

## بررسی استفاده از ورق‌های لچکی به عنوان ورق‌های پیوستگی ستون قوطی در اتصالات از پیش تایید شده جوشی تحت بارگذاری چرخه‌ای

محمد علی کافی<sup>۱\*</sup>، پیام طریقی<sup>۲</sup>

۱- استادیار، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

### چکیده

جوشکاری ورق‌های پیوستگی ستون‌های قوطی به راحتی امکان پذیر نبوده و به همین دلیل مطالعاتی برای جایگزینی آن با ورق‌های پیوستگی بیرونی انجام شده است. در این مقاله ابتدا نقش ورق‌های پیوستگی، در سه نمونه اتصال با ورق‌های روسری و زیرسری (WFP)، اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی (WUF-W) و اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته (RBS) مورد بررسی قرار گرفته است. سپس به بررسی استفاده از ورق‌های لچکی به عنوان جایگزین ورق‌های پیوستگی ستون قوطی، تحت بارگذاری چرخه‌ای پرداخته شده است. نتایج این مطالعات نشان داده است که وجود ورق‌های پیوستگی به طور میانگین باعث افزایش ظرفیت باربری، سختی و جذب انرژی این اتصالات به ترتیب برابر با ۶۳، ۸۶ و ۷۵ درصد شده است. همچنین نتایج نشان داده است که استفاده از ورق‌های لچکی به عنوان جایگزین ورق‌های پیوستگی ستون قوطی، باعث ایجاد تنش‌های فرا الاستیک در بال ستون شده و احتمال گسیختگی جوش آنها به بال ستون را افزایش داده است. همچنین استفاده از این ورق‌ها به عنوان جایگزین ورق‌های پیوستگی ستون قوطی، تاثیری بر روی محل تشکیل مفصل پلاستیک نداشته است.

کلمات کلیدی: سازه‌های فولادی، ورق پیوستگی، اتصالات خمشی، مقطع کاهش یافته، ورق‌های لچکی.

\*نویسنده مسئول: محمد علی کافی

پست الکترونیکی: mkafi@semnan.ac.ir

DOI: 10.22065/jsce.2016.41236 شناسه دیجیتال

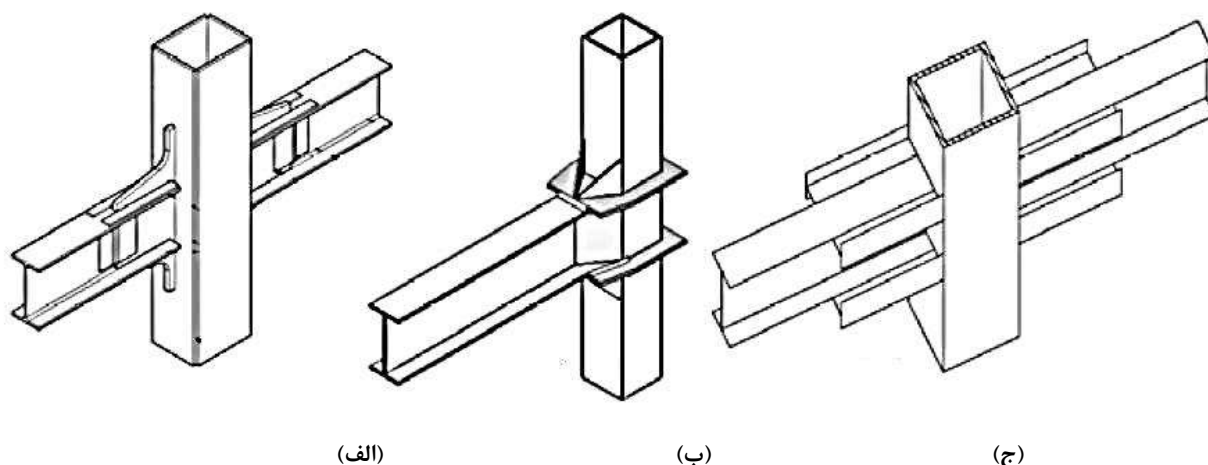
http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2016.41236

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۶

## ۱- مقدمه

در اتصالات خمشی تیر به ستون سازه‌های فولادی، تامین سختی، مقاومت و شکل‌پذیری این اتصالات همواره مورد توجه طراحان بوده است. روش معمول برای این منظور، استفاده از ورق‌های پیوستگی است که در تراز بال‌های کششی و فشاری تیر، به جان و بال ستون جوش می‌شوند. در ستون‌های جعبه‌ای جوش کاری ورق‌های پیوستگی به وجه چهارم این ستون‌ها به راحتی امکان پذیر نیست و این موضوع یکی از معضلات استفاده از این مقاطع می‌باشد. از طرفی دیگر این مقاطع از ظرفیت پیچشی بالایی برخوردارند و بعلاوه برای تحمل خمش در سازه‌های که در دو جهت دارای سیستم قاب خمشی می‌باشند، بسیار مناسب هستند. به همین دلیل پیدا کردن جایگزینی‌های مناسب برای ورق‌های پیوستگی ستون‌های جعبه‌ای دارای اهمیت است. این اهمیت باعث تحقیقات متعددی در این زمینه شده است و روش‌های جایگزینی نیز معرفی شده است [۱].

تحقیقات متعددی انجام شده است که به اهمیت و نقش ورق پیوستگی در اتصالات خمشی تیر به ستون‌های جعبه‌ای پرداخته‌اند [۲]. این تحقیقات بیان گر نقش و اهمیت ورق پیوستگی بر عملکرد این اتصالات می‌باشد و بر وجود ورق پیوستگی داخلی و یا بیرونی ستون‌های جعبه‌ای تاکید می‌کند. هدف این مقاله ارائه راهکاری برای جایگزینی ورق پیوستگی در اتصال خمشی تیر به ستون جعبه‌ای که ضمن حفظ عملکرد مناسب اتصال از سهوات اجراء برخوردار باشد. مراجع و آیین‌نامه‌ها و نیز در پژوهش‌هایی که پیشتر در مورد عدم اجرای ورق پیوستگی انجام شده است، استفاده از سخت‌کننده‌های بیرونی T شکل [۳-۴]، حلقه‌ای [۵-۶] و سخت‌کننده‌های درونی ورق عمودی [۷] را برای تقویت چشمه اتصال پیشنهاد داده‌اند (شکل ۱)، که اجرای بعضی از این سخت‌کننده‌ها نیز همانند اجرای ورق پیوستگی در داخل ستون با دشواری انجام می‌شود. یکی از مزایای سخت‌کننده‌های خارجی، قابلیت نصب آنها پس از اجرای اسکلت سازه است.



شکل ۱: (الف) اتصال تیر به ستون با سخت‌کننده درونی ورق عمودی [۷] (ب) سخت‌کننده‌های بیرونی حلقه‌ای [۵-۶] (ج) T شکل [۳-۴].

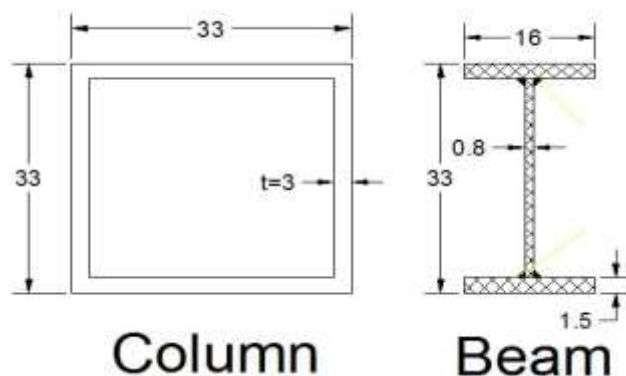
همچنین مختاری و همکاران به بررسی عددی استفاده از انواع سخت‌کننده‌های خارجی برای ستون با مقطع قوطی پرداخته‌اند [۸]. استفاده از سخت‌کننده‌های خارجی T شکل علاوه بر جبران نبود ورق‌های پیوستگی، موجب افزایش سختی و مقاومت اتصال شد. احمدی و همکاران استفاده از سخت‌کننده‌های پروانه‌ای را به عنوان جایگزینی برای ورق‌های پیوستگی ستون با مقطع قوطی معرفی کردند [۹]. این نوع از سخت‌کننده‌ها نه تنها توانستند مشکل ورق‌های پیوستگی را برطرف سازند بلکه از لحاظ عملکردی نیز تاثیرات مثبتی را بر روی رفتار اتصال بوجود آوردند. همچنین ترابیان و همکاران، با بررسی و همکاران، با بررسی ستون‌های قوطی شکل مورد استفاده در قاب‌های خمشی صلب به این نتیجه رسیدند که نصب و جوشکاری ورق‌های پیوستگی کاری پرهزینه و دشوار است [۱۰]. لذا یک اتصال جدید تیر به ستون به نام اتصال ورق میانگذر قطری را ارائه نمودند که یک مسیر بار جدید متفاوت از اتصالات متداول فراهم کند و نیز فرایند ساخت اتصال را آسانتر نماید.

