



بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال خمشی CONXL با جزئیات جدید تحت بارگذاری چرخه‌ای

*علیرضا رضاییان^۱، مجید جمال‌امیدی^۲، فرهود شهیدی امام‌جمعه^۳، فرهاد شهیدی امام‌جمعه^۴

چکیده

ستون‌های قوطی عضوهای سازه‌ای مناسبی برای سازه‌های با قاب‌های خمشی در دو راستا هستند، اما اجرای ورق پیوستگی در آنها مشکل‌های اجرایی زیادی از جمله عدم دسترسی به درون ستون و دشواریهای جوشکاری را بوجود می‌آورد. جزئیات پیشنهادی جدید برای کاهش این مشکل در ستون‌های قوطی، اتصال CONXL می‌باشد. هدف از ارائه این جزئیات، صنعتی‌سازی، حذف جوشکاری در محل، افزایش کیفیت ساخت و سادگی بازرسی می‌باشد. این اتصال، مجموعه‌ای از یقه‌های بال، یقه‌های گوشه‌ای و یقه‌جان می‌باشد که از طریق توزیع نیرو بین این المان‌ها، نیروهای بوجود آمده در اتصال را به ستون منتقل می‌نماید. در این مقاله به بررسی رفتار چرخه‌ای این نوع از اتصال به صورت عددی پرداخته شده است. برای این منظور در ابتدا برای تایید مدل‌سازی و آنالیز، نتایج دو مدل اجزاء محدود اتصال تیر با مقطع کاهش یافته و ورق انتهایی با بهره‌گیری از نرم افزار المان محدود Abaqus با نتایج آزمایشگاهی موجود مقایسه و تطابق مناسبی بین نمودار هیستریزیس و کرنش‌های پلاستیک آنها مشاهده گردید. در ادامه دو نمونه اتصال CONXL شامل تیر با مقطع کاهش یافته (RBS) و تیر معمول در ستون‌های قوطی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که، رفتار لرزه‌ای اتصال CONXL با RBS مناسب است و رفتار لرزه‌ای این اتصال برای تیر معمولی حتی در دوران‌های بالای ۰/۰۴ رادیان مطلوب بوده و ستون نیز بدون کمانش‌های قابل توجه تا انتهای بارگذاری باقی خواهد ماند.

کلمات کلیدی

اتصال خمشی CONXL، بارگذاری چرخه‌ای، RBS، ستون قوطی، یقه

*۱. عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، Alireza.Rezaeian@Kiau.ac.ir

۲. عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر، Jomidi@iust.ac.ir

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، Fr.Shahidi@gmail.com

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، Fr.Shahidi@yahoo.com



ستون‌های قوطی بعنوان بخشی از قابهای خمشی ویژه سازه‌های میان‌مرتبه و بلندمرتبه در مناطقی با خطر لرزه خیزی زیاد مانند اکثر کشورهای آمریکایی، آسیایی و ایران بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مقاطع توخالی اغلب بصورت مقاطع نورد شده مانند مقاطع HSS، RHS و... یا بصورت مقاطع جوش شده از ورق می‌باشند [۱].

سختی و مقاومت خمشی بزرگ حول هر یک از محورها سبب می‌شود که مقاطع قوطی در خمش و فشار تاثیر بیشتری نسبت به مقاطع بال پهن متداول، به عنوان اعضای تیر ستون داشته باشند. بعلاوه، دارا بودن سختی پیچشی جانبی زیاد بدون هرگونه رفتار قابل توجه مبتنی بر اعوجاج، نیاز به مهار جانبی برای ستون را کاهش داده و زوال مقاومت را که عموماً از دوران ستون بر اثر کمناش پیچشی جانبی اتصال آغاز می‌گردد کاهش می‌دهد [۲، ۳].

توانایی شکل پذیری و اتلاف انرژی زیاد به دلیل تاثیر پذیری کم از کمناش محلی و دارا بودن مقاومت پس کمناشی، سبب می‌شود که مقاطع قوطی اعضای مناسبی به عنوان ستون در قابهای خمشی مقاوم در برابر زلزله باشند. همچنین ستون‌های قوطی بیشترین استفاده از مصالح و کمترین هزینه برای رنگ کاری و نگهداری از سطوح را فراهم می‌نمایند [۲]. با وجود تمامی مزایای فوق، محدودیت‌هایی بعلاوه شکل بسته ستونهای قوطی نسبت به سایر مقاطع وجود دارد که از جمله‌ی آنها می‌توان به عدم دسترسی به درون ستونهای قوطی برای جوشکاری و اجرای ورق‌های پیوستگی و به دنبال آن دشواریهای بازرسی جوش و افزایش هزینه ساخت را اشاره نمود، همچنین وجود دو جان موازی در ستونهای قوطی سبب رفتار متفاوت تری نسبت به سایر ستونهای بال پهن میگردد [۳]، همین عوامل سبب شده تا امروزه تحقیقات گسترده‌ای در سراسر دنیا در زمینه ارائه شکل مناسب و بررسی رفتار اتصالات ستونهای قوطی برای ایجاد راهکاری مناسب برای کاهش هزینه اجرا و توزیع بهتر نیروهای ایجاد شده در اتصال و انتقال آن به ستون انجام

