

ارزیابی رفتار غیر خطی چرخه‌ای اتصال خمشی CONXL با تغییر در جزئیات ستون و بهینه کردن آرایش پیچ‌ها

فرهود شهیدی امام جمعه^{۱*}، علیرضا رضاییان^۲، مجید جمال امید^۳، فرهاد شهیدی امام جمعه^۴

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۳- استادیار دانشکده مهندسی هوا و فضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران

۴- کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

Fr.Shahidi@Gmail.com*

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۳/۶/۲۲]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۲/۵/۹]

چکیده- اتصال CONXL یکی از اتصالات جدید ریخته‌گری شده در ستون‌های قوطی است. هدف از این مقاله بررسی لرزه‌ای جزئیات جدیدی از این اتصال بصورت عددی است. برای این هدف، ابتدا به منظور صحت سنجی مدل‌سازی عددی و آنالیز، دو نمونه اتصال خمشی، شامل یک نمونه اتصال خمشی RBS و یک نمونه اتصال خمشی ریخته‌گری شده براکت پیچی کایزر (KBB) به صورت عددی مدل و صحت و دقت نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. سپس رفتار لرزه‌ای اتصال خمشی CONXL در ستون‌های قوطی بدون بتن پرکننده و ورق پیوستگی همراه با نیروی محوری ستون در ۹ نمونه دارای ۳۲ و ۱۶ عدد پیچ با تغییر آرایش موقعیت قرارگیری آنها تحت بارگذاری یک‌طرفه، دو‌طرفه و دو‌محوره (سه بعدی) به صورت چرخه‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد که رفتار لرزه‌ای ستون در تمامی نمونه‌ها مطلوب است به ویژه برای ستون‌های گوشه و همچنین، استفاده از ۱۶ عدد پیچ در اتصالات مقاطع W30، زمانی مناسب خواهد بود که از آن در اتصالات گوشه (دارای بارگذاری یک‌طرفه) و از مشخصات مصالح ASTM-A36 برای تیرها استفاده شود. همچنین موفقیت قرارگیری پیچ‌ها هرچه به سمت بیرون یقه بال‌ها نزدیک‌تر باشد، کرنش محوری میله پیچ‌ها بیشتر، ولی لغزش آن کمتر می‌شود. بهینه‌ترین حالت برای موقعیت پیچ نقطه‌ای نزدیک به وسط یقه بال خواهد بود.

واژگان کلیدی- اتصال خمشی CONXL، رفتار لرزه‌ای، پیچ‌های پرمقاومت، ستون قوطی، سیستم یقه.

۱- مقدمه

ستون‌های قوطی به عنوان بخشی از قاب‌های خمشی ویژه در سازه‌های میان مرتبه و بلندمرتبه در مناطقی با خطر لرزه‌خیزی زیاد مانند بیشتر کشورهای آمریکایی، آسیایی و ایران بسیار استفاده می‌شوند. این مقاطع توخالی بیشتر به صورت مقاطع نورد شده مانند مقاطع HSS، یا به صورت

مقاطع جوش شده از ورق است [۱]. سختی و مقاومت خمشی بزرگ حول هر یک از محورها سبب می‌شود که مقاطع قوطی در خمش و فشار اثر بیشتری نسبت به مقاطع بال پهن متداول، به عنوان اعضای تیرستون داشته باشند. این مقاطع توانایی شکل‌پذیری و اتلاف انرژی را نیز در اتصال افزایش می‌دهند [۲، ۳].

محوری و ابعاد دیافراگم بر سختی و مقاومت اتصال خیلی کمتر از نسبت پهنا به ضخامت قوطی‌های فولادی تحت مد گسیختگی برشی است. شهیدی و همکاران [۸ و ۷]، به بررسی عوامل موثر بر بهبود رفتار لرزه‌ای اتصال خمشی پیچی کایزر که مانند اتصال CONXL اتصالی ریخته‌گری است پرداختند. آن‌ها در بررسی‌های خود دریافتند که استفاده از واشر انگشتی گوه‌ای سبب کاهش نیروی پیش‌تندگی پیچ‌های ستون می‌شود. همچنین آن‌ها اتصال جدیدی با عملکردی مشابه با اتصال کایزر به نام اتصال براکت FSFN را پیشنهاد کردند که دارای براکت‌های کوچکتری نسبت به اتصال کایزر بود و قادر بود تیرهایی عمیق‌تر را نسبت به اتصال کایزر تحمل کند. همچنین افراد دیگری در زمینه اتصالات به ویژه در ستون‌های قوطی به پژوهش پرداختند که می‌توان Sung و همکاران [۹]، قبادی و همکاران [۱۰]، میرقادری و همکاران [۱۱]، و سایرین را نام برد.

اتصال CONXL برای نخستین بار به وسیله‌ی رابرت جی سیمونز ارائه شد. هدف از ارائه این اتصال صنعتی سازی و حذف هرگونه جوشکاری در کارگاه و افزایش ایمنی کار و سادگی و سرعت اجرا در سازه‌های بلندمرتبه در ستون‌های قوطی بود. این اتصال براساس تئوری سیمونز ارائه شد که اجرای آن در کارگاه را به راحتی کشیدن و رها کردن اتصال در محل یقه‌ها ساده می‌کند [۱۲]. این مقاله به طور عددی به بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال خمشی CONXL می‌پردازد.

۲- صحت سنجی مدل‌سازی عددی

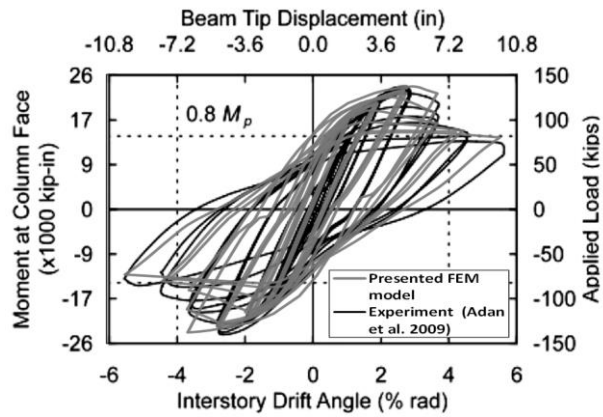
از آن‌جا که اتصال CONXL جدید بوده و اطلاعاتی در خصوص نتایج آزمایشگاهی آن وجود نداشت، برای صحت‌سنجی مدل‌سازی دو نمونه آزمایشگاهی از اتصالات فولادی انجام شده به وسیله‌ی Uang و همکاران (اتصال RBS) در سال ۲۰۰۰ [۱۳]، و اتصال

همچنین ستون‌های قوطی بیشترین استفاده از مصالح و کمترین هزینه برای رنگ کاری و نگهداری از سطوح را فراهم می‌کنند [۲]. با وجود تمامی مزایای یاد شده، محدودیت‌هایی به علت شکل بسته ستون‌های قوطی نسبت به سایر مقاطع وجود دارد که از جمله 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 کرد، همچنین وجود دو جان موازی در ستون‌های قوطی سبب رفتار متفاوت‌تری نسبت به سایر ستون‌های بال‌پهن می‌شود [۳]. همین عوامل سبب شده تا امروزه پژوهش‌های 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 شود و در این زمینه افراد زیادی پژوهش کرده‌اند.

Park و همکاران [۴]، به بررسی آزمایشگاهی رفتار اتصال تیر به ستون قوطی مربعی پر شده با بتن با ورق‌های سخت‌کننده پیرامونی ستون‌های قوطی پرداختند.

