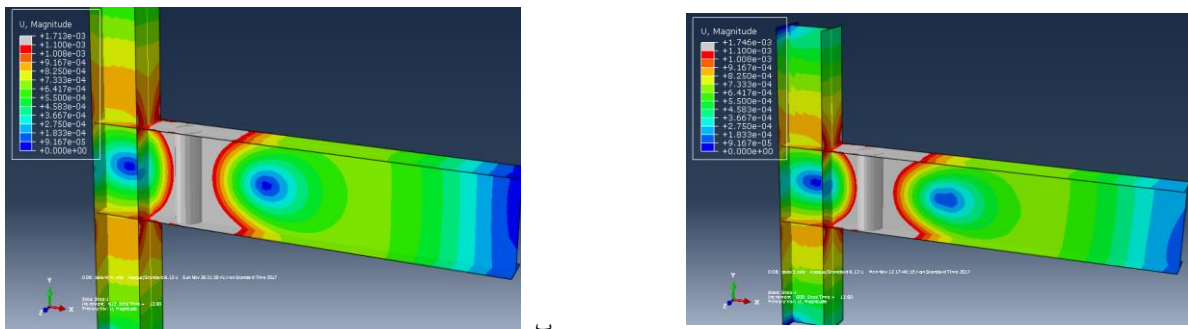
تیر بیشترین جابه‌جایی را دارد. برای مقیاس کانتور جابجایی عدد (۰/۰۱) متر و برای تنش عدد ۲۷۳ مگاپاسکال (تنش تسلیم بال تیر) در نظر گرفته شده‌است. همچنین در ادامه کانتورهای تنش مقیاس شده (نسبت به تنش عدد ۲۷۳ مگاپاسکال) در اشکال (۳۲) تا (۳۶) ارائه شده است.

۳-۵- کانتور جابجایی و تنش مقیاس شده

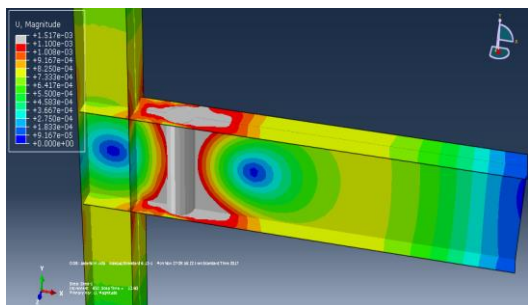
در این قسمت کانتور برآیند جابه‌جایی اتصال در ضخامت‌های مختلف جان چشمه اتصال ارائه شده‌است (اشکال ۲۸ تا ۳۱). همانطور که مشاهده می‌شود در تمامی ضخامت‌های مختلف جان چشمه اتصال، جان لوله‌ای



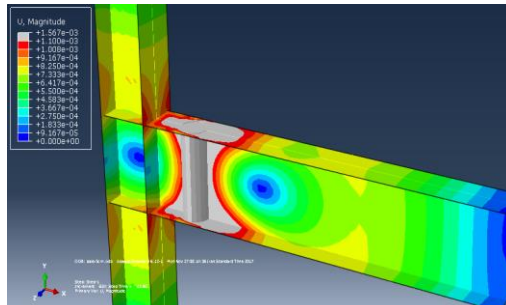
شکل ۲۸- کانتورهای جابجایی مقیاس شده در حالت‌های ضخامت جان چشمه اتصال مختلف؛
 الف) ضخامت ۲ سانتی‌متر؛ ب) ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر؛



شکل ۲۹- کانتورهای جابجایی مقیاس شده در حالت‌های ضخامت جان چشمه اتصال مختلف؛
 الف) ضخامت ۳ سانتی‌متر (متعادل)؛ ب) ضخامت ۳/۵ سانتی‌متر؛