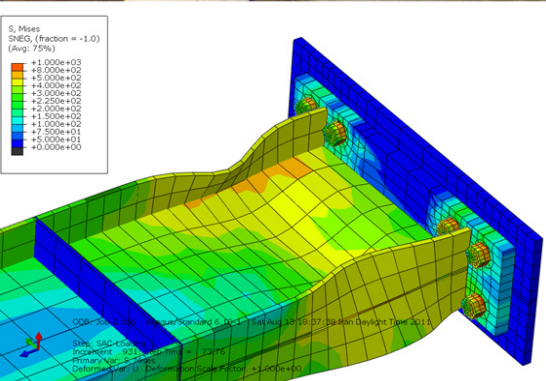
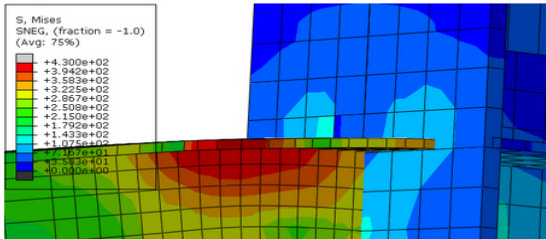
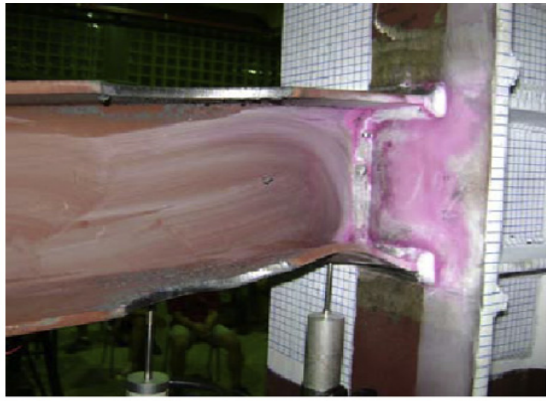
گیرد. در این زمینه افراد زیادی به تحقیق پرداخته‌اند. و طرحهای زیادی نیز ارائه شد، یکی از این اتصالات جدید که در آیین‌نامه فولاد آمریکا به عنوان اتصال از پیش تعریف شده، پذیرفته شد اتصال ConXL می‌باشد. این اتصال برای اولین بار توسط Robert J. Simmons ارائه شد، هدف از ارائه این اتصال صنعتی‌سازی و حذف هرگونه جوشکاری در کارگاه و افزایش ایمنی کار و سادگی و سرعت اجرا در سازه‌های بلند مرتبه در ستون‌های قوطی بود. این اتصال براساس تئوری Simmons ارائه گردید، که اجرای آن در کارگاه را به راحتی کشیدن و رها کردن اتصال در محل یقه‌ها ساده می‌نماید [۴]. این مقاله بطور عددی به بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال خمشی ConXL می‌پردازد.

برای این منظور پس از صحت‌سنجی نتایج مدلسازی عددی اتصال RBS و اتصال ورق انتهایی پیچ شده با نمونه‌های آزمایشگاهی انجام شده توسط دیگر محققان، دو نمونه اتصال ConXL، با تیر RBS و اتصال با تیر بدون برش RBS که در همه آنها ستون فاقد بتن پرکننده داخلی است مدل، و تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفتند. سپس نمودارهای نیرو- تغییر مکان و لنگر- دوران نمونه‌ها ترسیم و نتایج نشان داد که عملکرد لرزه‌ای هردو نمونه خوب بوده و دوران‌های بالای ۰/۰۵ رادیان را نیز به خوبی و بدون کمناش‌های قابل توجه ستون تحمل می‌نمایند.

۲- صحت‌سنجی مدلسازی

از آنجا اتصال ConXL جدید بوده و اطلاعاتی در خصوص نتایج آزمایشگاهی آن وجود نداشت، برای صحت‌سنجی مدلسازی دو نمونه آزمایشگاهی از اتصالات فولادی انجام شده توسط D.T. Pachoumis و همکاران (اتصال RBS) در سال ۲۰۱۰ [۷]، و اتصال ورق انتهایی پیچی، انجام شده توسط Sumner و همکاران در سال ۲۰۰۰ [۸] برای صحت‌سنجی اندرکنشها و عملکرد پیچ‌های پیش‌تنیده، تحت بارگذاری چرخه‌ای ارزیابی شدند.