Lai-Yun Wu و همکاران [۵]، به بررسی رفتار چرخه-ای اتصالات پیچ شده دوطرفه در ستون‌های قوطی پرداختند، نتایج بررسی آنها نشان داد که این اتصالات مقاومت لرزه‌ای فراتر از حدود آیین‌نامه‌های تایوان و آمریکا از خود نشان داده و می‌تواند به عنوان سیستم‌های مقاوم لرزه‌ای در قاب‌های خمشی استفاده شود.

Jianguo Nie و همکاران [۶]، به بررسی رفتار لرزه‌ای اتصالات ستون‌های قوطی پر شده با بتن همراه با تیرهای مرکب به صورت عددی پرداختند. آنها سه نمونه اتصال دیافراگم خارجی را با در نظر گرفتن تاثیر نسبت‌های نیروی محوری و نسبت‌های پهنا به ضخامت و ابعاد دیافراگم خارجی تحت هر دو بارگذاری یکنواخت و چرخه‌ای را بررسی کردند نتایج نشان داد که تاثیر نسبت‌های نیروی



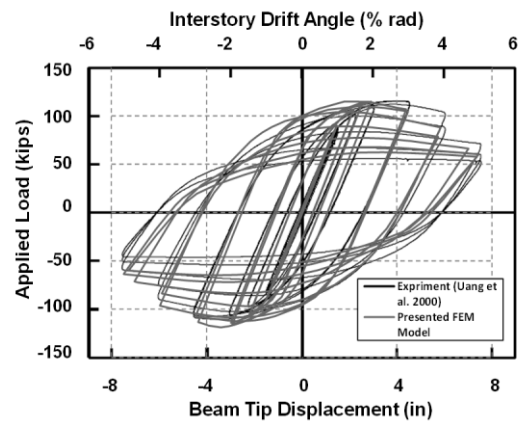
۴۴۴۴

با توجه به اینکه در قسمت‌های جوش شده لغزشی وجود ندارد برای شبیه‌سازی جوش از قید "tie" استفاده شد. این قید تمامی گره‌های مجاور به دو سطح متفاوت را به گونه‌ای به یکدیگر متصل می‌کند که به صورت یکپارچه عمل می‌کنند [۱۵]. برای اعمال تنش تماسی از اندرکنش Surface to Surface با در نظر گرفتن اثر تماس سخت^۱ برای سطوح پیچ و سوراخ پیچ و تماس براکت‌ها با بال ستون استفاده شد. ضریب اصطکاک کولمب طبق راهنمای طراحی براساس بار سازه های فولادی و ضرایب مقاومت (LRFD) آمریکا [۱۶] برابر ۰/۳۳ در نظر گرفته شد. میزان نیروی پیش تنیدگی پیچ‌ها در اتصال خمشی کایزر (KBB) برابر ۶۹۰kN اعمال شد. شکل‌های (۱) و (۲) مقایسه نمودار نیرو- تغییرمکان و لنگر-دوران در هر دو مدل عددی صحت سنجی و نمونه آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. همچنین نوع و سایر مشخصات نمونه‌ها در جدول (۱) آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود دقت مدل‌سازی‌ها مناسب و خطای مدل‌سازی بسیار پایین است.

۳- مدل‌سازی عددی اتصال خمشی CONXL

برای مدل‌سازی عددی تمامی اجزای اتصال شامل تیرها،

خمشی پیچی کایزر (مشابه اتصال CONXL)، اتصالی کارخانه‌ای و ریخته‌گری شده است)، که به وسیله‌ی Adan و همکاران در سال ۲۰۰۹ [۱۴]، انجام شده است، که برای صحت سنجی اندرکنش‌ها و عملکرد پیچ‌های پیش‌تنیده، تحت بارگذاری چرخه‌ای ارزیابی شدند. 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 شد.



شکل (۱) مقایسه نمودار نیرو-تغییرمکان نمونه عددی در مقابل نمونه آزمایشگاهی انجام شده به وسیله‌ی Uang و همکاران [۱۳].

در نمونه اتصال KBB برای ستون‌ها و براکت‌ها و پیچ‌ها از المان Solid هشت گره‌ای با انتگرال کاهش یافته، C3D8R، استفاده، اما برای تیرها از المان Shell چهار گره‌ای با انتگرال کاهش‌یافته S4R استفاده شد [۱۵]. در تمامی این نمونه‌های صحت سنجی (RBS و KBB) از مشخصات مصالح غیر خطی استفاده شد. در تمامی نمونه‌ها به جزء تیر اتصال KBB که ایزوتروپیک سه خطی است، بقیه از مصالح ایزوتروپیک دو خطی با سخت شوندگی کرنشی کینماتیکی همراه با معیار گسیختگی فون میسز استفاده شده است. همچنین این مقادیر در جدول (۱) نیز آمده است.

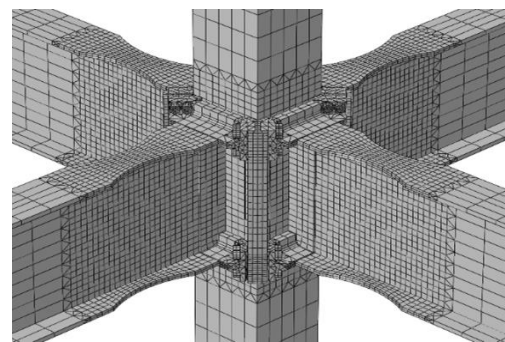
ستون‌ها، پیچ‌ها و سیستم‌های یقه^۲ از المان Solid هشت گره‌ای با انتگرال کاهش یافته C3D8R، استفاده شد. فقط در دو طرف یقه‌های بال^۳ و قسمتی از تیر و ستون به علت پیچیدگی هندسه اتصال از المان Solid چهار وجهی^۴ چهار گره‌ای C3D4، استفاده شد.

جدول (۱) مشخصات نمونه‌های مورد استفاده در صحت سنجی.

نام نمونه	نوع مقطع	F_y (MPa)	F_u (MPa)	
RBS اتصال (LS-I)	تیر (W30×99)	بال	377.43	496.11
		جان	400.2	516.12
	ستون (W14×176)	بال	386.4	510.6
		جان	375.36	504.39
W از سری KBB اتصال (Specimen HH-8)	واشر گوه‌ای	250	450	
	تیر و ورق برشی جان	366	462	
	ستون	321	453	
	براکت	510	710	
	پیچ‌های به قطر ۳۸ میلی‌متر (اینچ ۱/۲-۱)	800	1050	

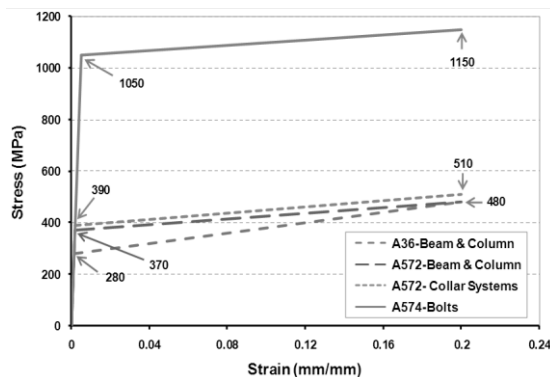
۴- مشخصات مصالح نمونه‌های مورد بررسی

خصوصیات مصالح تیرها و ستون‌ها بر اساس استاندارد ASTM-A36، ASTM-A572 Gr50، در نظر گرفته شد. پیچ‌ها بر اساس آیین‌نامه AISC358S1-11 از نوع پیچ‌های پرمقاومت با تنش تسلیم 1050 MPa و مقاومت نهایی 1150 MPa در کرنش مانند 0.2 طبق استاندارد ASTM-A574 فرض شد. مدول الاستیسیته در تمامی نمونه‌ها برابر 210 GPa در نظر گرفته شد. مشخصات مصالح در نرم افزار ABAQUS از نوع ایزوتروپیک دو خطی با معیار سخت شوندگی کرنشی کینماتیکی و معیار گسیختگی فون میسز استفاده شد. در این نمونه‌ها سطح تسلیم با هر سیکل بارگذاری نسبت به سیکل قبل تغییر خواهد کرد در این صورت نمودار هیستریک نمونه‌ها به واقعیت نزدیکتر خواهد بود [۱۵]. نمودار تنش-کرنش مصالح در شکل (۴) نشان داده شده است، همچنین سایر مشخصات نمونه‌ها شامل مشخصات مصالح، نوع مقاطع به کار برده شده و... در جدول (۲) آمده است.