همچنین در مطالعه صباغی و دیلمی [۱۱] که به بررسی وجود جوش یا عدم جوش در اتصال صفحات پیوستگی به ستون قوطی در اتصال گیردار تیر به ستون قوطی پرداخته شده است این نتیجه حاصل شد که نحوه اتصال صفحات پیوستگی به ستون قوطی تاثیری در رفتار کلی و موضعی اتصال در بر اتصال و مفصل پلاستیک ندارد. همچنین جوش ورق‌های پیوستگی تنها در محل اتصال تیر به ستون بدلیل وجود کشش در گوشه‌های بال ستون و احتمال رخ دادن پارگی در بال ستون نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اتصالات گیردار همراه با صفحات انتهایی پیچ شده به طور گسترده‌ای در قاب‌های خمشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این وجود عدم دسترسی به داخل ستون جعبه‌ای به منظور نصب ورق‌های پیوستگی و همچنین سفت کردن پیچ‌های اتصال کارایی گستره این اتصالات را تحت تاثیر قرار داده است. در مدلی که عرفانی و همکاران [۱۲] پیشنهاد دادند، علاوه بر اینکه امکان سفت کردن پیچ‌های اتصال به راحتی وجود دارد همچنین مسیر انتقال نیرو بوسیله یک تیر I شکل کوچک به همراه سخت کننده‌هایی به جان ستون منتقل شده و دیگر نیازی به استفاده از ورق‌های پیوستگی نمی‌باشد. همچنین آیین‌نامه [۱۳] AISC 358-10 استفاده از اتصال از پیش تایید شده ConXL را به منظور اتصال تیر I شکل به ستون‌های جعبه‌ای پیشنهاد داده است.

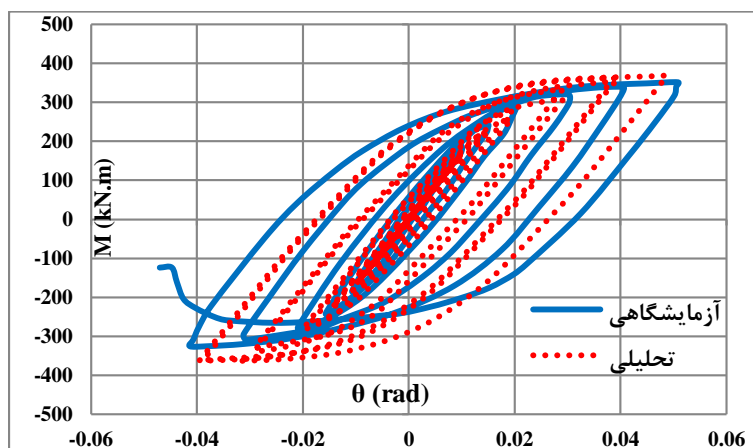
در این مطالعه ابتدا به بررسی تاثیر ورق‌های پیوستگی در اتصال با ورق روسری و زیرسری (WFP)، اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی (WUF-W) و اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته (RBS) پرداخته شده است. سپس به ارائه پیشنهادی برای ورق‌های پیوستگی داخلی به منظور سهولت در امر اجرا پرداخته شده و مقایسه‌ای بین رفتار آن با اتصال WFP و RBS و WUF-W با ورق پیوستگی داخلی معمولی صورت گرفته است.

## ۲- صحت سنجی

برای صحت سنجی از مطالعه آزمایشگاهی جهانبختی [۱۴] که در سال ۲۰۱۵ به منظور حذف ورق‌های پیوستگی داخلی ستون قوطی در اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی (WUF-W) انجام شده، استفاده شده است. در این مطالعه با اتصال ورق‌هایی به ستون قوطی ضخامت ناحیه اتصال تیر به ستون و ۶۰ سانتی‌متر بالا و پایین آن، تقویت شده است. مدل کوچک، برای امر صحت سنجی در نرم افزار اجزای محدود آباکوس مدل‌سازی شده و به منظور مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی، نمودارهای لنگر در وجه ستون - تغییر مکان نسبی طبقه آنها بر روی یک نمودار نمایش داده شده است. پروتکل بارگذاری اعمال شده به نمونه‌ها مطابق با آیین‌نامه AISC-341 بوده است. همچنین در مدل‌سازی از المان‌ها پوسته‌ای چهار گرهی استفاده شده است. ابعاد تیر و ستون در شکل ۲ نمایش داده شده است. در ساخت نمونه و مدل‌سازی از فولاد ST37 استفاده شده و بار چرخه‌ای به انتهای تیر اعمال شده است. همچنین اتصال بصورت یکطرفه مدل‌سازی شده است. همان طور که در شکل ۳ قابل مشاهده است، نتایج آزمایشگاهی و عددی دارای مطابقت قابل قبولی می‌باشد و می‌توان علت اختلاف نتایج آزمایشگاهی و تحلیل عددی را مشخص نبودن دقیق رفتار مصالح دانست. همچنین در شکل ۴ تصاویری از انجام آزمایش نشان داده شده است.



شکل ۲: ابعاد نمونه کوچک آزمایشگاهی (ابعاد مقاطع بر حسب سانتی‌متر) [۱۴].



شکل ۳: نمودار لنگر- دوران (M-θ) برای مدل تحلیلی و آزمایشگاهی [۱۴].

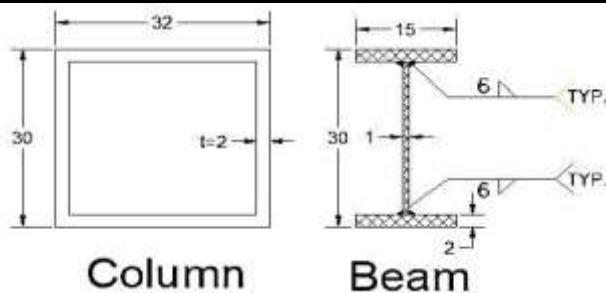


شکل ۴: نمونه اتصال کوچک در دوران ۰/۰۵ رادیان [۱۴].

با توجه به مشاهدات آزمایشگاهی نمونه کوچک، در نیم سیکل رفت چرخه اول ۵ درصد (۳۱ چرخه)، در محل اتصال بال تیر به ستون کمانش جزئی موضعی بال تیر مشهود بوده است ولی در نیم چرخه برگشت، جوش در محل اتصال بال تیر به ستون دچار پارگی شده و با باز شدن کامل محل درز، تست پایان یافته است.

### ۳- طراحی نمونه‌ها

نمونه‌های مورد مطالعه مقاله، از یک ساختمان آموزشی و در دست اجرای دانشگاه سمنان انتخاب شده است. این ساختمان دارای ۳ طبقه بوده است. طول آن ۶۰ متر و عرض ساختمان برابر ۲۳ متر می‌باشد. همچنین سیستم باربر جانبی آن در هر دو طرف قاب خمشی متوسط می‌باشد. مقاطع تیر و ستون در شکل ۵ نمایش داده شده است. طول ستون برابر ۳۷۵ سانتیمتر و طول تیر برابر ۳۰۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

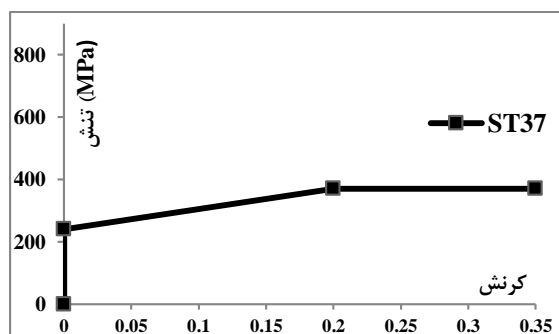


شکل ۵: مقاطع تیر و ستون (ابعاد مقطع سانتی متر و ابعاد جوش بر حسب میلی متر می باشد).

همچنین در طراحی نمونه‌ها از نوع فولاد ST37 مطابق با جدول ۱ استفاده شده است. نمودار تنش-کرنش آن در شکل ۶ نمایش داده شده و در جدول ۲ نام مدل‌های مورد مطالعه ذکر گردیده است.

جدول ۱: مشخصات مکانیکی مصالح

نمونه	Fy (MPa)	Fu (MPa)	E (MPa)	$\nu$
ST37	۲۴۰	۳۷۰	۲۱۰۰۰۰	۰/۳

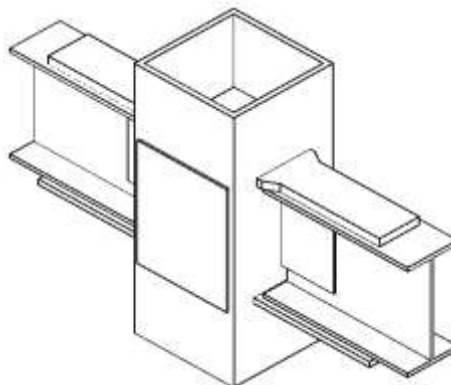


شکل ۶: نمودار تنش کرنش فولادهای ST37

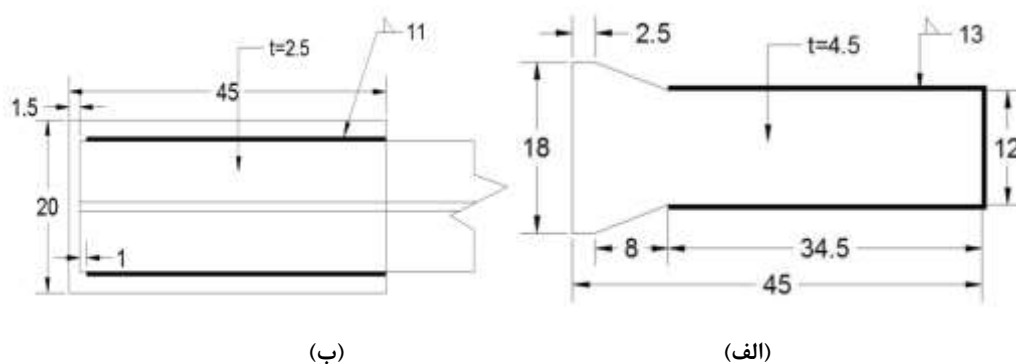
جدول ۲: نام گذاری نمونه‌های مورد مطالعه

نام اختصاری	توضیحات	مدل
WFP-WP	اتصال با ورق های روسری و زیرسری همراه با ورق های پیوستگی داخلی	۱
WFP-WOP	اتصال با ورق های روسری و زیرسری بدون ورق های پیوستگی	۲
RBS-WP	اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته همراه با ورق های پیوستگی داخلی	۳
RBS-WOP	اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته بدون ورق های پیوستگی	۴
WUF-W-WP	اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی همراه با ورق های پیوستگی داخلی	۵
WUF-W-WOP	اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی بدون ورق های پیوستگی	۶
WFP-RP	استفاده از ورق های پیوستگی لچکی شکل در اتصال WFP	۷
RBS-RP	استفاده از ورق های پیوستگی لچکی شکل در اتصال RBS	۸
WUF-RP	استفاده از ورق های پیوستگی لچکی شکل در اتصال WUF-W	۹