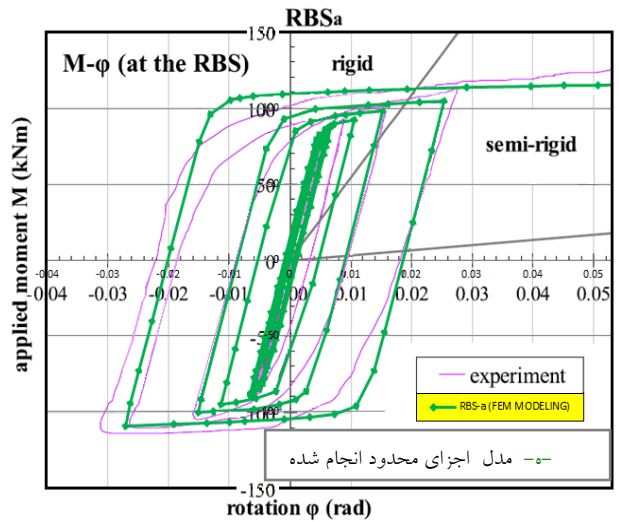


شکل (۴): مقایسه تغییر شکل های اتصال ورق

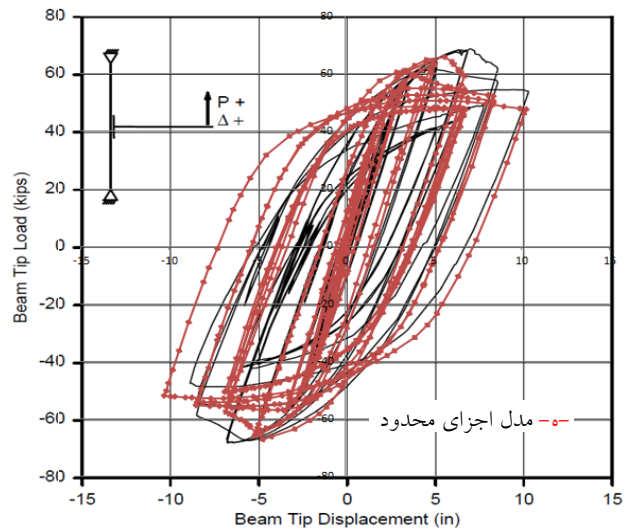
انتهایی 4E-1.25-1.5-24 در نمونه مرجع [۸] با

نمونه اجزای محدود

دارای چشمه اتصال قوی بود فقط بال ستون با تنش تسلیم ۳۵۸ Mpa و تنش نهایی ۴۸۷ Mpa مدل گردید. همچنین علاوه بر بال ستون، برای انتهایی با تنش تسلیم ۲۶۳ Mpa و تنش نهایی ۴۷۴ Mpa و میله پیچ و سر پیچ با تنش



شکل (۱): نمودار لنگر دوران اتصال RBS [۷]

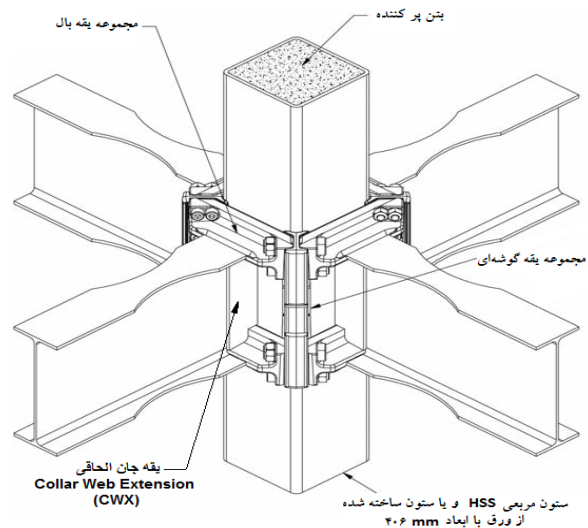


شکل (۲): نمودار لنگر دوران اتصال ورق انتهایی [۸]

مدلسازی‌ها با استفاده از نرم افزار Abaqus انجام شد. برای مدلسازی اتصال RBS، در تمام تیر و ستون از المان Shell چهار گره‌ای با انتگرال کاهش یافته، S4R، استفاده گردید، شکل (۳). تنش تسلیم تمام قطعات برابر ۳۱۰ Mpa و تنش نهایی برابر ۴۳۰ Mpa و مدول الاستیسیته برابر ۲۰۹ Gpa در نظر گرفته شد.

در مدلسازی اتصال ورق انتهایی، شکل (۴)، برای تیر از المان Shell چهار گره‌ای با انتگرال کاهش یافته، S4R، و تنش تسلیم ۳۶۹ Mpa و تنش نهایی ۴۸۷ Mpa برای بال تیر، و تنش تسلیم ۴۱۲ Mpa و تنش نهایی ۵۱۱ Mpa برای جان تیر، استفاده گردید. با توجه به این که ستون

نمودار هیستریزیس و تغییر شکل‌های هر یک از مدل‌های اجزای محدود همراه با نمونه‌های مرجع در شکل‌های (۱) تا (۴) نشان داده شده است. همانطور که نشان داده شده تطابق خوبی در تغییر شکل‌ها و نمودار هیستریزیس هر دو نمونه عددی اتصالات RBS و ورق انتهایی، با نتایج آزمایشگاهی مشاهده می‌شود. بطوری که حداکثر میزان خطا در اتصال RBS، حدود ۱٪ و در اتصال ورق انتهایی حدود ۴٪ است، که نشان دهنده صحت مدل‌سازی می‌باشد.



شکل (۵): نمای کلی اتصال ConXL، [۵]

۳- بررسی نمونه‌های عددی اتصال ConXL

۳-۱ پیکربندی و مکانیزم انتقال نیرو در اتصال ConXL
 اتصال خمشی ConXL، در شکل (۵) نشان داده شده است. این اتصال شامل مجموعه‌ای از یقه‌های بال بالایی، CFT^۱، یقه‌های بال پایینی، CFB^۲، یقه‌های گوشه‌ای بالایی، CCT^۳، یقه‌های گوشه‌ای پایینی، CCB^۴، یقه‌های گوشه‌ای میانی، CCM^۵ (در صورتی که عمق تیرها از ۴۶۰mm بیشتر باشد)، یقه جان الحاقی (فقط در وجه اتصال تیر به ستون)، CWX^۶، (شکل ۶) و مجموعه‌ای از پیچ‌های پر مقاومت پیش‌تنیده مورب (با زاویه ۴۵ درجه) می‌باشد، که مجموعاً گره ConXL را تشکیل می‌دهند. پیچ‌های پیش‌تنیده سبب