شکل (۳) الگوی مش‌بندی در یک نمونه اتصال دو-محوره

همچنین در مدل سازی عددی سعی شد تا ابعاد و شکل هندسی نمونه‌ها کاملاً منطبق با نمونه واقعی باشد، به همین منظور تمامی سطوح شیبدار در پشت و پهلوی قسمت‌های یقه‌های بال و یقه‌های گوشه^۵ منطبق با ابعاد و زوایای



شکل (۴) نمودار تنش-کرنش در نمونه‌های مورد بررسی

- 2 Collar Systems
- 3 Collar Flange
- 4 Tetrahedral
- 5 Collar Corner

جدول (۲) مشخصات هندسی و مصالح نمونه‌های مورد بررسی

نام نمونه	SXL01	SXL02	SXL03	SXL04	SXL05	SXL06	SXL07	SXL08	SXL09	
شرایط بارگذاری	دوطرفه	دو محوره	دوطرفه	یکطرفه	دوطرفه	دو محوره	دوطرفه			
۱) مصالح	نوع مقطع (mm)	Box 406×406×20	Box 406×406×25	Box 406×406×28	Box 406×406×25		Box 406×406×30			
	مشخصات مصالح	ASTM A572 Gr50; F _y =370 MPa, F _u =480 MPa			ASTM A36; F _y =280 MPa, F _u =480 MPa	ASTM A572 Gr50; F _y =370 MPa, F _u =480 MPa				
	نیروی محوری (kN)	4000	4500	5100	0	1000	6300	6000	6000	6150
۲) مقاطع	نوع مقطع	W24x68	W27x102	W30x99	W30x108		W30x132			
	مشخصات مصالح	ASTM A572 Gr50; F _y =370 MPa, F _u =480 MPa			ASTM A36; F _y =280 MPa, F _u =480 MPa	ASTM A572 Gr50; F _y =370 MPa, F _u =480 MPa	ASTM A36; F _y =280 MPa, F _u =480 MPa		ASTM A572 Gr50; F _y =370 MPa, F _u =480 MPa	
۳) پیچ (۳۲ mm)	تعداد پیچ ها	16	16	16	16	16	32	16	16	32
	موقعیت پیچ ها	وسط	سوراخ های بیرونی	سوراخ های بیرونی	وسط	وسط	آرایش کامل	سوراخ های درونی	سوراخ های بیرونی	آرایش کامل
	در سیستم یقه									
	نیروی پیش تنیدگی (kN)	650	680	680	550	680	570	680	680	570
مشخصات مصالح	ASTM A574; F _y =1050 MPa, F _u =1150 MPa									
۴) آیین نامه طراحی	آیین نامه طراحی	According to AISC358S1-11								
	مشخصات مصالح	ASTM A572; F _y =390 MPa, F _u =510 MPa								



ج) موقعیت میانی پیچ ها

شکل (۵) موقعیت قرار گیری مورد بررسی پیچ ها

با توجه به این مطالب نمونه‌های مورد بررسی شامل اتصال‌های یک‌طرفه، دو طرفه و دو محوره با ستون با بار محوری و بدون آن است که براساس ضوابط AISC358S1-11 و برای قاب‌های گوشه و کناری و قاب‌های میانی یک ساختمان ۱۶ طبقه و ۱۸ طبقه طراحی شدند؛ همچنین در بیشتر این نمونه‌ها موقعیت قرارگیری ۱۶ عدد پیچ در سه موقعیت نزدیک به جان تیر (سوراخ های پیچ درونی) و موقعیت سوراخ‌های پیچ بیرونی و وسط در نظر گرفته شد. این موقعیت‌های مطروحه در شکل (۵) نشان داده شده است. در طراحی این نمونه ها سعی شد از تیرهایی با حداکثر لنگر تحمیلی به ستون و مجموعه یقه استفاده شود. تا بحرانی ترین حالت برای اتصال بوجود آید. به همین منظور ۹ نمونه تمام مقیاس از اتصال CONXL

۵- مشخصات هندسی نمونه‌ها

براساس ضوابط آیین‌نامه AISC358S1-11، اتصال CONXL مخصوص ستون‌های قوطی ۴۰۶ mm (۱۶in) است و بیشینه تیر مجاز در آن مقاطع سری W30 است به شرطی که عرض و ضخامت بال‌های تیر به ترتیب از ۳۰۰ و ۲۵ mm بیشتر نباشد [۱۷]. در این اتصال ابعاد مجموعه یقه و تعداد پیچ‌ها (۳۲ عدد) برای محدوده تیرهای مجاز در آن ثابت بوده و فقط با تغییر ارتفاع تیر در راستای ستون جابه‌جا می‌شوند بنابراین تنها موارد قابل تغییر در این اتصال ارتفاع المان CCM^۶ و CWX^۷ است [۱۷].



الف) موقعیت درونی پیچ ها



ب) موقعیت بیرونی پیچ ها

- 6 Collar Corner Middle (CCM)
7 Collar Web Extension (CWX)

برای بارگذاری یک‌طرفه، بارگذاری براساس تغییرمکان اعمالی به صفحه صلب انتهای تیر صورت گرفت. اما برای بارگذاری دوطرفه و بارگذاری دوماحوره (بارگذاری سه بعدی)، بارگذاری به صورت تغییرمکان اعمالی به صفحه صلب بالای ستون انجام گرفت [۱۸].

اعمال نیروی پیش تنیدگی به پیچ‌ها در دو **Step** تعریف شد. در **Step-1** نیروی پیش تنیدگی پیچ‌ها اعمال شد و در **Step-2** علاوه بر استمرار نیروی پیش تنیدگی پیچ‌ها، بارگذاری به صورت تغییرمکان اعمالی به صفحه صلب برای حصول زاویه دررفت درون طبقه‌ای در اتصال اعمال شد.