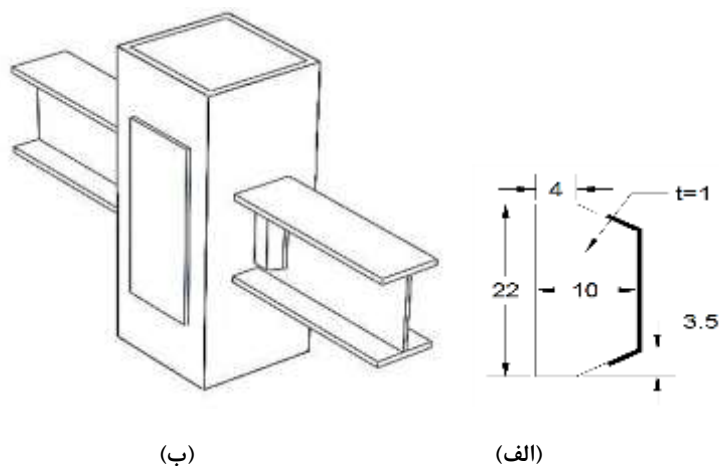
در شکل‌های ۷ تا ۱۰ جزئیات اتصال با ورق روسری و زیرسری (WFP)، اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی (WUF-W) و اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته (RBS) آورده شده است. ضخامت ورق‌های پیوستگی در اتصالات WFP، WUF-W و RBS به ترتیب برابر ۴/۵، ۲/۵ و ۲/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. تمامی اتصالات فوق براساس آیین‌نامه مبحث دهم مقررات ملی ساختمان طراحی شده است [۱۵].



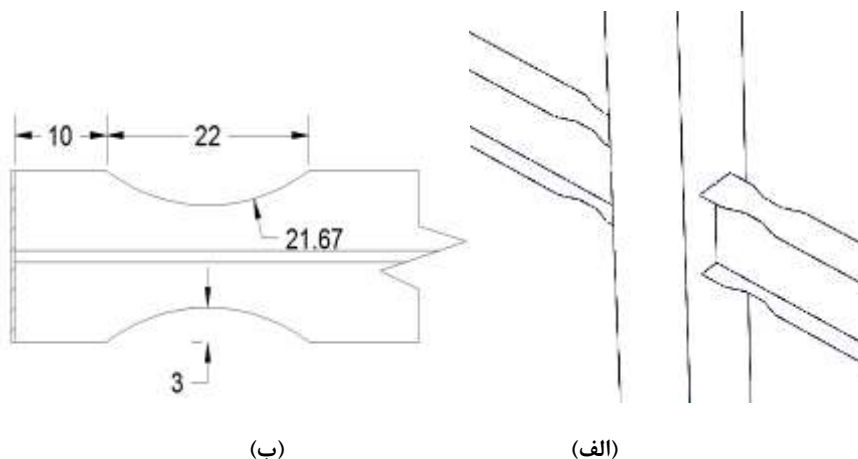
شکل ۷: اتصال با ورق روسری و زیرسری (WFP).



شکل ۸: (الف) ورق زیرسری (ب) ورق روسری (ابعاد سانتی‌متر).



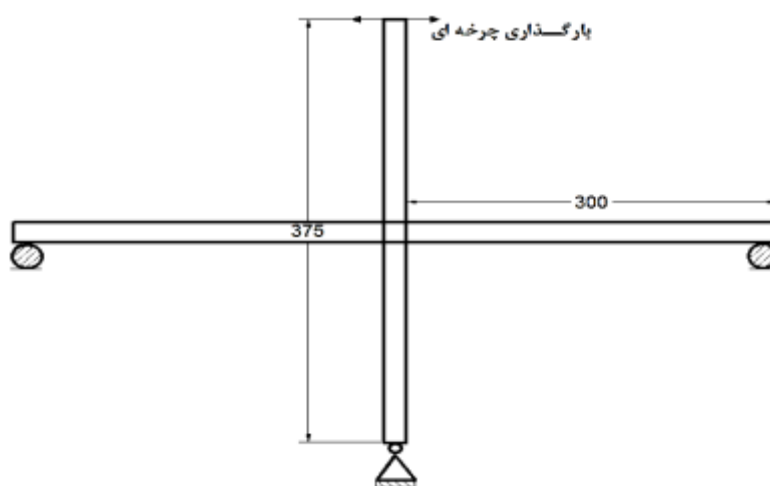
شکل ۹: (الف) اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی (WUF-W) (ب) ابعاد ورق تک جان (ابعاد سانتی‌متر).



شکل ۱۰: (الف) اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته (RBS) (ب) جزئیات ناحیه کاهش یافته (ابعاد سانتی‌متر).

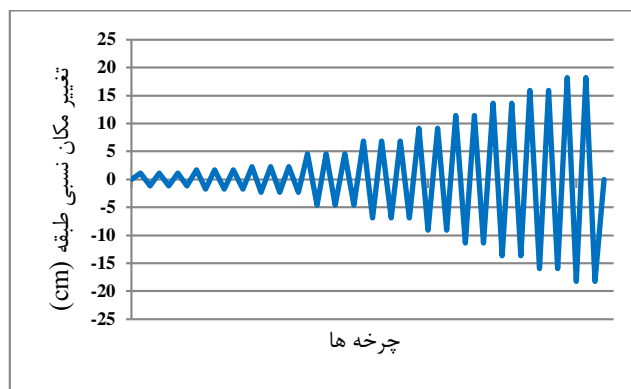
برای تحلیل اتصالات از نرم افزار اجزای محدود آباکوس ۱-۶،۱۰ با قابلیت در نظر گرفتن اثرات غیرخطی هندسی و مصالح استفاده شده است [۱۶]. برای طراحی تیر و ستون، المان پوسته‌ای ۴ گره‌ای و برای اعضای اتصال از المان توپر ۸ گره‌ای مورد استفاده قرار گرفته است.

طبق ضوابط ارائه شده در FEMA-355D [۱۷] در مورد شرایط تکیه‌گاهی طرح ریزسازه اتصال دو طرفه، انتهای تحتانی ستون روی تکیه‌گاه مفصلی و انتهای آزاد تیر روی تکیه‌گاه غلطکی قرار داده شده است (شکل ۱۱). برای جلوگیری از وقوع کمناش پیچشی- جانبی تیر، مهار جانبی برای بال فوقانی تیر، با فرض وجود دال بتنی، به صورت سراسری و برای بال تحتانی نقاطی از تیر در فاصله بین انتهای ناحیه حفاظت شده تا نصف عمق تیر بعد از آن و نقاطی در ابتدای تیر مهار شده است. لازم به ذکر است که جوش‌ها در نرم افزار مدل‌سازی نشده‌اند و رفتار آنها توسط امکانات نرم افزار شبیه سازی شده است.



شکل ۱۱: شرایط تکیه‌گاهی و ابعاد تیر و ستون.

بارگذاری توسط اعمال تغییر مکان چرخه‌ای، طبق الگوی بارگذاری آیین‌نامه ATC-24 در انتهای بالایی ستون، انجام شده است [۱۸]. الگوی بارگذاری در شکل ۱۲ نمایش داده شده است.

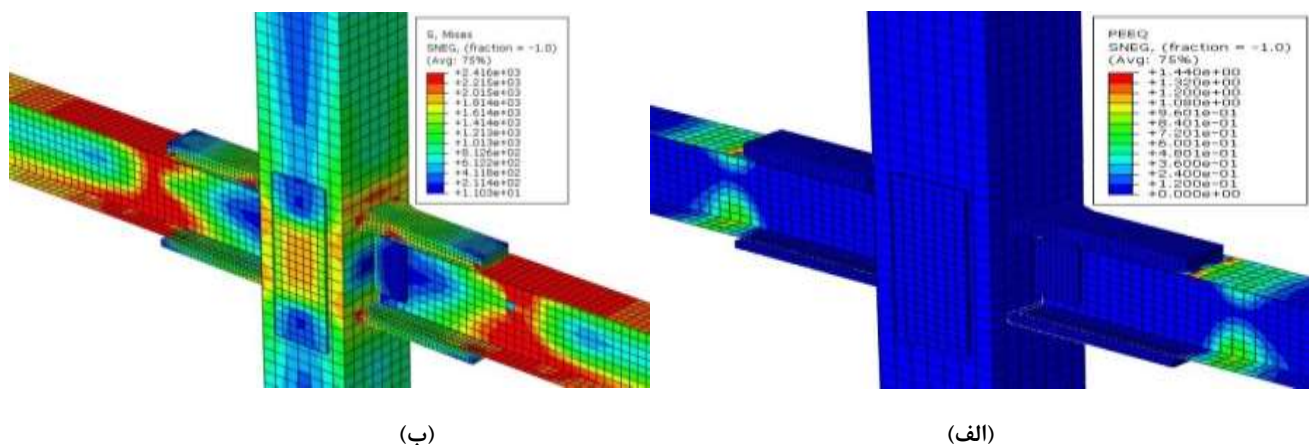


شکل ۱۲: الگوی بارگذاری چرخه‌ای آیین‌نامه ATC-24 [۱۸].