نهایی ۱۰۵۰ Mpa از المان Solid هشت گره‌ای با انتگرال کاهش یافته، C3D8R، استفاده شد [۹]. برای اعمال تنش تماسی از گزینه Surface To Surface با در نظر گرفتن اثر تماس سخت^۱ برای سطوح پیچ و سوراخ پیچ و تماس ورق انتهایی و بال ستون استفاده گردید. ضریب اصطکاک کولمب برابر ۰/۳ در نظر گرفته شد. میزان نیروی پیش‌تنیدگی نیز برابر حداقل مقدار ذکر شده در مرجع [۸] بر پیچ‌ها اعمال گردید. برای ابعاد و سایر مشخصات نمونه‌ها از مراجع [۷] و [۸] استفاده شد. سپس هر دو نمونه تحت بارگذاری چرخه‌ای مطابق مراجع [۷، ۸] قرار گرفتند،

جدول (۱): هندسه و خصوصیات مصالح نمونه‌های مورد بررسی

نوع مقطع	ضخامت جان t_w (mm)	ضخامت بال t_f (mm)	پهنای بال (mm) b	ارتفاع جان h (mm)	طول قطعه L (mm)	خصوصیات مصالح
ستون - BOX 406x406x12.5	۱۲/۵	۱۲/۵	۴۰۶	۴۰۶	۳۰۰۰	ASTM A36; $F_y=280$ Mpa, $F_u=480$ Mpa
تیر - W24x68	۱۰/۵۴	۱۴/۸۶	۲۲۷/۸۴	۶۰۲	۳۵۰۰	ASTM A36; $F_y=280$ Mpa, $F_u=480$ Mpa
مجموعه سیستم یقه (Collar Systems)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح قطعات یقه بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC 358S1-11 [۵] مدل گردید.					ASTM A572 Gr50; $F_y=390$ Mpa, $F_u=510$ Mpa
سخت کننده‌های تیر اتصال ConXL-NR	۱۰	-	-	۵۷۲/۲۸	۱۰۸/۷	ASTM A36; $F_y=280$ Mpa, $F_u=480$ Mpa
پیچ‌های $\frac{1}{4}$ اینچ (قطر ۳۲mm)	-	-	-	-	۱۲۰	ASTM A574; $F_y=1050$ Mpa, $F_u=1150$ Mpa

1- Hard Contact
2- Collar Flange Top

3- Collar Flange Bottom
4- Collar Corner Top

5- Collar Corner Bottom
6- Collar Corner Middle

7- Collar Web Extension



کننده یقه‌های گوشه‌ای به ستون می‌باشد، انتقال می‌یابد. همچنین در صورت وجود بتن پرکننده داخلی در ستون قسمتی از این نیروها به بتن پرکننده که در تماس با جداره‌های ستون است منتقل می‌شود [۵]، شکل‌های (۵) و (۶).

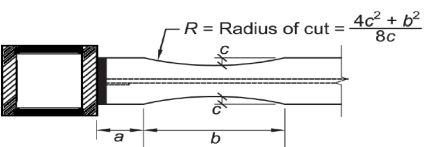
۳-۲ خصوصیات مصالح نمونه‌های مورد بررسی

خصوصیات مصالح تیرها و ستون‌ها بر اساس استاندارد ASTM A36، با تنش تسلیم ۲۸۰ Mpa و تنش نهایی ۴۸۰ Mpa و خصوصیات مصالح مجموعه یقه بر اساس استاندارد ASTM A572 Gr50، با تنش تسلیم ۳۹۰ Mpa و تنش نهایی ۵۱۰ Mpa در نظر گرفته شد.

پیچ‌ها بر اساس استاندارد ASTM A574 از نوع پیچ‌های پرمقاومت با تنش تسلیم ۱۰۵۰ Mpa و مقاومت نهایی ۱۱۵۰ Mpa در کرنش نظیر ۰/۲ فرض شدند. مدول الاستیسیته در تمامی نمونه‌ها و مصالح برابر ۲۱۰ Gpa در نظر گرفته شد، جدول (۱).

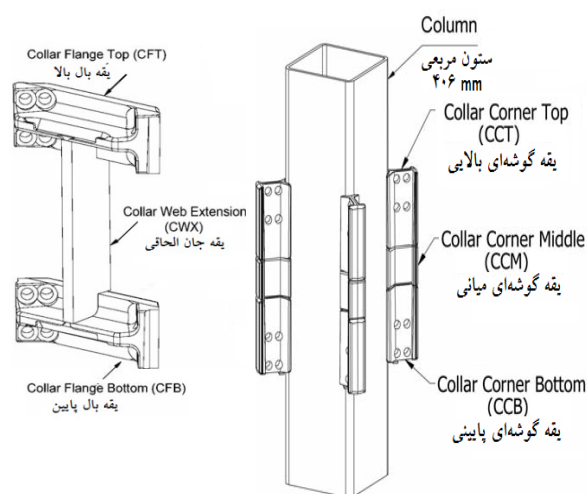
جدول (۲): تفاوت هندسی موجود در نمونه اتصال‌های مورد

بررسی

مشخصات برش RBS (mm)	
ConXL-R (دارای RBS)	 <p>$R = \text{Radius of cut} = \frac{4c^2 + b^2}{8c}$</p> <p>$a = 150 \quad b = 450 \quad c = 40 \quad R = 652.81$</p> <p>آیین نامه طراحی RBS، AISC 358-10</p>
ConXL-NR (بدون RBS)	<p>مشخصات ورق سخت کننده تیر</p> <p>محل قرار گیری ۷۰ cm از بر یقه بال در دو طرف جان تیر</p> <p>ارتفاع $h = 572.28 \text{ mm}$</p> <p>طول $L = 108.7 \text{ mm}$</p> <p>ضخامت ورق $t = 10 \text{ mm}$</p>

اتصال یقه‌های بال بالایی و پایینی به یقه‌های گوشه‌ای در چهار وجه ستون شده و سبب ایجاد دیافراگمی صلب پیرامون ستون می‌گردد، شکل‌های (۵) و (۶) [۵].