۸- بررسی نمونه‌ها

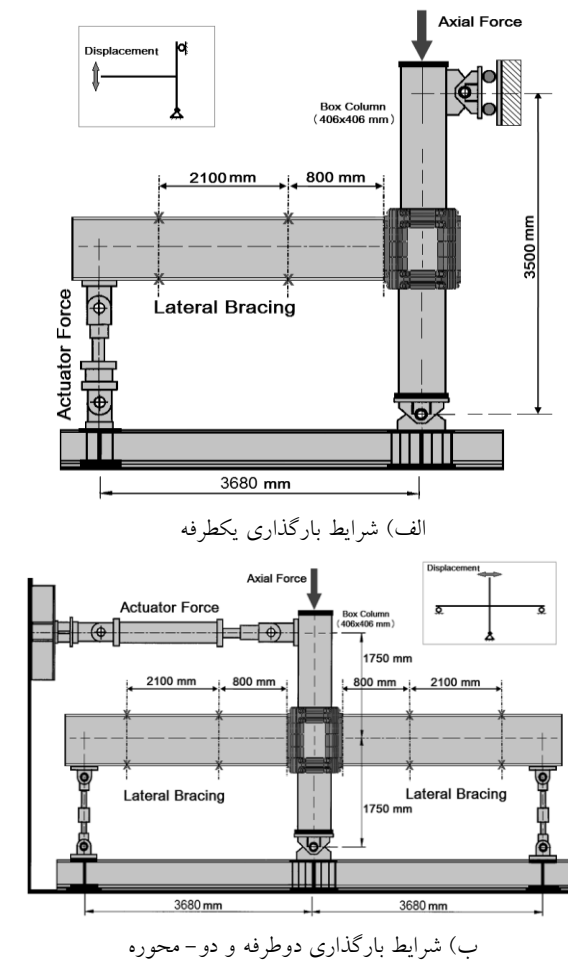
در طول بررسی‌های صورت گرفته تحت بارگذاری چرخه‌ای بیشترین کرنش محوری ایجاد شده در اتصالات دارای ۳۲ عدد پیچ (تعداد پیش فرض AISC358-S1-11)، در نمونه SXL06 و SXL09 حاصل شد که به ترتیب برابر مقدار 0.00398 و 0.00393 به دست آمد. در این نمونه‌ها با وجود اینکه از عمیق‌ترین تیرهای مجاز بر اساس آیین‌نامه استفاده شده است، مقدار کرنش محوری میله پیچ حدود ۲۰ درصد کمتر از کرنش محوری الاستیک پیچ (0.005) است. برای همین منظور رفتار این اتصال با ۱۶ عدد پیچ بررسی شد؛ اما در مقابل نیروی پیش تنیدگی پیچ‌ها افزایش داده شد. موقعیت قرارگیری پیچ‌ها در سه وضعیت نزدیک به جان تیر (سوراخ‌های درونی)، سوراخ بیرونی پیچ و موقعیت قرارگیری آن‌ها در وسط ارزیابی شد.

در بیشتر نمونه‌ها پلاستیسیته شدن تیرها در بال‌های تیر به ویژه در محدوده RBS آغاز شده و در زاویه دررفت درون طبقه (Interstory drift angle) حدود ۰/۰۳ رادیان کماتش بال‌های تیر آغاز شد با ادامه کماتش تیر، پلاستیسیته شدن تیر از بال‌ها به سمت جان تیر حرکت کرده و سبب تضعیف و کماتش جان تیر، حدود ۰/۰۱ تا ۰/۰۲ رادیان بعد از کماتش بال‌ها شد. در نمونه‌های SXL02 و

تحت بارگذاری چرخه‌ای بررسی شد. مشخصات هندسی، مصالح و شرایط بارگذاری اجزای اتصال در جدول (۲) آمده است.

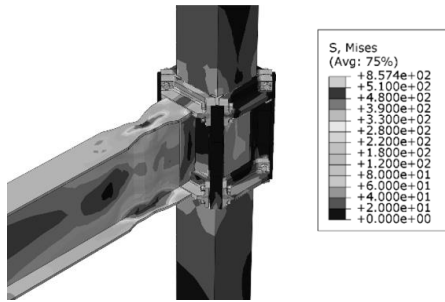
۶- شرایط مرزی و بارگذاری نمونه‌ها

در تمامی نمونه‌ها تکیه‌گاه‌ها به صورت مفصلی مطابق با شکل (۶) در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از کماتش پیچشی جانبی تیرها، بال‌های تیر در فواصل ۸۰۰mm و ۲۱۰۰mm در جهت عمود بر حرکت تیر مانند شکل (۶) مهار شدند. برای بارگذاری تمامی نمونه‌ها از آیین‌نامه AISC 341-10 استفاده شد [۱۸].

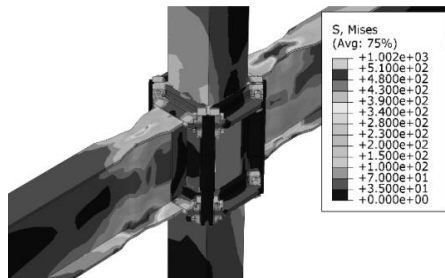


شکل (۶) شرایط تکیه‌گاهی و مرزی در نمونه‌های مورد بررسی

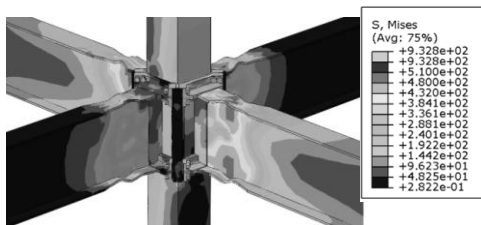
SXL07 و SXL08 که دارای ضخامت بال بیشتر هستند و لنگر بیشتری به ستون تحمیل می‌کنند کمانش بال‌های تیر زودتر و در دوران حدود $0/013$ تا $0/019$ رادیان آغاز شد. بیشینه لنگر تحمیلی از تیرها به مجموعه اتصال و ستون در زاویه دریفت بین $0/03$ تا $0/04$ رادیان بوجود آمد. بیشترین مقدار لنگر تحمیلی در نمونه‌های SXL05 تا SXL08 با وجود بار محوری ستون، به دست آمد، که بحرانی‌ترین حالت را برای مجموعه یقه و ستون ایجاد می‌کند. در تمامی این نمونه‌ها محل تشکیل مفصل پلاستیک در خارج از محدوده ستون و در تیر و در محلی به فاصله حدود $0.5 d_b$ تا $0.7 d_b$ از بر یقه است (d_b : عمق تیر).