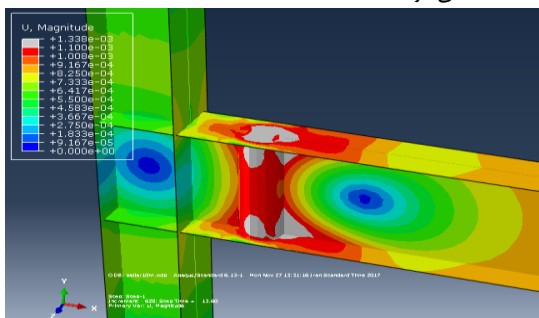


ب

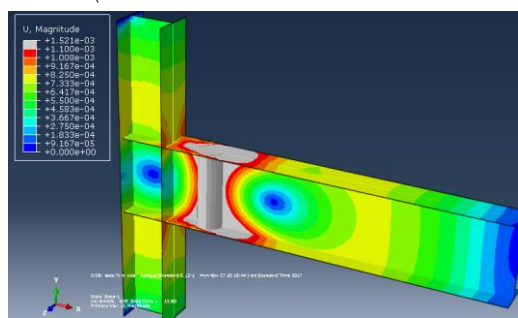


الف

شکل ۳۰- کانتورهای جایجایی مقیاس شده در حالت‌های ضخامت جان چشمه اتصال مختلف؛
الف) ضخامت ۴ سانتی‌متر؛ ب) ضخامت ۴/۵ سانتی‌متر؛

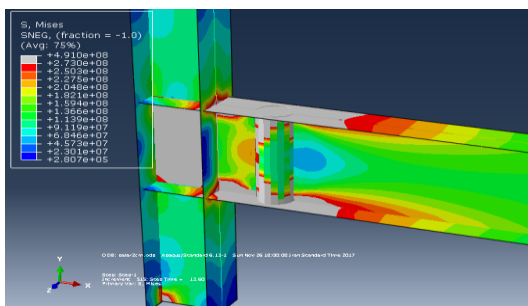


ب

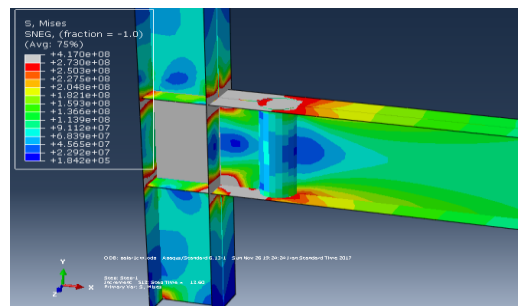


الف

شکل ۳۱- کانتورهای جایجایی مقیاس شده در حالت‌های ضخامت جان چشمه اتصال مختلف؛
الف) ضخامت ۵ سانتی‌متر؛ ب) ضخامت ۷ سانتی‌متر؛

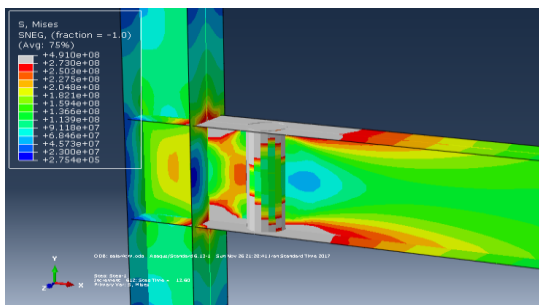


ب

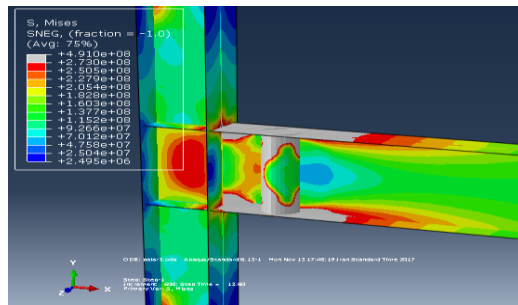


الف

شکل ۳۲- کانتورهای تنش مقیاس شده در حالت‌های ضخامت جان چشمه اتصال مختلف؛
الف) ضخامت ۲ سانتی‌متر؛ ب) ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر؛

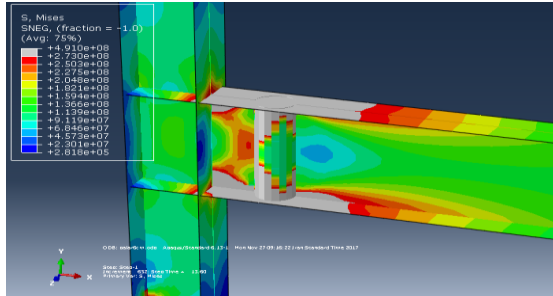


ب

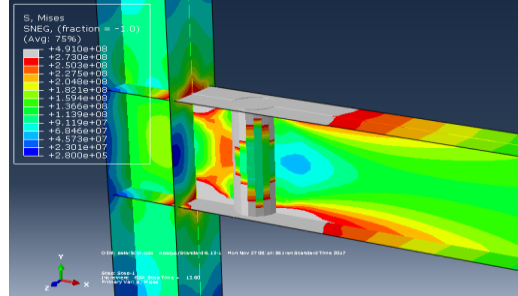


الف

شکل ۳۳- کانتورهای تنش مقیاس شده در حالت‌های ضخامت جان چشمه اتصال مختلف؛
الف) ضخامت ۳ سانتی‌متر؛ ب) ضخامت ۳/۵ سانتی‌متر؛