اتصال تمامی یقه‌های بال بالایی و پایینی به تیر توسط جوش شیاری با نفوذ کامل و اتصال یقه جان الحاقی به تیرها و یقه‌های گوشه‌ای به دیواره ستون‌ها توسط جوش گوشه و اتصال یقه‌های گوشه‌ای به هم توسط جوش‌های شیاری در کارخانه صورت گرفته و قطعات در کارگاه فقط روی هم مونتاژ می‌گردند [۵، ۶].



شکل (۶): تعریف هندسه و جزئیات

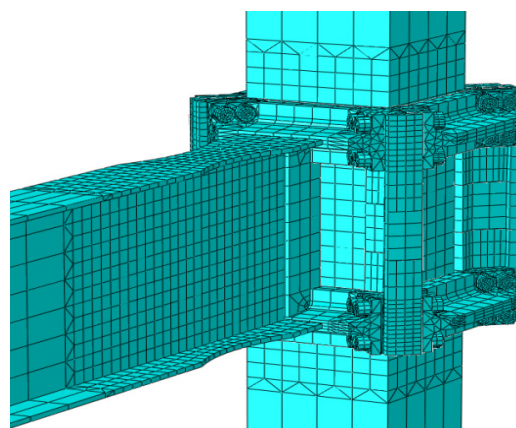
اتصال ConXL، [۵]

مکانیزم انتقال نیرو در این اتصال از طریق انتقال نیروهای خمشی ایجاد شده در بال تیر بوسیله جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP)، به مجموعه یقه‌های بال صورت می‌گیرد. در این حالت یقه بال، نیروی فشاری بوجود آمده در بال تیر را توسط انحنای سراسری یقه بال و تماس تکیه‌گاهی ناشی از سطوح شیبدار یقه‌ها، به یقه‌های گوشه‌ای منتقل می‌کند. دیگر یقه بال، نیروی کششی ایجاد شده ناشی از خمش را به پیچ‌های پیش‌تنیده انتقال می‌دهد، پیچ‌های یقه این نیروها را در سرتاسر یقه بال‌های متعامد توزیع می‌کنند. سپس نیروها از پیچ‌های یقه‌های پشتی در وجه مخالف ستون عبور نموده و به سراسر جداره‌های ستون که ترکیبی از قسمت تماسی تحمل کننده بار و جوش‌های گوشه متصل

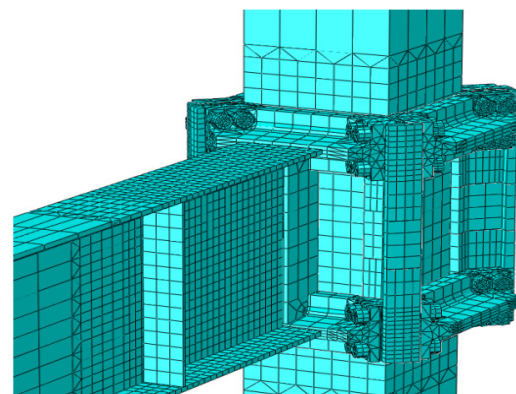
گردید [۹]. اما در دو گوشه یقه‌های بال بالایی و پایینی به دلیل پیچیدگی مش‌بندی از المان‌های چهار وجهی، C3D4، که هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی است، استفاده شد [۹]. مش‌بندی هریک از نمونه‌ها در شکل (۷) نشان داده شده است. نیروی پیش‌تندگی وارد بر پیچ‌ها در هر دو نمونه برابر ۵۷۰ KN در نظر گرفته شد. از گزینه Surface To Surface با ضریب اصطکاک کولمب ۰/۳ و لحاظ نمودن اثر تماس سخت، برای اعمال تنش تماسی بین تمام قطعات و سطوح (سطوح شیب‌دار) در تماس با یکدیگر استفاده گردید.