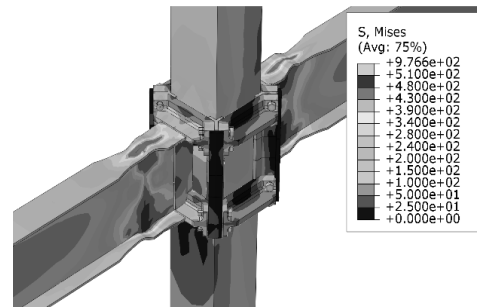
د) نمونه SXL04



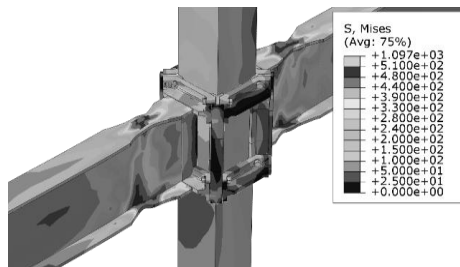
ه) نمونه SXL05



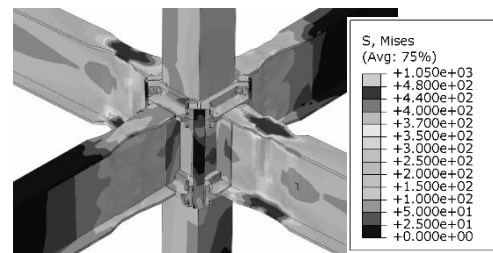
و) نمونه SXL06



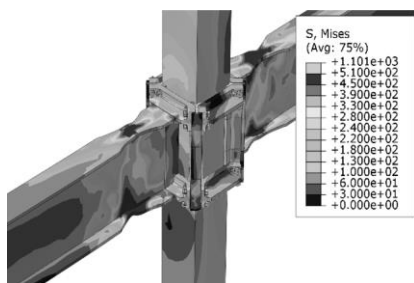
الف) نمونه SXL01



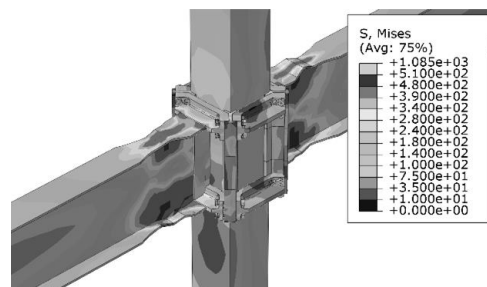
ز) نمونه SXL07



ب) نمونه SXL02

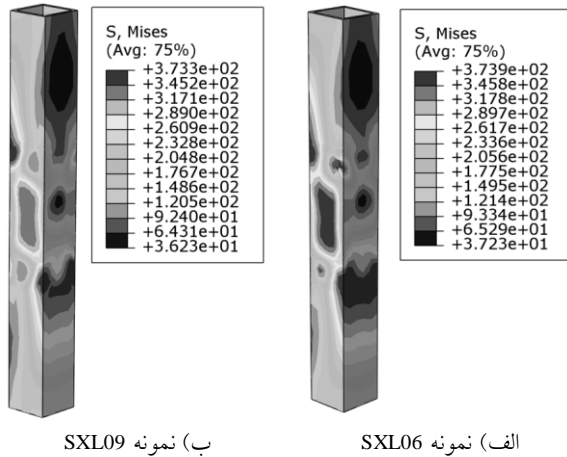


ح) نمونه SXL08



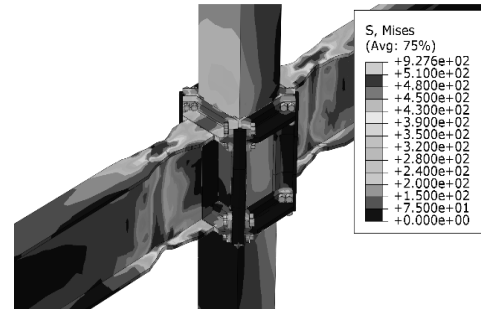
ج) نمونه SXL03

های پر تنش در جداره ستون اتفاق نیفتاد. شکل (۸) بحرانی‌ترین حالت ستون در نمونه‌های SXL06 و SXL09 را در شرایطی که تحت تاثیر بیشترین لنگر تحمیلی و تنش در طول بارگذاری قرار دارند، نشان می‌دهد.



شکل (۸) توزیع تنش فون میسز و تغییر شکل ستونهای دو نمونه بحرانی

در مجموعه سیستم یقه بیشترین مقدار تنش ابتدا در دور سوراخ های پیچ بوجود آمد سپس مسیر حرکت تنش به سمت محل اتصال تیر به یقه‌های بال بود. در یقه‌های گوشه بیشترین مقدار تنش در نواحی اتصال پایه (ساق) یقه‌ها به ستون و سپس دور سوراخ‌های پیچ بیرونی بود. شکل (۹) توزیع تنش فون میسز را در اجزای یقه در سه نمونه SXL02، SXL07 و SXL09 نشان می‌دهد. بیشترین تنش ثبت شده در نمونه SXL8 بود که برابر 423 MPa به دست آمد. در نمونه SXL07 در مقایسه با نمونه SXL08 فقط موقعیت بستن پیچ‌ها متفاوت است. در این نمونه (SXL07) به دلیل نزدیکتر بودن پیچ‌ها به مرکز تار خشتی (جان تیر) بازوی اهرم لنگر وارد بر پیچ‌ها کوتاه تر بوده در نتیجه کرنش محوری میله پیچ‌ها کمتر ولی لغزش آن بیشتر است. این امر سبب لهیده شدن اندک میله پیچ و کماتش تیغه جلوی یقه گوشه بالایی شد، این لغزش ممکن است به دلیل شیبدار بودن سطوح یقه‌ها باشد.

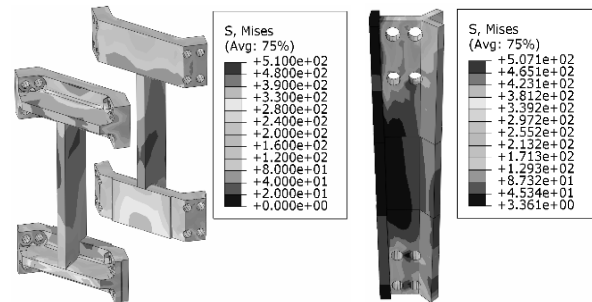


شکل (۷) توزیع تنش فون میسز و تغییر شکل نهایی نمونه ها در گام آخر بارگذاری

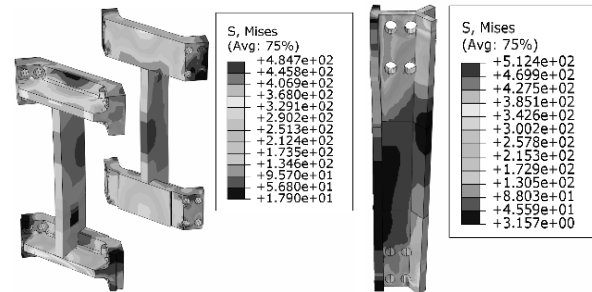
در شکل (۷) تغییر شکل نهایی و توزیع تنش فون میسز در تمامی نمونه‌های اتصال در گام آخر بارگذاری (دوران 0.05 rad) نشان داده شده است.

در تمامی نمونه ها بیشترین مقدار تنش در جداره ستون، ابتدا در محل اتصال یقه‌های گوشه‌ای بالا^۱ و پایین به کنج ستون بوجود آمده و سپس با افزایش دامنه بارگذاری به تدریج تنش در وسط چشمه اتصال نیز افزایش یافت. در نمونه‌های SXL03 و SXL06 و SXL09 که مشخصات مصالح تیر و ستون آن‌ها از نوع ASTM-A752 Gr50 است و تحت بارگذاری دوطرفه و دو محوره با بار محوری ستون قرار دارند تنش در وسط چشمه اتصال کمتر از تنش تسلیم بود. همچنین در این نمونه‌ها تنش در محل اتصال سیستم یقه به ستون به مقدار کمی از تنش تسلیم فراتر رفت و جداره ستون فقط به جز در نواحی اتصال یقه‌های گوشه الاستیک باقی ماند. در سایر نمونه‌های تحت بارگذاری دوطرفه (Planer) و دو محوره (Bi-axial) با بار محوری ستون که از مشخصات مصالح ASTM-A36 برای تیر و ستون آن‌ها استفاده شده بود. تنش هم در وسط چشمه اتصال و هم در محل اتصال یقه‌های گوشه از تنش تسلیم فراتر رفت. به دلیل توزیع یکنواخت تنش در محل اتصال یقه‌های گوشه به ستون هیچ گونه کماتش محلی در محل-

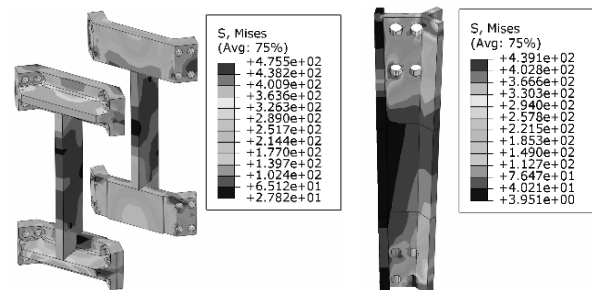
موضوع برای مقاطع دارای تیرهای کوچکتر و یا مساوی W27 چه در حالت بارگذاری دوطرفه و چه در حالت بارگذاری دو-محوره مطلوب بود و بیشینه کرنش ثبت شده در نمونه SXL02 به دست آمد که برابر با ۰/۰۰۴۷۲ بود. در نمونه‌هایی که موقعیت پیچ‌ها در وسط قرار داشت عملکرد اتصال نیز بهتر بود. زیرا هم کرنش آن از موقعیت قرارگیری پیچ در وجه بیرونی کمتر بود و هم لغزش آن از موقعیت پیچ‌های درونی کمتر بود. شکل (۱۰) نمودارهای لنگر-کرنش را برای پیچ‌های نمونه‌های بحرانی SXL02، SXL04، SXL06 و SXL08 نشان می‌دهد. به علت محدودیت صفحه و همچنین تقارن موجود در اتصال فقط نمودار یک نمونه از بحرانی‌ترین پیچ‌های هر اتصال رسم شد.