#### ۴- نتایج تحلیل چرخه‌ای اتصالات

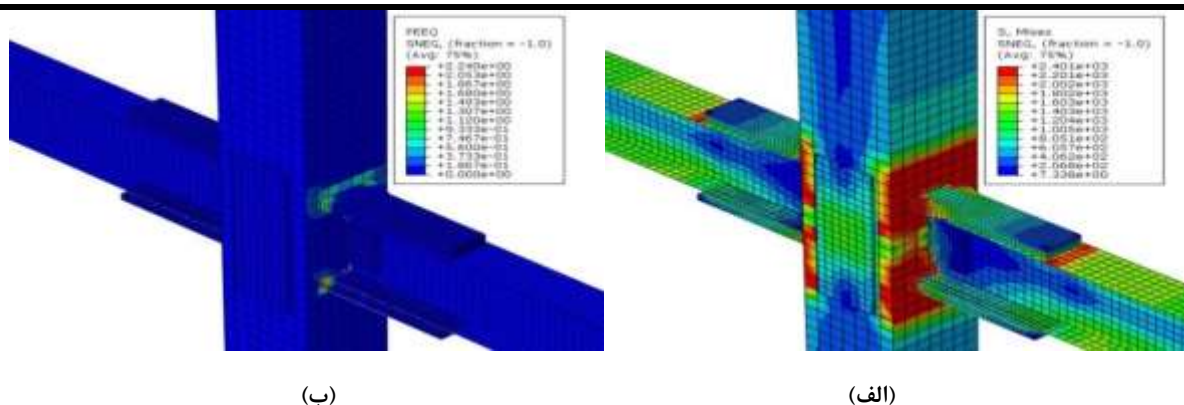
##### ۴-۱- مقایسه اتصالات با ورق پیوستگی و بدون آنها

در شکل ۱۳ تا ۱۸ توزیع تنش فون مایسز و توزیع کرنش پلاستیک معادل، به ترتیب برای اتصالات WFP، RBS و WUF-W همراه با ورق‌های پیوستگی و بدون آنها در پایان تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان نمایش داده شده است.

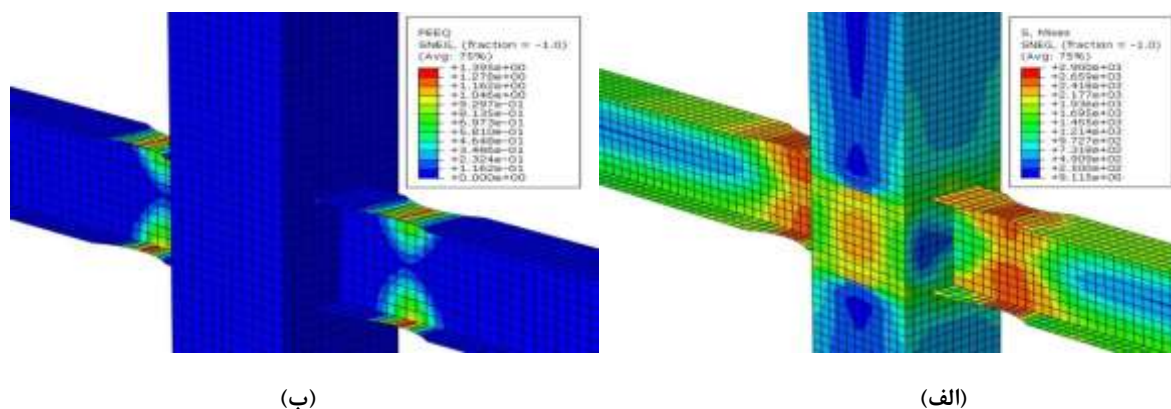


شکل ۱۳: اتصال WFP همراه با ورق‌های پیوستگی (الف) توزیع تنش فون مایسز (ب) کرنش پلاستیک معادل (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان).

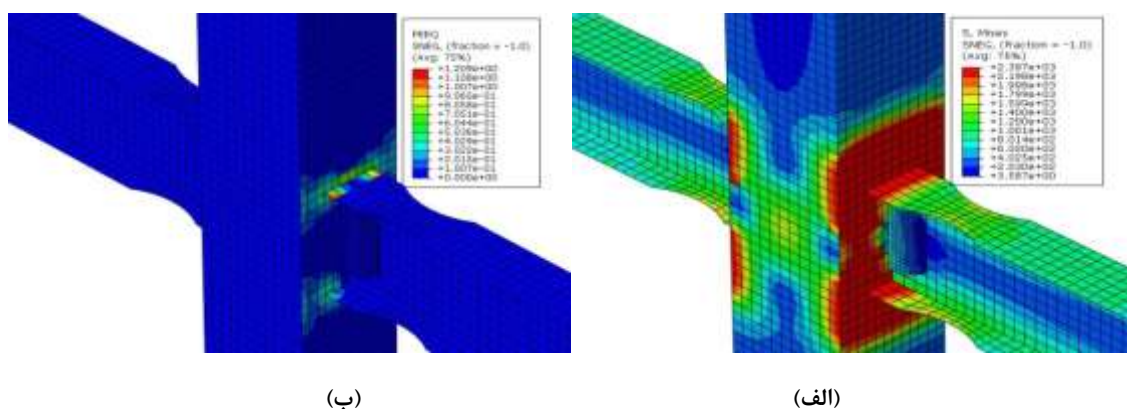




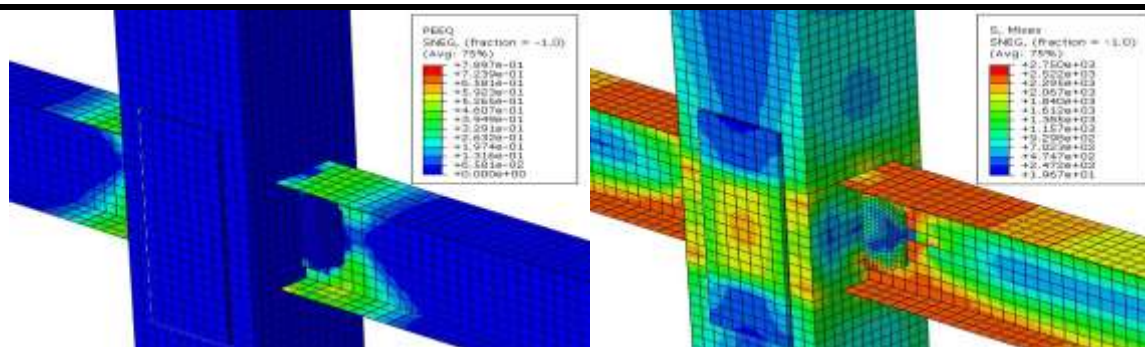
شکل ۱۴: اتصال WFP بدون ورق‌های پیوستگی (الف) توزیع تنش فون مایسز (ب) کرنش پلاستیک معادل (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان).



شکل ۱۵: اتصال RBS همراه با ورق پیوستگی (الف) توزیع تنش فون مایسز (ب) کرنش پلاستیک معادل (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان).



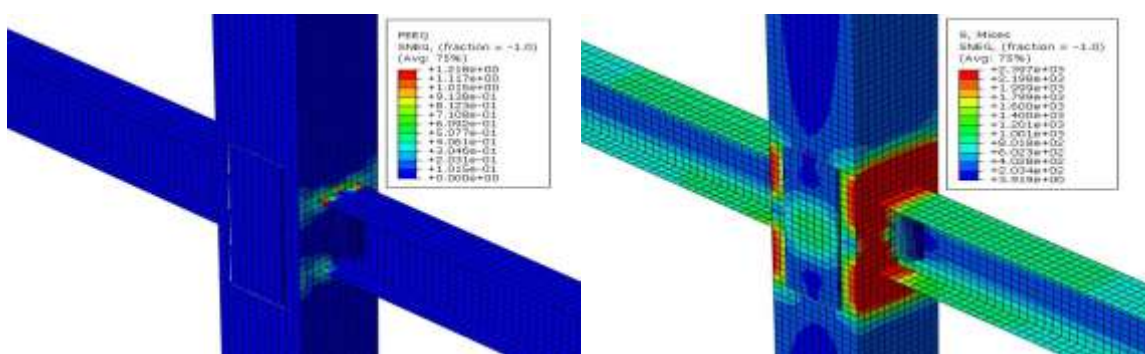
شکل ۱۶: اتصال RBS بدون ورق پیوستگی (الف) توزیع تنش فون مایسز (ب) کرنش پلاستیک معادل (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان).