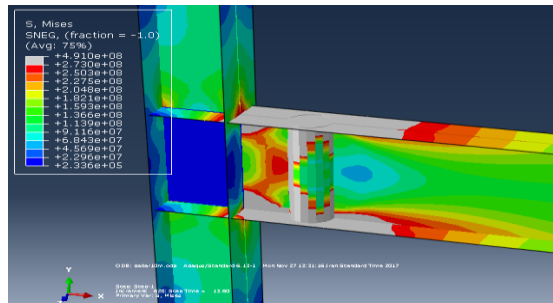


ب

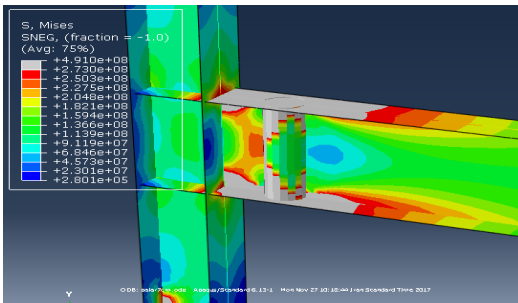


الف

شکل ۳۴- کانتورهای تنش مقیاس شده در حالت‌های ضخامت جان چشمه اتصال مختلف؛
 الف) ضخامت ۴ سانتی‌متر؛ ب) ضخامت ۴/۵ سانتی‌متر؛



ب



الف

شکل ۳۵- کانتورهای تنش مقیاس شده در حالت‌های ضخامت جان چشمه اتصال مختلف؛
 الف) ضخامت ۵ سانتی‌متر؛ ب) ضخامت ۷ سانتی‌متر؛

بیانگر سخت‌تر شدن اتصال است.

- افزایش ضخامت ورق منجر به افزایش پایداری منحنی چرخه‌ای و کاهش گسترش و پیشرفت تسلیم در بال تیر و در نتیجه موجب کاهش ظرفیت استهلاک انرژی در بال تیر به میزان حدود ۲۰ درصد گردیده و مانع از رسیدن مصالح بال تیر به ناحیه سخت‌شوندگی می‌شود.

- میزان تنش در حالات مختلف ضخامت جان چشمه اتصال یکسان می‌باشد درحالی‌که توزیع آن‌ها متفاوت است. با افزایش ضخامت جان چشمه اتصال مقادیر تنش فون مایسز در چشمه اتصال کاهش یافته است. مقادیر تنش در جان لوله‌ای تیر در حالات متعادل، قوی و خیلی قوی بیشتر از سایر قسمت‌ها می‌باشد.

همانطور که مشاهده می‌گردد در چشمه اتصال ضعیف(ضخامت ۲ سانتی‌متر) نزدیک به ۹۵ درصد مساحت چشمه اتصال تسلیم شده است. هر اندازه ضخامت آن زیاده‌تر می‌شود محل وقوع خرابی و تسلیم به ناحیه جان لوله‌ای نزدیک‌تر گردیده است. مرز بین حالت تسلیم چشمه اتصال و تسلیم تیر، ضخامت ۳ سانتی‌متر به عنوان چشمه اتصال متعادل می‌باشد که این امر در تحقیقات صالح و همکاران(مرجع ۱۱) نیز مد نظر قرار گرفته شده است.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق منحنی‌های چرخه‌ای نیرو-دوران، منحنی‌های کرنش پلاستیک، کانتور تنش فون مایسز و کرنش پلاستیک، کانتور جابه‌جایی و تغییر شکل چشمه اتصال برای اتصال کاهش مقاومت خمشی یافته با جان لوله‌ای در حالت ضخامتهای جان مختلف استخراج و مورد بحث و مقایسه قرار گرفته است. نتایج حاصله عبارت است از:

- شکل منحنی‌های چرخه‌ای دارای حلقه‌های رشد کننده می‌باشد، که این امر نشان دهنده عملکرد مناسب اتصال کاهش مقاومت

خمشی یافته با جان لوله‌ای در اتلاف انرژی می‌باشد. هم‌چنین با افزایش ضخامت جان چشمه اتصال چرخه هیستریزس آن منظم و پایدارتر شده و تغییرمکان نسبی بیشتری(به میزان حدود ۱۵ درصد) را تجربه کرده که

with opening in beam web. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(6), 1323-1336.