الف) نمونه SXL02

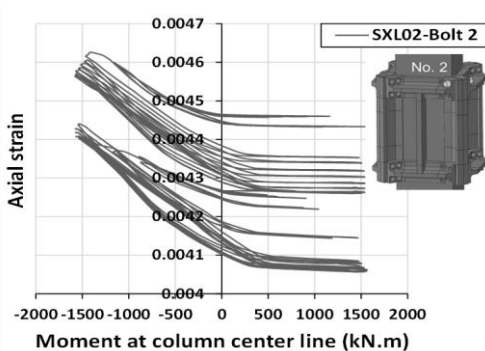


ب) نمونه SXL07

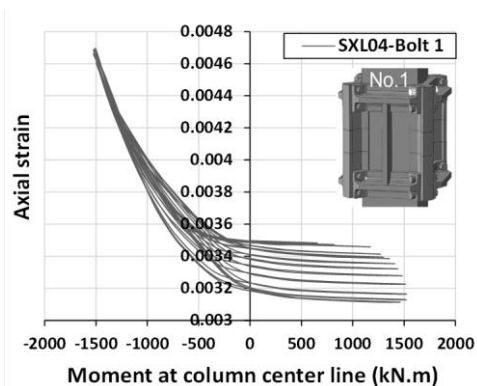


ج) نمونه SXL09

شکل (۹) توزیع تنش فون میسز و تغییر شکل اجزای یقه



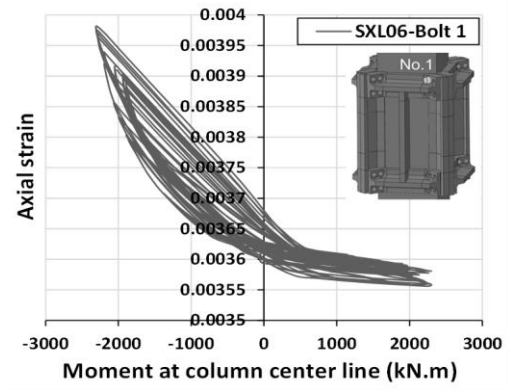
الف) نمودار لنگر - کرنش محوری میله پیچ در نمونه SXL02



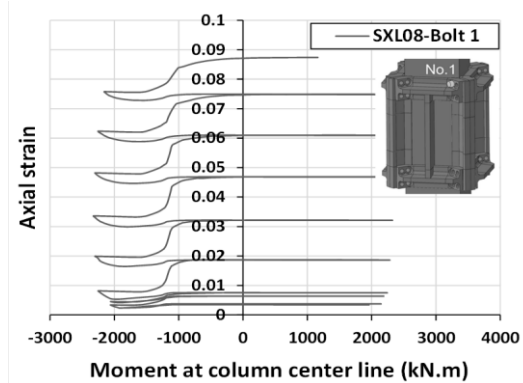
ب) نمودار لنگر - کرنش محوری میله پیچ در نمونه SXL04

اما در نمونه SXL08 کرنش محوری میله پیچ بیشتر ولی لغزش آن کمتر بود. به گونه‌ای که میله پیچ تقریباً تحت نیروی محوری قرار گرفت. به طور کلی در تمامی نمونه‌های دارای ۱۶ عدد پیچ و تیر سری W30، کرنش محوری میله پیچ از کرنش الاستیک فراتر رفت. و در نمونه‌های SXL07 و SXL08 عملاً عملکرد پیچ نامناسب بود. اما برای تیرهای سری W30 که از مصالح ASTM-A36 استفاده کرده‌اند و موقعیت قرارگیری پیچ‌ها در وسط قرار دارد، مانند نمونه SXL04 عملکرد لرزه‌ای اتصال و پیچ‌ها مطلوب بود، بیشینه کرنش میله پیچ برای این نمونه برابر ۰/۰۰۴۷ بود (بیشینه کرنش الاستیک برابر ۰/۰۰۰۵). اما این

نمودار هیستریزیس تمامی نمونه‌ها در شکل (۱۱) آمده است. به دلیل تقارن اتصال در هر دو محور و به منظور جلوگیری از تعدد نمودارها در نمونه‌های دوطرفه، فقط نمودار نیرو تغییرمکان انتهایی ستون، و لنگر- دوران یک نمونه تیر (تیر غربی) از هر نمونه اتصال آورده شده است. اما به ازای هر یک از نمونه‌های تحت بارگذاری دوطرفه (سه بعدی) چهار نمودار رسم شد که شامل دو نمودار مربوط به نیرو- تغییرمکان بالای ستون در دو راستای اولیه (X) و ثانویه (Y) و دو نمودار مربوط به یک نمونه تیر در هر جهت اولیه و ثانویه است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود رفتار لرزه‌ای تمامی نمونه‌ها بدون بتن پرکننده ستون مطلوب است. طبق آیین‌نامه AISC 341-10 تمامی نمونه‌های اتصال تحت بارگذاری چرخه‌ای تا دریافت درون طبقه‌ای 0.4% رادیان زوال مقاومتی کمتر از ۲۰ درصد (0.8Mp) دارند. همچنین محل تشکیل مفصل پلاستیک نیز در فاصله $0.5d_b$ تا $0.7d_b$ از بریقه اتصال است. علاوه بر این موارد نمودار هیستریزیس تمامی نمونه‌های داری تیرهای با عمق کوچک‌تر و یا مساوی W27 نیز مطلوب است. که نشان دهنده عملکرد مناسب این محدوده از تیرها در اتصال است.

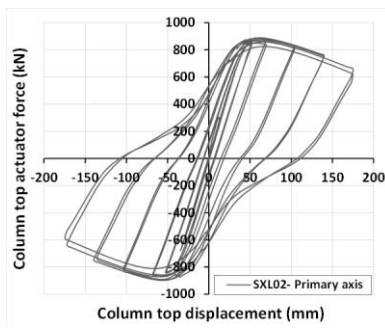


ج) نمودار لنگر - کرنش محوری میله پیچ در نمونه SXL06

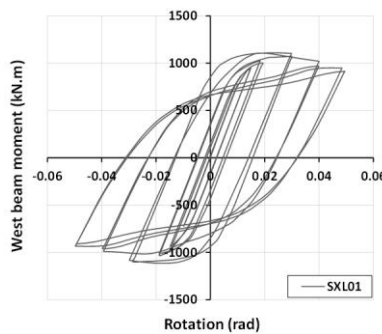


د) نمودار لنگر - کرنش محوری میله پیچ در نمونه SXL08

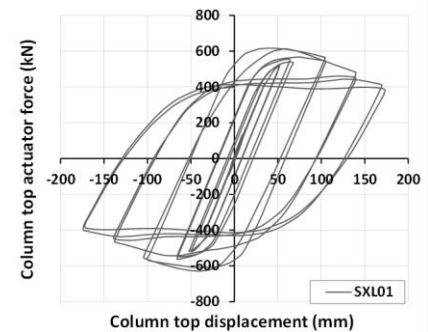
شکل (۱۰) نمودار لنگر - کرنش محوری میله پیچ



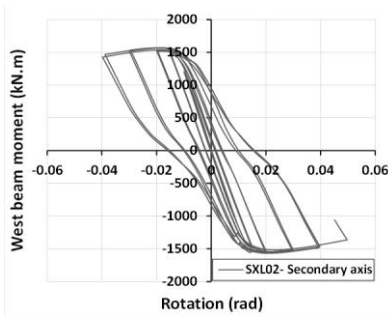
ج) نمودار نیرو- تغییرمکان بالای ستون در نمونه SXL02 در محور اولیه (X)



