

# پیشنهادهایی به منظور حذف ورق‌های پیوستگی ستون با مقطع قوطی

محمد علی کافی (دانشیار)

پیام طریقی\* (دانشجوی کارشناسی ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

مهندسی عمران شهریه، تابستان ۱۳۹۷  
دری ۲ - ۳۴، شماره ۲/۱، ص. ۱۴۳-۱۵۱، (پادداشت فنی)

در اتصال بعد چهارم ورق‌های پیوستگی به ستون قوطی، امکان اجرا و بازرسی جوش شیاری به راحتی وجود ندارد. در مطالعه‌ی حاضر، ابتدا نقش ورق‌های پیوستگی، در اتصال با ورق‌های روسری و زیرسری (WFP) برای ستون قوطی، به صورت عددی بررسی و پیشنهادهایی به منظور حذف ورق‌های پیوستگی مطرح شده است. پیشنهادهای مذکور شامل استفاده از ورق‌های U شکل و نیمرخ I شکل و استفاده از ورق‌های همراه با جوش کام بوده است. نتایج مطالعات نشان داد که حذف ورق‌های پیوستگی باعث کاهش ظرفیت باربری، سختی و جذب انرژی به ترتیب برابر با ۴۳، ۵۸ و ۳۵ درصد در اتصال WFP شده است. اتصالات ارائه شده نسبت به اتصال WFP با ورق‌های پیوستگی داخلی، به طور میانگین کاهش ۹/۲، ۱۱/۶ و ۸/۹ درصدی در جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری داشته است. همچنین اتصال با نیمرخ I شکل، عملکرد بهتری نسبت به دو اتصال مطرح شده دیگر داشته است.

واژگان کلیدی: ورق‌های پیوستگی، اتصال با ورق روسری و زیرسری، نیمرخ I شکل.

mkafi@semnan.ac.ir  
payam.tarighi@yahoo.com

## ۱. مقدمه

ستون قوطی، سه بعد ورق‌های پیوستگی به راحتی با جوش شیاری با نفوذ کامل به ستون متصل می‌شوند، اما در اتصال بعد چهارم امکان اجرا و بازرسی جوش شیاری با نفوذ کامل به راحتی وجود ندارد.

در برخی مطالعات به بررسی اتصالات صلب بدون ورق پیوستگی در چشمه‌ی اتصال و معایب و کمبود اتصالات مذکور پرداخته شده است<sup>[۱]</sup> که هدف آن‌ها، پیدا کردن راهکاری مناسب برای برطرف کردن مشکل بیان شده است. در برخی مراجع و آیین‌نامه‌ها و نیز در پژوهش‌هایی که پیشتر در مورد عدم اجرای ورق پیوستگی انجام شده است، استفاده از سخت‌کننده‌های بیرونی T شکل<sup>[۲]</sup>، حلقه‌ی<sup>[۳]</sup> و سخت‌کننده‌های درونی ورق عمودی<sup>[۴]</sup>، برای تقویت چشمه‌ی اتصال پیشنهاد شده است (شکل ۱) که اجرای بعضی از آن‌ها 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.

همچنین در سال ۲۰۱۰، در بررسی عددی استفاده از انواع سخت‌کننده‌های خارجی برای ستون با مقطع قوطی، استفاده از سخت‌کننده‌های خارجی T شکل علاوه بر جبران نبود ورق‌های پیوستگی، موجب افزایش سختی و مقاومت اتصال شد.<sup>[۷]</sup> در سال ۲۰۱۵ نیز روش‌های جدیدی برای اجرای ورق‌های پیوستگی ستون با مقطع قوطی مطرح شد که یکی از آن‌ها استفاده از ورق‌های مثلی شکل بود که توانست عملکردی در حد کمینه و قابل قبول از خود نشان دهد.<sup>[۸]</sup> همچنین در

قاب‌های خمشی فولادی باید علاوه بر تأمین مقاومت در برابر بارهای ثقلی بتوانند شکل‌پذیری لازم را در برابر جابه‌جایی‌های ناشی از زلزله از خود نشان دهند. در این راستا، یکی از مکانیزم‌های متداول، ایجاد مفصل‌های خمیری در دو انتهای تیرها بوده است تا از تشکیل مفصل در ستون‌ها که عمدتاً منجر به بروز ناپایداری در سازه می‌شود، جلوگیری به عمل آید.