۳-۴ بارگذاری

بارگذاری در تمامی نمونه‌ها بصورت چرخه‌ای (Cyclic) و براساس آیین‌نامه AISC 341-10 [۶] به انتهای تیرها اعمال گردید. نحوه بارگذاری در جدول (۳) و شکل (۸) نشان داده شده است. برای اعمال نیروی پیش‌تندگی بر پیچ‌ها دو Step بارگذاری تعریف شد، در Step-1 بار پیش‌تندگی بر پیچ‌ها اعمال گردید و در Step-2 علاوه بر



ConXL-R: (الف)



ConXL-NR (ب)

شکل (۷): شکل‌های (الف) و (ب)، هندسه و مش‌بندی نمونه اتصال‌های مورد بررسی

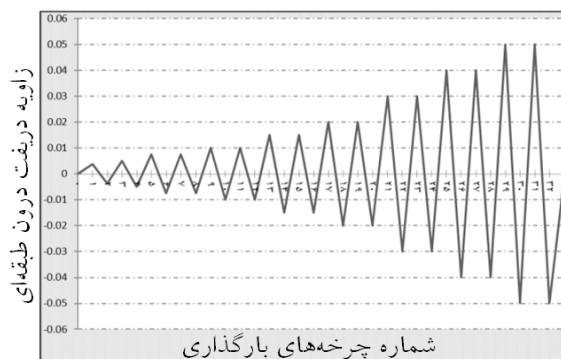
جدول (۳): جدول بارگذاری چرخه‌ای بر اساس AISC 341-10 [۶]

تعداد چرخه‌ها در هر گام	زاویه دریافت درون طبقه‌ای، Θ (Rad)	گام‌های بارگذاری #
1	0.00375	1
1	0.005	2
2	0.0075	3
2	0.01	4
2	0.015	5
2	0.02	6
2	0.03	7
2	0.04	8
2	0.05	9

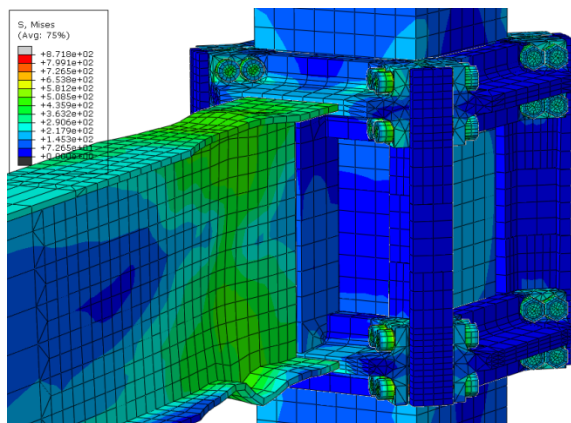
استمرار نیروی پیش‌تندگی پیچ‌ها، بارگذاری چرخه‌ای انتهای تیرها نیز اعمال گردید، شکل (۹).

۳-۳ خصوصیات هندسی و مدل اجزای محدود نمونه‌ها برای انجام بررسی، دو نمونه اتصال ConXL شامل اتصال با تیر RBS، ConXL-R، و اتصال با تیر بدون RBS، ConXL-NR، مدل گردیدند. تفاوت هر یک از نمونه‌ها، ابعاد هندسی و شکل هریک از آنها (که براساس آیین‌نامه AISC [۵] طراحی شده‌اند) در جدول‌های (۱) و (۲) و شکل (۷) ارائه شده است. تیرها، ستون‌ها و پیچ‌ها و یقه‌های گوشه‌ای و یقه الحاقی جان و قسمت‌های میانی یقه‌های بال بالا و بال پایین، در تمامی نمونه‌ها از المان سه-بعدي Solid هشت گره‌ای با انتگرال کاهش‌یافته که هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی می‌باشد، C3D8R، استفاده

حالت الاستیک می‌باشند. با افزایش دوران تیر به میزان $0.3/0$ رادیان جان ستون در ناحیه فوقانی اتصال به یقه‌های گوشه، وارد مرحله پلاستیک می‌شود در این زمان حداکثر تنش در وسط چشمه اتصال ستون برابر 208 Mpa می‌باشد، همچنین در این زمان کمناش بال‌های تیر در ناحیه RBS آغاز شده و این کمناش تا انتهای بارگذاری (دوران