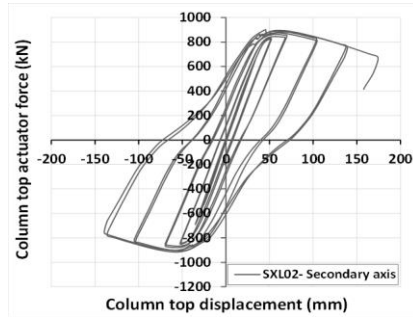
ب) نمودار لنگر- دوران تیر غربی در نمونه SXL01



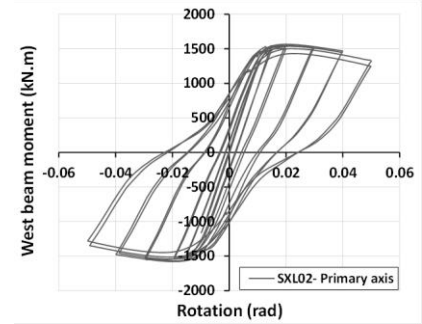
الف) نمودار نیرو- تغییرمکان بالای ستون در نمونه SXL01



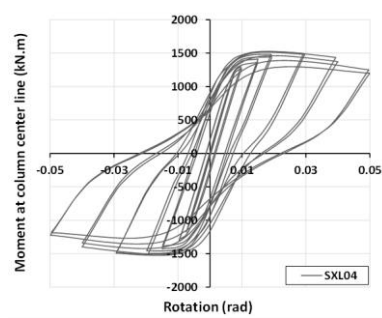
و) نمودار لنگر- دوران تیر غربی در نمونه SXL02 در محور ثانویه (Y)



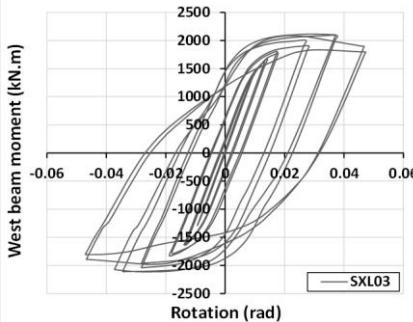
ه) نمودار نیرو- تغییر مکان بالای ستون در نمونه SXL02 در محور ثانویه (Y)



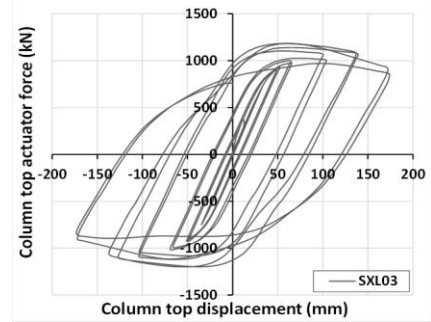
د) نمودار لنگر- دوران تیر غربی در نمونه SXL02 در محور اولیه (X)



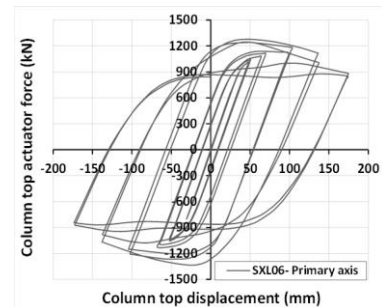
ط) نمودار لنگر- دوران تیر در نمونه SXL04



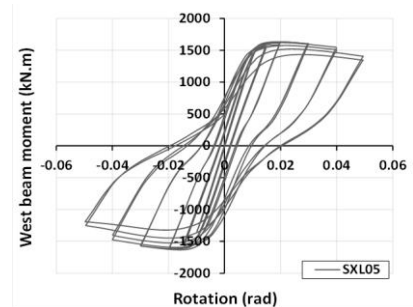
ج) نمودار لنگر- دوران تیر غربی نمونه SXL03



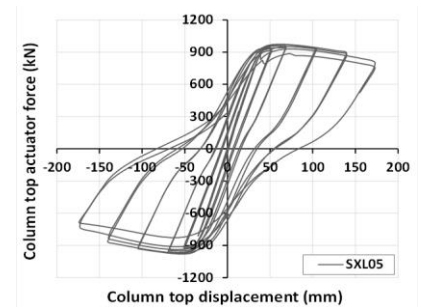
ز) نمودار نیرو- تغییر مکان بالای ستون نمونه SXL03



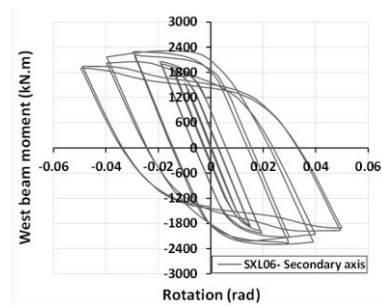
ل) نمودار نیرو- تغییر مکان بالای ستون در نمونه SXL06 در محور اولیه (X)



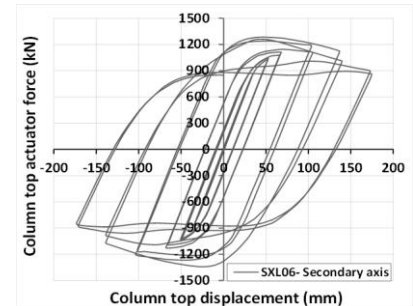
ک) نمودار لنگر- دوران تیر غربی در نمونه SXL05



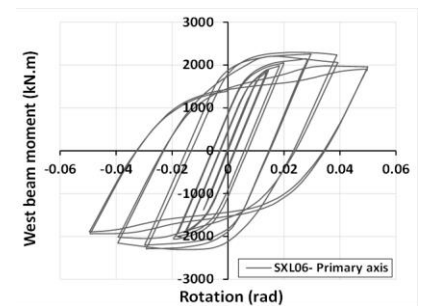
ی) نمودار نیرو- تغییر مکان بالای ستون در نمونه SXL05



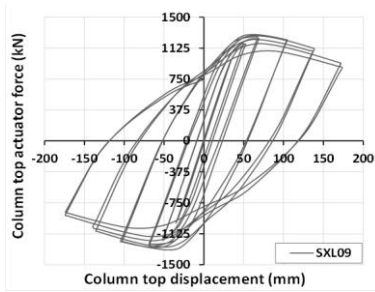
س) نمودار لنگر- دوران تیر غربی در نمونه SXL06 در محور ثانویه (Y)



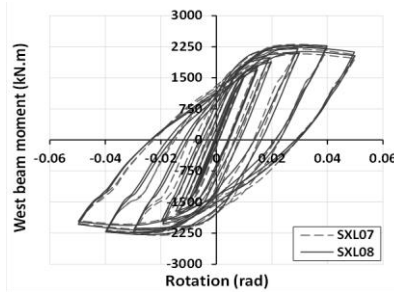
ن) نمودار نیرو- تغییر مکان بالای ستون در نمونه SXL06 در محور ثانویه (Y)



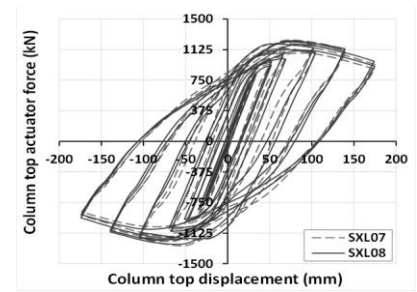
م) نمودار لنگر- دوران تیر غربی در نمونه SXL06 در محور اولیه (X)



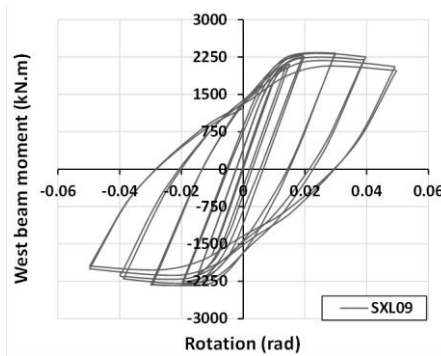
ض) نمودار نیرو- تغییر مکان بالای ستون در نمونه SXL09



ع) نمودار لنگر- دوران تیر غربی در نمونه های SXL07 و SXL08



ف) نمودار نیرو- تغییر مکان بالای ستون در نمونه های SXL07 و SXL08



ق) نمودار لنگر- دوران تیر غربی در نمونه SXL09

شکل (۱۱) نمودار هیستریزس نمونه های مورد بررسی تحت بارگذاری چرخه‌ای

محدوده الاستیک می‌شود. در این نمونه‌ها به علت لغزش پیچ‌ها، جان یقه گوشه دچار مقداری لهیدگی و کماتش تیغه جلوی آن شد. اما در نمونه‌های با موقعیت پیچ‌ها در وجه بیرونی به دلیل لغزش خیلی کمتر پیچ‌ها این امر کمتر است. در صورت قرار گرفتن پیچ‌ها در وسط یقه‌ها، لغزش و کرنش محوری پیچ‌ها کمتر و رفتاری بهتر از دو حالت قبلی، به ویژه نسبت به موقعیت قرارگیری پیچ‌ها در موقعیت داخلی دارد.