(ب)

(الف)

شکل ۱۷: اتصال WUF-W همراه با ورق پیوستگی (الف) توزیع تنش فون مایسز (ب) کرنش پلاستیک معادل (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان).



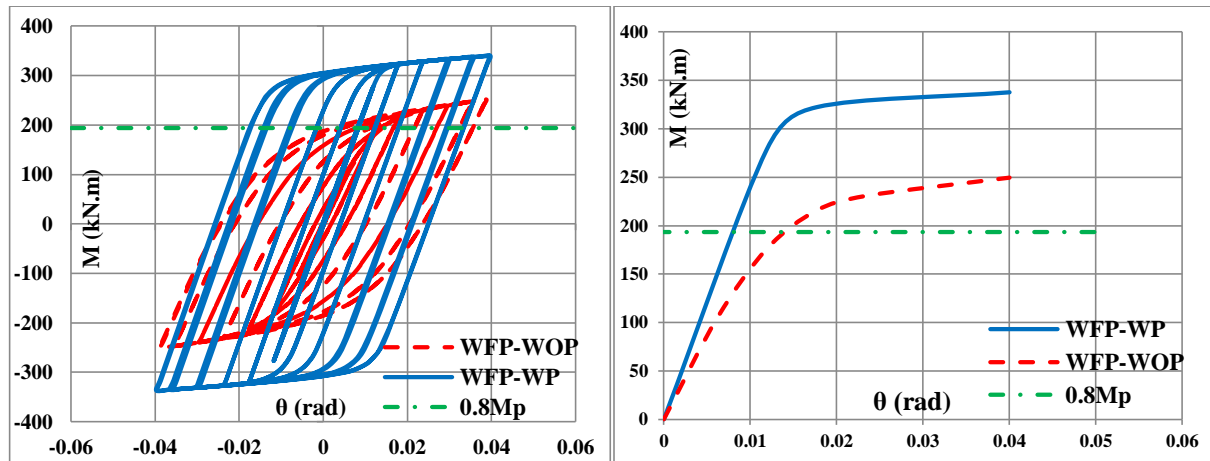
(ب)

(الف)

شکل ۱۸: اتصال WUF-W بدون ورق پیوستگی (الف) توزیع تنش فون مایسز (ب) کرنش پلاستیک معادل (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان).

همان طور که در شکل‌ها مشخص است در مدل‌های دارای ورق پیوستگی مفصل پلاستیک در فاصله‌ای دور از بر ستون تشکیل شده است. این در حالی است که اتصالاتی که فاقد ورق پیوستگی در چشمه اتصال بودند، دچار تسلیم شدگی در چشمه اتصال شده و مفصل پلاستیک در محل اتصال تیر به ستون شکل گرفته است.

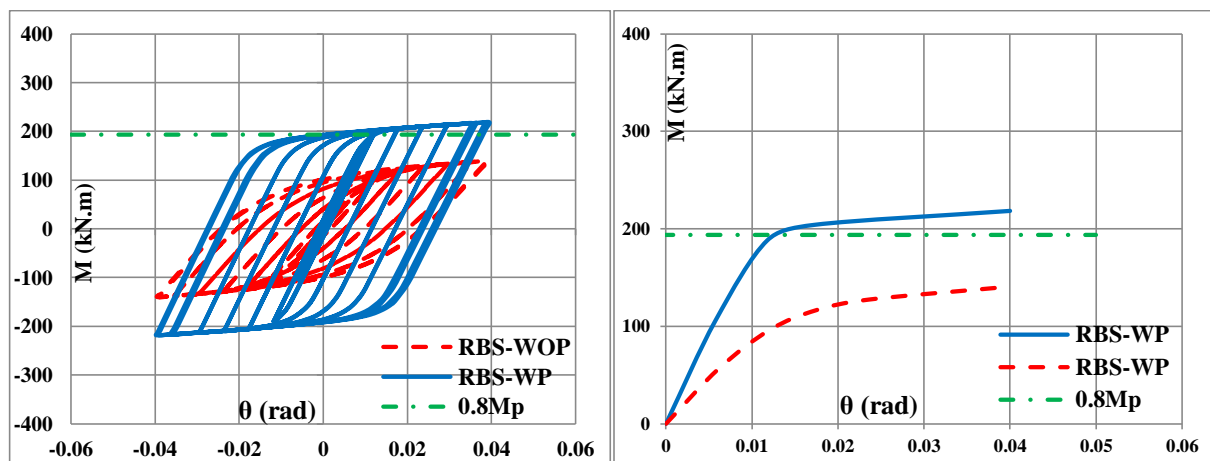
در شکل‌های ۱۹ تا ۲۱ منحنی‌های چرخه‌ای لنگر در بر ستون- دوران ( $M-\theta$ ) برای اتصالات مطرح شده در بالا رسم گردیده است. و مقایسه بین اتصالات با ورق پیوستگی و بدون آنها به صورت نمودار میله‌ای از لحاظ مقدار و به صورت جدولی از نظر میزان افت ظرفیت باربری، جذب انرژی و سختی اتصالات به درصد بیان شده است (شکل ۲۲ و جدول ۳).



(ب)

(الف)

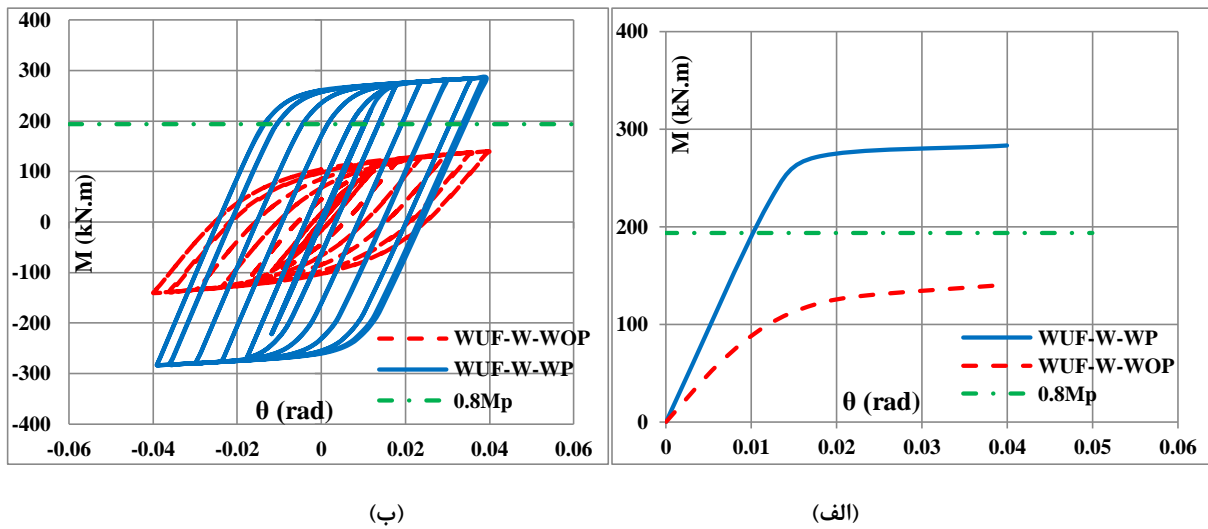
شکل ۱۹: اتصال WFP (الف) نمودار چرخه‌های لنگر-دوران ( $M-\theta$ ) (ب) نمودار پوش (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان).



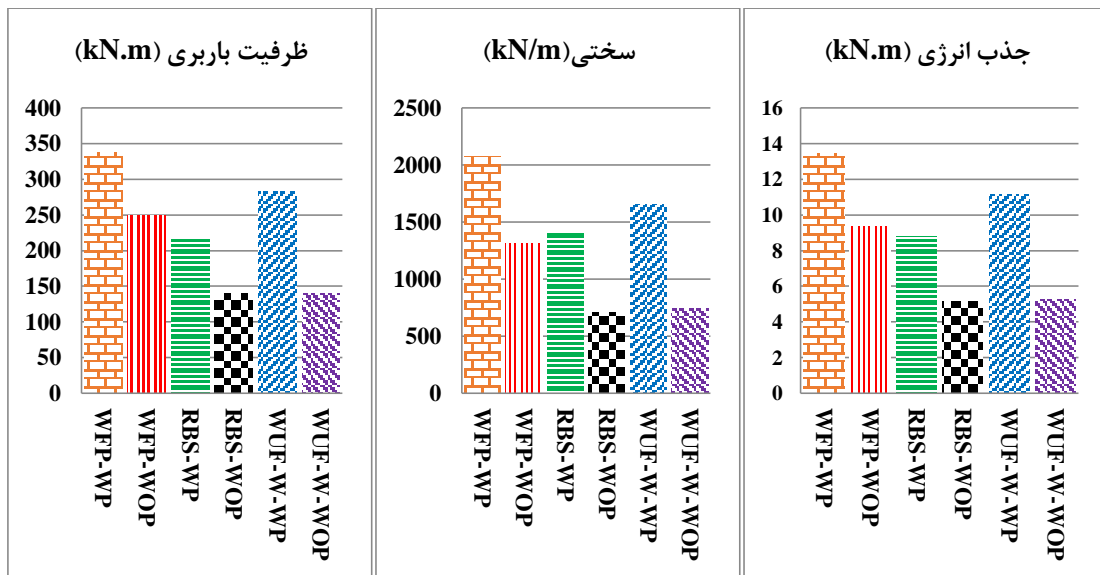
(ب)

(الف)

شکل ۲۰: اتصال RBS (الف) نمودار چرخه‌های لنگر-دوران ( $M-\theta$ ) (ب) نمودار پوش (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان).