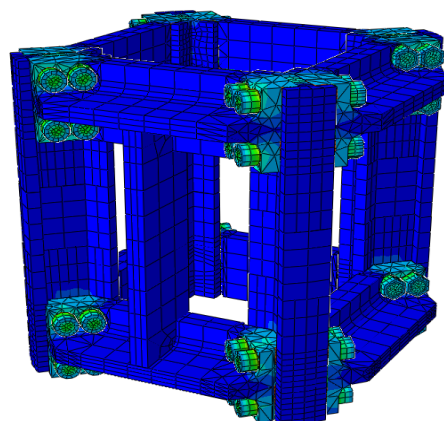


شکل (۸): نمودار بار چرخه‌ای اعمالی به نمونه‌ها



شکل (۱۰): توزیع تنش فون میسز و تغییر شکل

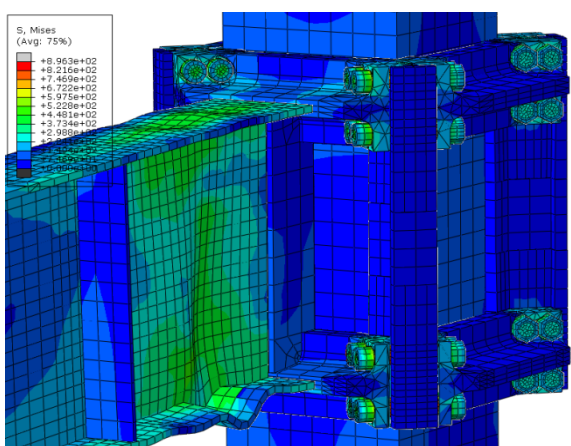
اتصال ConXL-R در دوران $0.5/0$ رادیان



شکل (۹): مجموعه سیستم یقه و پیچ‌ها بعد

از اعمال نیروی پیش‌تیدگی 570 KN در

Step-1، قبل از بارگذاری چرخه‌ای



شکل (۱۱): توزیع تنش فون میسز و تغییر شکل

اتصال ConXL-NR در دوران $0.5/0$ رادیان

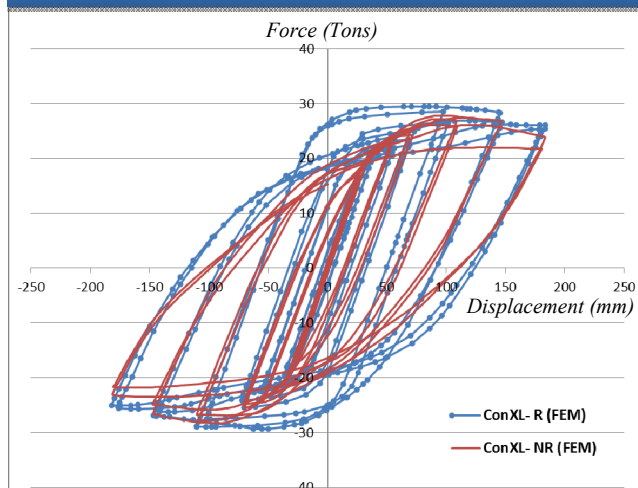
$0.5/0$ رادیان) همراه با کمناش جان تیر ادامه می‌یابد. در این حالت سیستم یقه همچنان در حالت الاستیک بوده و CWX در دوران $0.4/0$ رادیان اندکی با جان تیر کمناش الاستیک انجام می‌دهد. همچنین پلاستیسیتیه شدن جان ستون نیز در همان ناحیه فوقانی یقه گوشه باقی مانده و گسترش چندانی در سایر نقاط ستون نمی‌یابد، شکل (۱۰). در مورد نمونه ConXL-NR با افزایش دوران، پلاستیسیتیه از

۳-۵ بررسی نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌ها

هر دو نمونه ConXL-R و ConXL-NR بطور یکسان تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفتند. نمونه‌ها تا دوران $0.5/0$ رادیان (تغییر مکان انتهای تیر به میزان 20 mm) کاملاً الاستیک بوده و با افزایش تغییر مکان، وارد مرحله پلاستیک می‌گردند.

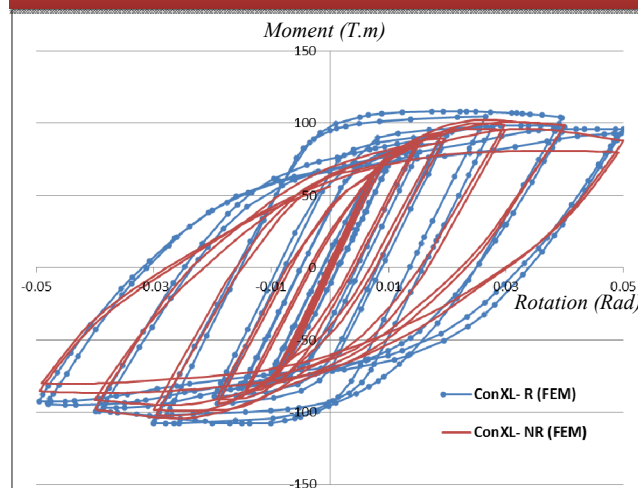
در نمونه ConXL-R پلاستیک شدن تیر با افزایش دامنه بارگذاری در بال‌های بالا و پایین تیر افزایش یافته و به تدریج به سمت مرکز جان تیر حرکت می‌کند. در این حالت تمامی نقاط سیستم‌های یقه و ستون، کم و بیش در

Actuator Force - Beam Tip Displacement

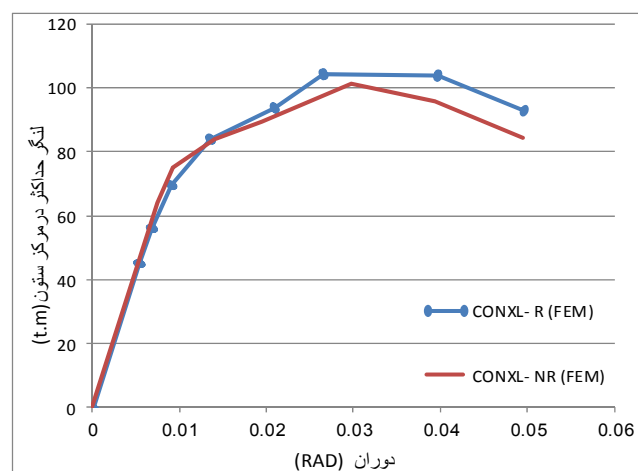


شکل (۱۲): نمودار نیرو- تغییر مکان هر دو نمونه اتصال

Moment- Rotation



شکل (۱۳): نمودار لنگر- دوران هر دو نمونه اتصال



شکل (۱۴): نمودار پوش لنگر- دوران هر دو نمونه

اتصال مورد آزمایش

انتهای بال‌ها شروع و به تدریج به وسط ناحیه بحرانی و جان تیر امتداد می‌یابد. در ستون‌ها نیز تنش از محل اتصال یقه‌های گوشه‌ای شروع و به وسط جان ستون در هر دو طرف منتهی می‌گردد. با رسیدن دوران انتهای تیر به ۰/۰۱ رادیان کمانش بالهای تیر آغاز شده و با کمانش جان تیر در دوران ۰/۰۳ رادیان این امر گسترش می‌یابد. در این حالت قسمت‌های فوقانی و تحتانی محل اتصال یقه‌های گوشه ستون به تدریج به مرحله تسلیم رسیده اما دچار کمانش نمی‌شود. در تمامی مراحل بارگذاری سیستم یقه همچنان در محدوده الاستیک باقی ماند. یقه الحاقی جان هم در طول بارگذاری در سیکلهای بالای ۰/۰۴ رادیان اندکی کمانش الاستیک انجام داده و کماکان الاستیک باقی می‌ماند، شکل (۱۱).