- [10] 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.
- [11] Saleh, A., Mirghaderi, S. R., & Zahrai, S. M. (2016). Cyclic testing of tubular web RBS connections in deep beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 117, 214-226.
- [12] ABAQUS/PRE, Users manual, Hibbit, Karlsson and Sorensen Inc., 1997.

منابع

- [1] Astaneh-Asl, A. (1996). -Post-earthquake stability of steel moment frames with damaged connections. In *Connections in Steel Structures III*(pp. 391-402).
- [2] Engelhardt, M. D., & Husain, A. S. (1993). Cyclic-loading performance of welded flange-bolted web connections. *Journal of Structural Engineering*, 119(12), 3537-3550.
- [3] Pachoumis, D. T., Galoussis, E. G., Kalfas, C. N., & Efthimiou, I. Z. (2010). Cyclic performance of steel moment-resisting connections with reduced beam sections—experimental analysis and finite element model simulation. *Engineering Structures*, 32(9), 2683-2692.
- [4] Jones, S. L., Fry, G. T., & Engelhardt, M. D. (2002). Experimental evaluation of cyclically loaded reduced beam section moment connections. *Journal of Structural Engineering*, 128(4), 441-451.
- [5] Ricles, J. M., Zhang, X., Lu, L. W., & Fisher, J. (2004). Development of seismic guidelines for deep-column steel moment connections. *Rep. No. 04, 13*.
- [6] Roeder, C. W. (2002). Connection performance for seismic design of steel moment frames. *Journal of Structural Engineering*, 128(4), 517-525.
- [7] Lee, C. H., Jeon, S. W., Kim, J. H., & Uang, C. M. (2005). Effects of panel zone strength and beam web connection method on seismic performance of reduced beam section steel moment connections. *Journal of Structural Engineering*, 131(12), 1854-1865.
- [8] Federal Emergency Management Agency, FEMA350 (1999). Seismic design criteria for new moment resisting steel frame construction. *Report No. FEMA350, January*.
- [9] Yang, Q., Li, B., & Yang, N. (2009). Aseismic behaviors of steel moment resisting frames

Investigating the Effect of Panel Zone Rigidity on Behavior of Tubular Web Reduced Beam Section Connections

Aboozar Saleh

Department of Civil Engineering, Tafresh Branch, Islamic Azad University, Tafresh, Iran
Abolfazl Balar

Department of Civil Engineering, Tafresh Branch, Islamic Azad University, Tafresh, Iran
Amir Mahdi Heydari Tafreshi

Department of Civil Engineering, Tafresh Branch, Islamic Azad University, Tafresh, Iran

Abstract:

Concentrated major stresses in area of beam-to-column welded connections of steel moment frames have been proposed in the high density demands as a critical factor in connection vulnerabilities. Reducing the stress concentration in the connections can be accomplished with the intentionally weakening of the cross section of the beam connected to the column. By this method, the plastic hing is formed in the weakened section and the demand is included on the connecting components. In this study, the effect of the panel rigidity on the behavior of the beam connection with the reduced bending strength section with the tube has been investigated. Eight connections of various thicknesses have been investigated. Connections are analyzed using finite element modeling under static loading. In this research, it is observed that with increasing the thickness of the web panel zone, the loss of the strength curve decreases and the connection experiences more drift. Also by increasing the thickness the von mises stress in the panel zone decreased. The values of stress and displacement were observed in the tube web in larger thicknesses are bigger. The failure of the column and the connection panel zone in the connections decreased with the increase of the connection panel zone thickness. The lowest energy dissipation is related to the weakest panel zone connection. By increasing the thickness of the panel zone connection, it would be expected that more energy would be lost from the connection. In general, according to the results obtained in this study, application of thickness less than the calculated value in seismic design is not recommended.

Keywords: Reduced Flextural strength Beam, tubular web RBS connections, Panel Zone, numerical study.