شکل ۲۱: اتصال WUF-W (الف) نمودار چرخه‌ای لنگر-دوران ( $M-\theta$ ) (ب) نمودار پوش (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان).



شکل ۲۲: مقایسه اتصالات از لحاظ سختی، جذب انرژی و ظرفیت باربری.

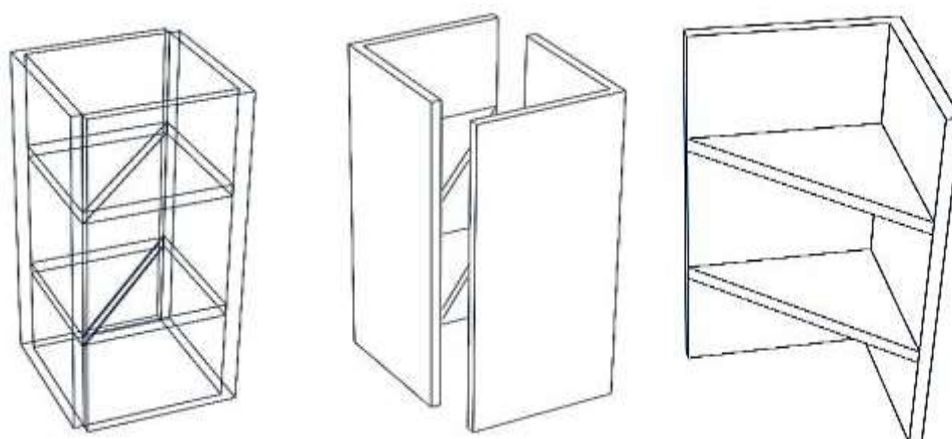
جدول ۳: مقایسه اتصالات از لحاظ سختی، جذب انرژی و ظرفیت باربری

ظرفیت باربری (درصد)	سختی (درصد)	جذب انرژی (درصد)	اتصال
			اتصال
افزایش ۳۵/۰	افزایش ۵۹/۰	افزایش ۴۳/۰	WFP-WP
			WFP-WOP
افزایش ۵۴/۰	افزایش ۱۰۰/۰	افزایش ۶۹/۰	RBS-WP
			RBS-WOP
افزایش ۱۰۱/۰	افزایش ۹۸/۰	افزایش ۱۱۲/۰	WUF-W-WP
			WUF-W-WOP
افزایش ۶۳/۰	افزایش ۸۶/۰	افزایش ۷۵/۰	میانگین

همان طور که از شکل ۲۲ و جدول ۳ مشخص است، وجود ورق‌های پیوستگی بر روی جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری تاثیر قابل توجهی داشته و توانسته است به طور میانگین ظرفیت باربری، سختی و جذب انرژی اتصالات از پیش تایید شده جوشی را به ترتیب ۶۳، ۸۶ و ۷۵ درصد افزایش دهد. همچنین میزان اثرگذاری ورق‌های پیوستگی بر روی عملکرد اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی بیشتر از سایر اتصالات دیگر بوده است.

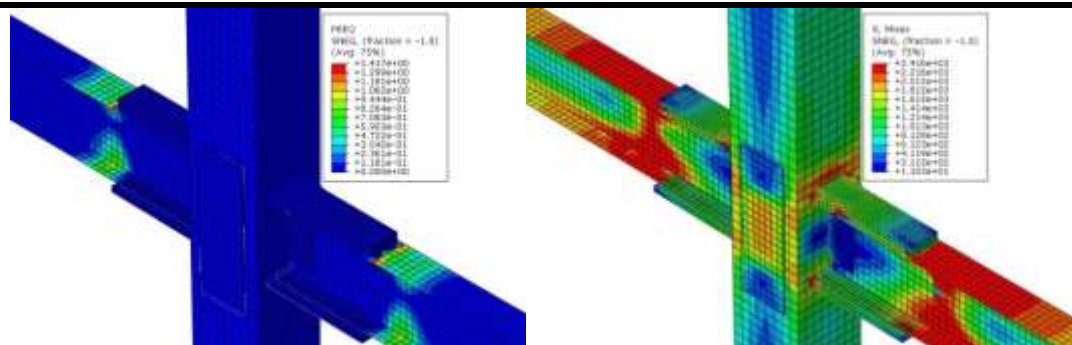
#### ۴-۲- تاثیر ورق‌های لچکی به عنوان ورق‌های پیوستگی

در این قسمت از مقاله به بررسی راهکاری به منظور سهولت در امر اجرای ورق‌های پیوستگی داخلی مطرح شده است. در این روش از ورق‌های لچکی با همان ضخامت ورق‌های پیوستگی داخلی استفاده شده است. بدین ترتیب که ابتدا دو وجه از ستون به یکدیگر جوش شده سپس ورق‌های لچکی به وسیله جوش شیاری با نفوذ کامل به وجوه ستون متصل گردیده است. این روش برای دو وجه دیگر ستون نیز اجرا شده و در نهایت این دو قسمت از ستون به یکدیگر با جوش شیاری متصل می‌گردد. شکل ۲۳ نحوه اجرای این ورق‌ها را نمایش می‌دهد.



شکل ۲۳: ورق‌های پیوستگی داخلی لچکی.

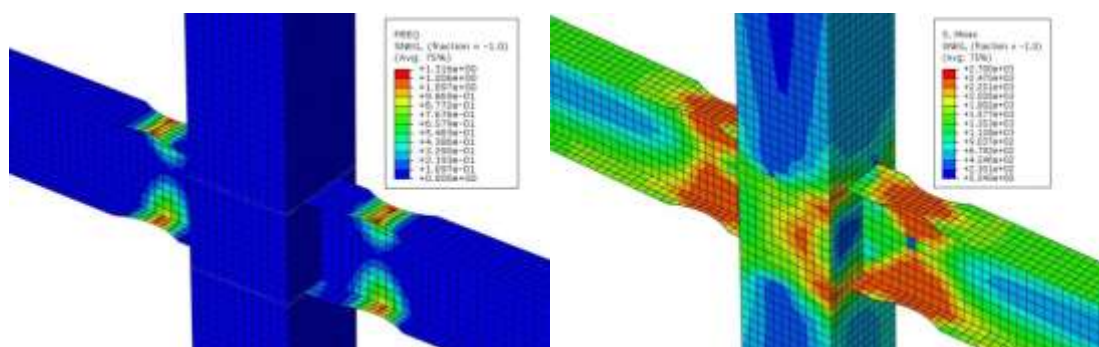
این نوع از ورق‌های پیوستگی داخلی، برای اتصال با ورق روسری و زیرسری، اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته و اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی تحت بارگذاری چرخه‌ای در نرم افزار اجزای محدود آباکوس مورد بررسی قرار گرفته است. توزیع تنش فون مایسز و کرنش پلاستیک معادل آنها در شکل‌های ۲۴ تا ۲۶ نمایش داده شده است.



(ب)

(الف)

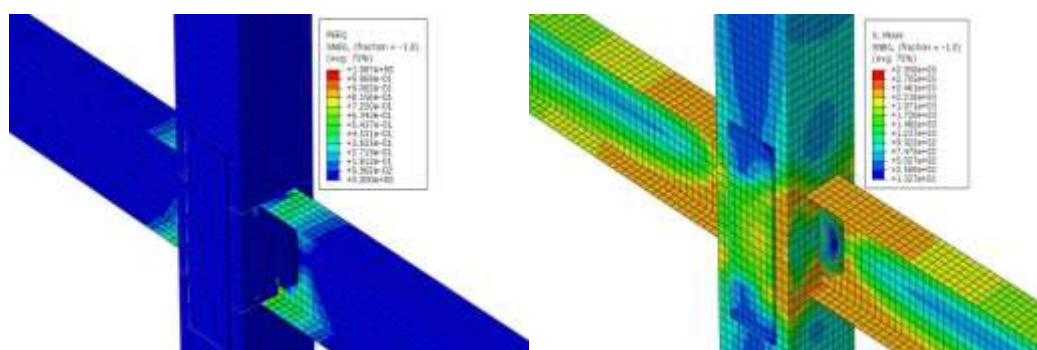
شکل ۲۴: اتصال با ورق پیوستگی لچکی در اتصال WFP (الف) توزیع تنش فون مایسز (ب) توزیع کرنش پلاستیک معادل (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان).



(ب)

(الف)

شکل ۲۵: اتصال با ورق پیوستگی لچکی در اتصال RBS (الف) توزیع تنش فون مایسز (ب) توزیع کرنش پلاستیک معادل (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان).