المان CWX در تمامی نمونه‌ها الاستیک بود و در هیچ مرحله از بار گذاری وارد ناحیه پلاستیک نشد.

به طور کلی رفتار لرزه‌ای تمامی نمونه‌های دارای تیرهایی با عمق کمتر و یا مساوی W27 با تعداد ۱۶ عدد پیچ، چه در حالت یک‌طرفه، دو طرفه و دو محوره مطلوب و کرنش محوری تمامی پیچ‌ها کمتر از کرنش الاستیک بود.

رفتار لرزه‌ای اتصالات CONXL دارای ۱۶ عدد پیچ با تیرهایی با عمق W30، زمانی مناسب خواهد بود که از

۵- نتیجه گیری

در این مقاله پس از بررسی نمونه‌ها نتایج زیر به دست آمد: در نمونه‌های دارای تیر W24x68 مجموعه سیستم یقه رفتار تقریباً الاستیک داشت. اما با افزایش ارتفاع مقطع تیر به خصوص در مقاطع سری W30 قسمت‌هایی از آنها به مرحله پلاستیک رسیدند. در یقه بال نحوه توزیع حرکت تنش بیشینه، از دور محل سوراخ‌های پیچ به سمت محل اتصال تیغه یقه بال به بال تیر است. در یقه گوشه بیشترین تنش در محل دور سوراخ‌های پیچ و بالای آن بوجود می‌آید.

در نمونه‌های دارای ۱۶ عدد پیچ که در سوراخ‌های درونی نزدیک به جان تیر قرار دارند، کرنش محوری میله پیچ‌ها در آنها کمتر ولی لغزش یقه‌های بال بر روی یقه گوشه بیشتر است. این امر در مقاطع عمیق W30 باعث لغزش شدید یقه بال و قرار گرفتن میله‌های پیچ تحت برش و نیروی محوری می‌شود، که باعث فراتر رفتن کرنش آن از

steel-concrete composite beams—finite element analysis". J Constructional Steel Research 64 (2008); 680-688.

[7] Shahidi, Farhad., Nateghi-Allahi, Fariborz., S. Razzaghi, Mehran., Shahidi, Farhood. "Influential Factor in Improving the Seismic Performance of the Kaiser Bolted Bracket Moment Connection." International Journal of Engineering (IJE), February 2013, Volume 26 - 2 - Transactions B: Applications, pp. 163-176.

[8] Shahidi, Farhad., Nateghi-Allahi, Fariborz., Shahidi, Farhood. "Non-Linear Behavior of New (FSFN) Moment Resisting Connections in Comparison to the Existing KBB Connections in Steel Frames" International Journal of Engineering (IJE), October 2013, Volume 26 - 10 - Transactions A: Basics, pp. 1119-1134.

[9] Sung-M.C., Su-H. P., Yeo-S.Y., Jin-H.K. "A study on the seismic performance of concrete filled square steel tube column-to-beam connections reinforced with asymmetric lower diaphragms ".J Constructional Steel Research 66 (2010); 962_970.

[10] Ghobadi, M.S., Ghassemieh, M., Mazroi, A., Abolmaali, A. "Seismic performance of ductile welded connections using T-stiffener". J Constructional Steel Research 65 (2009); 766_775.

[11] Mirghaderi, Seyed Rasoul., Torabian, Shahabeddin, Keshavarzi, Farhad., "I-beam to box_column connection by a vertical plate passing through the column". J Engineering. Engineering Structures 32 (2010); 2034_2048.

[12] Bree Renz., "CONXTECH's systemized approach to steel construction streamlines and transforms traditional design and construction processes". J Modern Steel Construction, August 2005.

[13] Uang, CM., Kent, Yu-K., Gilton, C. "Cyclic response of RBS moment connections: Loading sequence and lateral bracing effects." SAC Committee 2000, Report No. SSR-99/13.

[14] Adan, SM., Gibb, W. "Experimental Evaluation of Kaiser Bolted Bracket Steel Moment-Resisting Connections", Engineering journal (2009), Vol. 46, No. 3, 181-196.

[15] ABAQUS version 6.10-1 user's manual. Michigan: Hibbit, Carlson & Sorensen Inc. 2010.

[16] AISC. 1999. Manual of steel construction-Load and resistance factor design (LRFD). Chicago (IL): American Institute of Steel Construction.

[17] ANSI/AISC 358-10 & 358s1-11. Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications. ANSI/AISC, Chicago. 2011.

[18] AISC/ANSI 341-10. Seismic provisions for structural steel buildings. Chicago (IL): American Institute of Steel Construction, Inc. 2011.

مصالح ASTM-A36 برای تیرها استفاده شده و فقط برای اتصالات گوشه که به صورت یک طرفه بارگذاری می‌شوند استفاده شوند.

در تمامی نمونه‌های با بار محوری ستون با توجه به این که ستون‌ها فاقد بتن پرکننده و ورق پیوستگی بودند، به دلیل توزیع مناسب تنش در اطراف جداره ستون، اگرچه در نمونه‌های دارای مشخصات مصالح ASTM-A36، تنش در محل اتصال یقه‌های گوشه به کنج ستون و وسط چشمه اتصال بیش از تنش تسلیم بود اما در هیچ یک از نمونه‌ها جداره ستون دچار کمزش محلی نشد. در نمونه‌هایی که دارای مشخصات مصالح ASTM-A572 برای تیر و ستون است، علاوه بر عدم کمزش محلی جداره ستون، مقدار تنش در وسط چشمه اتصال زیر تنش تسلیم بوده و در محل اتصال یقه‌های گوشه به کنج ستون تنش کمی بیش از تنش تسلیم بود. مشاهده نمودارهای لنگر دوران تمام نمونه‌ها مؤید رفتار هیستریک مناسب تمام آنها در دوران‌های بالای ۰/۰۵ رادیان است. این ویژگی سبب می‌شود تا اتصال CONXL برای اتصالات میانی و به ویژه اتصالات کناری و کنج در سازه‌های بلند مناسب باشد. به ویژه اگر از مصالح ASTM-A572 استفاده شود.

۶- 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; 2000.

[4] Park, JW., Kang, SM., Yang, SC. "Experimental studies of wide flange beam to square concrete-filled tube column joints with stiffening plated around the column". J Struct Eng, ASCE 2005;131 (12):1866_76.

[5] Lai-Yun Wu , Lap-LC., Sheng-FT., Chien-FL., Guo-LH. "Seismic behavior of bidirectional bolted connections for CFT columns and H-beams". J Engineering Structures 29 (2007); 395-407.

[6] Jianguo Nie., Kai Qin., C.S. Cai. "Seismic behavior of connections composed of CFSSTCs and