پیچ‌ها در طول مراحل بارگذاری دچار افت چندانی در نیروی پیش‌تیدگی نشدند (حداکثر به میزان ۱۰ KN افت) که نشان دهنده محافظه کارانه بودن مقاومت و نیروی پیش‌تیدگی پیچ‌ها می‌باشد.

با توجه به اینکه در AISC 358 [۵] استفاده از بتن پر کننده ستون اجباری است، به کار بردن نمونه اتصالات بدون بتن پرکننده داخلی ستون و ترسیم نمودار هیستریزس و ظرفیت در هر دو نمونه نشان دهنده عملکرد مناسب و رفتار پایدار چرخه‌ای در هر دو مدل بوده، شکل‌های (۱۲) و (۱۳)، و بیانگر شکل‌پذیری و قابلیت اتلاف انرژی بالا در هر دو نمونه در دوران‌های بالای ۰/۰۵ رادیان است که فراتر از نیاز قابهای خمشی ویژه می‌باشد. همچنین این بررسی نشان می‌دهد که قطعات مجموعه یقه تا حدود زیادی محافظ کارانه بوده و پیچ‌ها نیز تا حد زیادی مقاومت بیش از نیاز اتصال دارند. مقایسه نمودار پوش لنگر- دوران نمونه‌ها در شکل (۱۴) اگر چه نشان دهنده رفتار مطلوب هر دو نمونه اتصال تحت بارگذاری چرخه-ای می‌باشد ولی منحنی پوش در اتصال ConXL-R با وجود کاهش سطح مقطع تیر در محل RBS، به دلیل جاری شدن دیرتر جان ستون در محل اتصال یقه‌های گوشه و دیرتر کمانش کردن بال و جان تیر نسبت به اتصال

2000.

- [4] Bree Renz, ConXtech's systemized approach to steel construction streamlines and transforms traditional design and construction processes. J Modern Steel Construction, August 2005.
- [5] ANSI/AISC 358-10 & 358s1-11, Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, ANSI/AISC, Chicago, 2011.
- [6] AISC/ANSI 341-10. Seismic provisions for structural steel buildings. Chicago(IL): American Institute of Steel Construction, Inc.; 2011.
- [7] D.T. Pachoumis, E.G. Galoussis, C.N. Kalfas, I.Z. Efthimiou. Cyclic performance of steel moment-resisting connections with reduced beam sections _ experimental analysis and finite element model simulation. J Engineering Structures 32 (2010); 2683_2692.
- [8] Sumner EA, Mays TW, Murray TM. Cyclic testing of bolted moment end-plate connections. Research report SAC/BD-00/21. CE/VPI-ST 00/03. Blacksburg (VA): Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University; 2000.
- [9] ABAQUS version 6.10-1 user's manual. Michigan: Hibbit, Carlson & Sorensen Inc.; 2010.

ConXL-NR دارای ظرفیت شکل پذیری و مقاومت بالاتری به میزان ۳/۲٪ نسبت به اتصال ConXL-R می باشد.

۳-۶ نتیجه گیری

بررسی های انجام شده نتایج زیر را در پی داشت:

- جان ستون های هر دو اتصال علی رقم عدم وجود بتن پرکننده، در دوران حدود ۰/۰۳ رادیان در محل اتصال یقه های گوشه به تسلیم رسید اما تا انتهای بارگذاری در هیچ بخشی دچار کمناش نگردید. همچنین بررسی نمودارهای شکل های (۱۲) تا (۱۴) حاکی از عملکرد لرزه ای مطلوب هردو نمونه اتصال و رفتار هیستریک پایدار تا دوران ۰/۰۵ رادیان می باشد.
- تمامی اجزای یقه اتصال تا پایان بارگذاری الاستیک بوده و به حد تسلیم نرسیدند. که نشان دهنده محافظه کارانه بودن اجزای یقه در AISC [۵] می باشد.
- در اتصال ConXL-R با وجود کاهش سطح مقطع بال تیر به دلیل دیرتر جاری شدن جان ستون و کمناش دیرتر بال ها و جان تیر حداکثر لنگر پلاستیک اتصال حدود ۱۰۴/۷ T.m بوده و در اتصال ConXL-NR، حدود ۱۰۱/۵ T.m می باشد که نشان دهنده ظرفیت خمشی اتصال ConXL-R به اندازه ۳/۲٪ بیشتر نسبت به اتصال ConXL-NR می باشد.

مراجع

- [1] Nakashima M, Roeder CW, Maruoka Y. Steel moment frames for earthquakes in United States & Japan. J Struct Eng, ASCE 2000; 126(8):861-8.
- [2] Sherman DR. Designing with structural tubing. Eng J, AISC 1996;33(3):101_9.
- [3] FEMA-355D. State of the art report on connection performance. Washington(DC): Federal Emergency Management Agency;