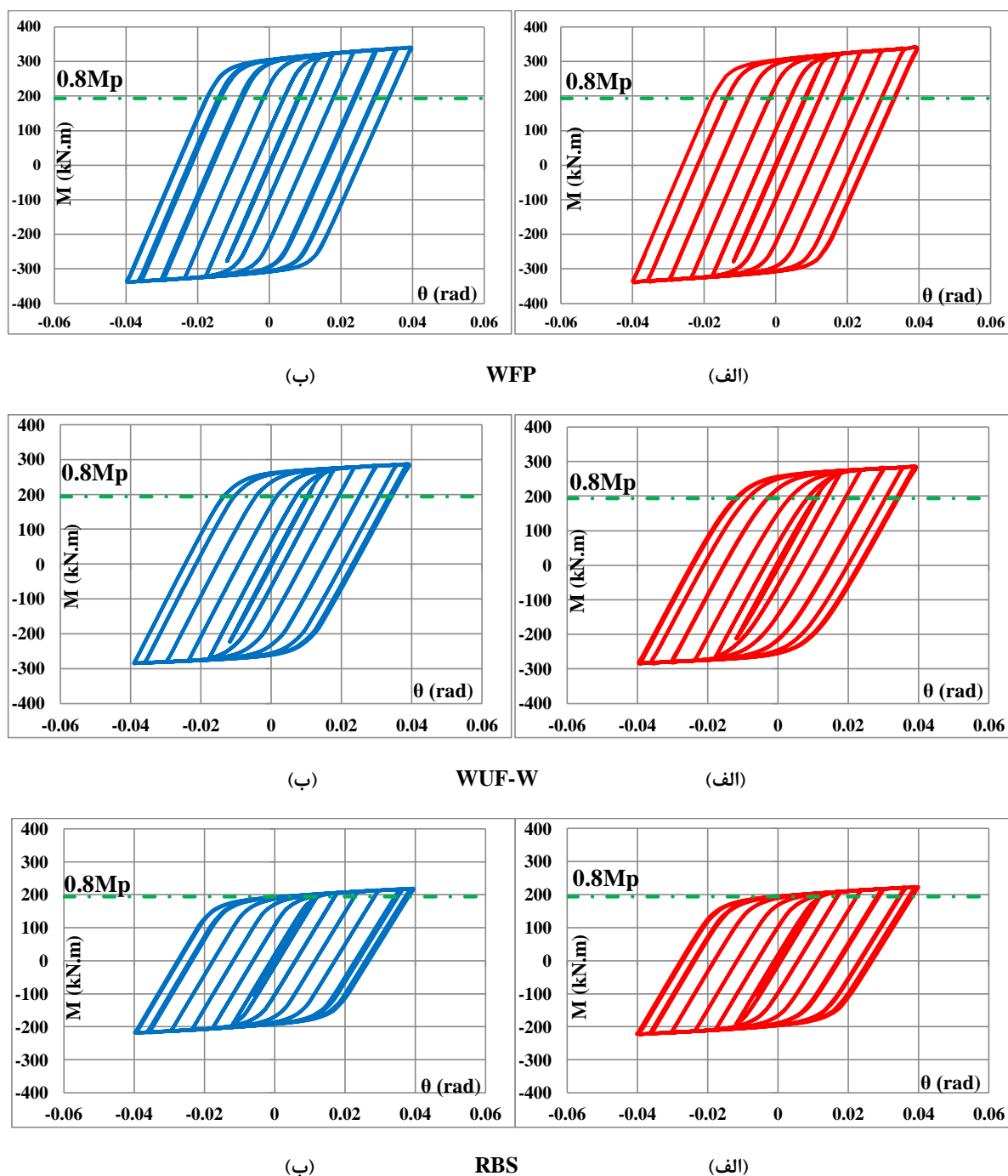


(ب)

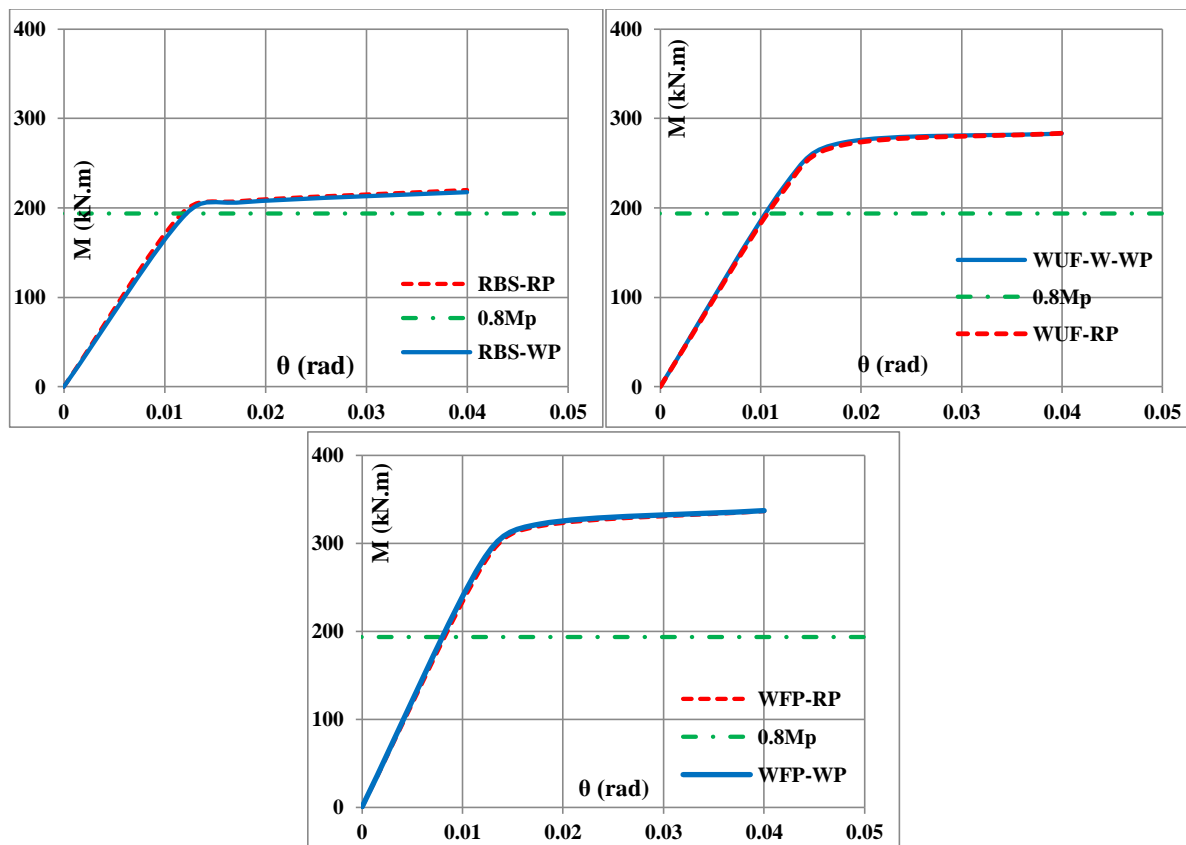
(الف)

شکل ۲۶: اتصال با ورق پیوستگی لچکی در اتصال WUF-W (الف) توزیع تنش فون مایسز (ب) توزیع کرنش پلاستیک معادل (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان)

همان طور که در شکل‌های ۲۴ تا ۲۶ مشاهده می‌شود مفصل پلاستیک در تمامی اتصالات از پیش تایید شده جوشی در فاصله‌ای دور از بر ستون تشکیل شده است و ورق‌های پیوستگی مثلثی بر روی مکان تشکیل مفصل پلاستیک تاثیری نگذاشته‌اند. با این حال وجود کرنش‌های پلاستیک در بال ستون، در قسمتی که تمرکز مصالح در ورق‌های مثلثی شکل کمتر است نسبت به حالتی که از ورق‌های پیوستگی مستطیلی استفاده می‌گردد، احتمال گسیختگی ورق‌های پیوستگی از بال ستون را در این ناحیه افزایش داده است. این ورق‌ها می‌بایست برای اتصالات با ابعاد مختلف تیر و ستون مورد مطالعه قرار گیرد تا بتوان به یک نتیجه کلی دست پیدا کرد. در شکل ۲۷ و ۲۸ نمودار چرخه‌ای لنگر در بر ستون - دوران و پوش آنها برای اتصالات نمایش داده شده است.



شکل ۲۷: نمودار چرخه‌ای لنگر دوران ( $M-\theta$ ) اتصالات (الف) ورق پیوستگی معمولی (ب) ورق پیوستگی لچکی.



شکل ۲۸: نمودار پوش اتصالات همراه با ورق پیوستگی مستطیلی و مثلثی.

همان طور که در شکل‌های ۲۷ و ۲۸ مشاهده شده است، استفاده از ورق‌های مثلثی به عنوان ورق پیوستگی در ستون با مقطع قوطی تاثیر بسیار اندکی نسبت به اتصالات با ورق پیوستگی مستطیلی داشته است. با این حال قصد داریم در مطالعات آتی به آزمایش این نوع از ورق‌های پیوستگی بپردازیم. در جدول ۴ مقدار جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری اتصالات مطرح شده با ورق پیوستگی مثلثی و ورق پیوستگی مستطیلی آورده شده است.

جدول ۴: ظرفیت باربری، سختی و جذب انرژی اتصالات همراه با ورق‌های پیوستگی معمولی و لچکی

مدل	جذب انرژی (kN.m)	سختی (kN/m)	ظرفیت باربری (kN.m)
WFP-WP	۱۳/۴۴	۲۰۷۸/۴۶	۳۳۷/۵۰
WFP-RP	۱۳/۳۲	۲۰۲۳/۴۸	۳۳۶/۶۶
RBS-WP	۸/۷۵	۱۴۱۶/۱۸	۲۱۷/۳۵
RBS-RP	۸/۸۸	۱۴۱۶/۱۳	۲۲۰/۰۰
WUF-WP	۱۱/۲۲	۱۶۵۶/۵۰	۲۸۳/۳۳
WUF-RP	۱۱/۰۳	۱۵۹۳/۵۷	۲۸۳/۳۴



## ۵- درصد گیرداری اتصالات

برای بدست آوردن درصد گیرداری اتصالات از مفهوم خط تیر استفاده می‌شود. برای طبقه بندی اتصالات بر اساس درصد گیرداری باید نمودار لنگر- دوران ( $M-\theta$ ) اتصال به دست آورده شود، سپس لنگر گیرداری و دوران را برای بار حالت نهایی به دست آورد. در قسمت قبل نمودار چرخه‌ای لنگر- دوران ( $M-\theta$ ) برای تمامی اتصالات مطرح شده ترسیم گردیده است. در ادامه روش بدست آوردن درصد گیرداری برای یک نمونه از اتصالات آورده شده است.

محاسبه درصد گیرداری اتصال WFP-WP

$$M_f = f_y \times S_x = 2400 \times 883 = 2119200 \text{ kg.cm} = 211/92 \text{ kN.m} \quad (1)$$

مختصات نقطه تلاقی محور افقی دستگاه مختصات لنگر- دوران با خط تیر برابر است با:

$$\theta_a = \frac{M_f L}{2EI} = \frac{2119200 \times 600}{2 \times 2/1 \times 10^6 \times 13244/7} = 0/0228 \text{ rad} \quad (2)$$

$$R = \frac{M_{f1}}{M_{f2}} \times 100 = \frac{153/32}{211/92} \times 100 = 72/35 \quad (3)$$

در رابطه (۲)،  $f_y$  تنش تسلیم فولاد،  $S$  مدول ارتجاعی مقطع تیر و  $EI$  صلبیت خمشی تیر است و  $M_{F1}$  مقدار لنگر در محل برخورد خط تیر با منحنی پوش می‌باشد. در فضای  $M-\theta$ ، خط تیر از نقاط با مختصات ( $M_f$  و  $0$ ) و ( $0$  و  $\theta_a$ ) می‌گذرد. در روابط بالا، میزان قابلیت انتقال لنگر از راه اتصال به کمک کمیت  $R$  به شکل رابطه (۳) بیان می‌شود. درصد گیرداری سایر نمونه‌ها با همین روش در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵: درصد گیرداری اتصالات

اتصال	درصد گیرداری
WFP-WP	۷۲/۳۵
WFP-RP	۷۱/۹۵
RBS-WP	۶۳/۵۱
RBS-RP	۶۴/۱۲
WUF-WP	۶۶/۷۵
WUF-RP	۶۶/۳۱

همان طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود بیشترین درصد گیرداری مربوط به اتصال با ورق‌های روسری و زیرسری می‌باشد که اختلاف ناچیزی با اتصال همراه با ورق‌های پیوستگی مثلثی دارد.

## ۶- طبقه بندی اتصالات بر اساس معیار شکل‌پذیری

در منحنی‌های هیستریزس لنگر- دوران در تمامی مدل‌ها مقدار لنگر در وجه ستون، در زاویه دوران  $0/04$  رادیان از  $80 \text{ Mp}$  بیشتر است (شکل ۲۴ و ۲۹). بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این اتصالات براساس آیین‌نامه لرزه‌ای AISC 2010، اتصالاتی کاملاً شکل‌پذیر با قابلیت استفاده در قاب‌های خمشی ویژه است [۱۳].

## ۷- نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا به بررسی تاثیر ورق‌های پیوستگی در اتصال با ورق روسری و زیرسری (WFP)، اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی (WUF-W) و اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته (RBS) پرداخته شده است. سپس به بررسی رفتار ورق‌های پیوستگی مثلثی شکل که به منظور سهولت در امر اجرا پیشنهاد شده است، پرداخته و مقایسه‌ای بین اتصالات از پیش تایید شده جوشی همراه با ورق‌های پیوستگی مستطیلی و مثلثی شکل صورت گرفته است. نتایج مطالعات به شرح زیر می‌باشد.

۱- حذف ورق‌های پیوستگی در اتصالات WFP، WUF-W و RBS تاثیر بسزایی بر روی ظرفیت باربری، سختی و جذب انرژی این نوع اتصالات گذاشته و باعث شده است که مفصل پلاستیک در بر ستون تشکیل شود. همچنین باعث ایجاد تسلیم شدگی در نواحی از ستون شده است.

۲- استفاده از ورق‌های پیوستگی مثلثی شکل در اتصالات از پیش تایید شده جوشی تغییر محسوسی در مکان تشکیل مفصل پلاستیک و عملکرد اتصالات مطرح شده ایجاد نکرد.

۳- در مکان‌هایی از ورق‌های پیوستگی مثلثی شکل که تمرکز مصالح کمتر است تنش‌ها و کرنش‌های فراالاستیک در بال ستون مشاهده گردید که این امر موجب افزایش گسیختگی ورق‌های پیوستگی از بال ستون شده است.

۴- تمامی اتصالات مطرح شده همراه با ورق‌های پیوستگی مثلثی شکل عملکرد قابل قبولی از خود نشان داده و قابلیت استفاده از آنها در قاب‌های خمشی ویژه، بر طبق ضوابط لرزه‌ای آیین‌نامه AISC وجود دارد [۱۳].

## مراجع

- [۱] کافی، م.ع؛ طریقی، پ؛ «ارزیابی و مقایسه عملکرد اتصالات جوشی از پیش تایید شده در سازه‌های فولادی تحت بارگذاری چرخه‌ای»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه، دانشکده عمران دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، ۱۳۹۵.
- [۲] مختاری حسن آباد، ا؛ مکاری، ج. تاروردیلو؛ «ارزیابی اتصالات تیر به ستون فولادی با مقطع قوطی در قاب‌های خمشی فولادی بدون ورق‌های پیوستگی در چشمه اتصال»؛ ششمین کنفرانس بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران، ۱۳۹۰.
- [3] Mirghaderi, R. and Moradi, M.; "Seismic Behavior of Panel Zones in Beam to Column Connections with non-planner Webs in Moment Resisting Steel Frames"; *4<sup>th</sup> International Conference on Earthquake Engineering*, (2006), Taipei, Taiwan.
- [4] Ting, L.C., Shanmugam, N.E. and Lee, S.L.; "Box Column to I-Beam Connections with External Stiffeners"; *J Construct Steel Res*, 18(3) (1991) 209-266.
- [5] Goswami, R. and Murty, C.V.R.; "Improved Configuration of I Beam to Box Column Connections in Seismic Steel Moment Frames"; *14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, (2008), Beijing, China.
- [6] Goswami, R. and Murty, C.V.R.; "Externally Reinforced Welded I-Beam-to-Box Column Seismic Connection"; *J Eng. Mechanics*, 136(1) (2010) 23-30.
- [7] Mirghaderi, R., Torabian, Sh. and Keshaverzi, F.; "I-Beam to Box Column Connection by a Vertical Plate Passing Through the Column"; *Engineering Structures*, 32(8) (2010) 2034-2048.
- [۸] مختاری حسن آباد، ا؛ مکاری رحم دل، ج؛ کیانی، س؛ «استفاده از سخت کننده‌های بیرونی به جای ورق‌های پیوستگی در اتصالات تیر به ستون فولادی با مقطع قوطی»؛ نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، ۱۳۹۱.
- [۹] احمدی، م؛ امیری، م؛ احمدی، م؛ «مقایسه اتصال تیرهای I شکل به ستون قوطی فولادی با سخت کننده‌های خارجی و ورق پیوستگی داخل ستون تحت بارگذاری چرخه‌ای»؛ دومین کنفرانس بین‌المللی سازه، معماری و مدیریت شهری، تبریز، ایران، ۱۳۹۲.
- [10] Torabian, Sh., Mirghaderi, S.R. and Keshavarzi, F.; "Moment Connection Between I Beam & Built up Square Column by a Diagonal Through Plate"; *Journal of Constructional Steel Res.*, No. 70 (2012) 385-401.
- [۱۱] صباغی، م.ج؛ دیلمی، ا؛ «بررسی وجود یا عدم وجود جوش در اتصال صفحات پیوستگی به ستون قوطی در اتصال گیردار تیر به ستون قوطی»؛ سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی، تهران، ایران، ۱۳۹۱.
- [12] Erfani, S., Asnafi, A. and Goudarzi A.; "Connection of I-Beam to Box-Column by a Short Stub Beam"; *Journal of Constructional Steel Res.*, No. 127(2016) 136-150.
- [13] AISC 358-10, American Institute of Steel Construction; "Seismic Provisions For Structural Steel Buildings"; Chicago, Illinois (2010).

[۱۴] فنایی، ن؛ جهان‌بختی دهکردی، ا؛ «بررسی امکان حذف ورق‌های پیوستگی در اتصال صلب تیر I شکل به ستون قوطی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه، دانشکده عمران دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران، ۱۳۹۴.

[۱۵] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان؛ «مقررات ملی ساختمان: میحث دهم (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی)»، چاپ پنجم، نشر توسعه ایران، تهران، ۱۳۹۲.

[16] Hibbit, Karlsson, Sorenso; "ABAQUS Theory Manual"; Pawtucket, RI (2010).

[17] FEMA-355D; "State of the art report on connection performance"; SAC Joint Venture, Sacramento, California, Federal Emergency Management Agency (2000).

[18] ATC-24; "Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures for Buildings"; Report No. ATC-24, Applied Technology Council, Redwood City, CA (1992).