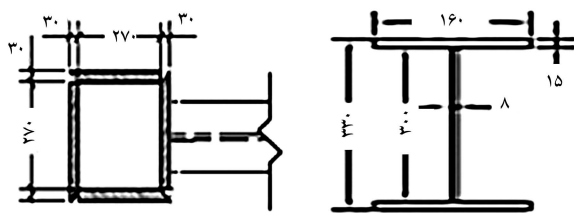
این موضوع در ستون‌های قوطی که انتقال نیرو از تیر به ستون در یک مسیر خارج از صفحه رخ می‌دهد، اهمیت زیادی دارد. انتظار مهم دیگر از یک سیستم لرزه‌یی مطلوب، حفظ مقاومت و سختی اجزاء آن در زلزله است که از طریق جزئیات مناسب اجزاء خارج از مواضع شکل‌پذیر میسر می‌شود. در این میان، اتصالات نقش به‌سزایی در جهت تأمین پایداری و یکپارچگی کلی سازه و همچنین ایجاد شکل‌پذیری مناسب در سازه و جلوگیری از شکست‌های ترد دارند.

در واقع، اتصالات به عنوان رابطی بین تیرها و ستون‌ها با داشتن سختی و مقاومت کافی، پایداری ثقلی و جانبی سازه را فراهم می‌کنند. یکی از اجزایی که تأثیر به‌سزایی در تأمین سختی کافی در اتصالات گیردار تیر به ستون دارد، تعبیه‌ی سخت‌کننده‌ی مناسب در چشمه‌ی اتصال است. برای اجرای اتصال ورق‌های پیوستگی در داخل

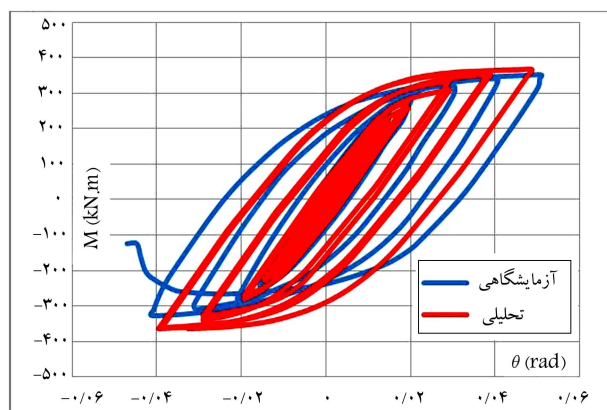
\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۳/۱۰، اصلاحیه ۱۳۹۵/۷/۱۰، پذیرش ۱۳۹۵/۷/۱۷.

DOI:10.24200/J30.2018.1351



شکل ۲. ابعاد نمونه‌ی کوچک آزمایشگاهی (میلی متر). [۱۱]



شکل ۳. نمودار لنگر - دوران ( $M - \theta$ ) برای مدل تحلیلی و آزمایشگاهی. [۱۱]



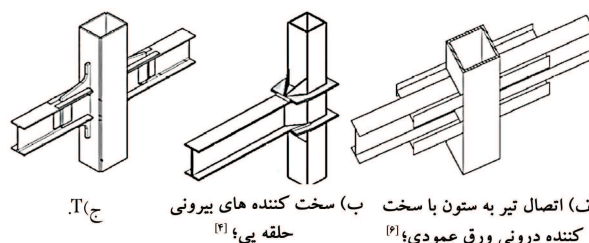
شکل ۴. نمونه‌ی اتصال کوچک در دوران ۰/۵ رادیان. [۱۱]

نمونه و مدل‌سازی از فولاد ST۳۷ استفاده و بار چرخشی به انتهای تیر اعمال شده است. همچنین اتصال به صورت یک طرفه مدل‌سازی شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، نتایج آزمایشگاهی و عددی مطابقت قابل قبولی دارند 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.

با توجه به مشاهده‌های آزمایشگاهی نمونه‌ی کوچک، در نیم‌سیکل رفت چرخشی اول ۵٪ (۳۱ چرخه)، در محل اتصال بال تیر به ستون، کماتش جزئی موضعی بال تیر مشهود بوده است؛ ولی در نیم چرخشی برگشت، جوش در محل اتصال بال تیر به ستون دچار پارگی شده و با باز شدن کامل محل درز، آزمایش پایان یافته است.

### ۳. طراحی نمونه‌ها

نمونه‌های مورد مطالعه در نوشتار حاضر، از یک ساختمان آموزشی و در دست اجرای دانشگاه سمنان انتخاب شده است که ساختمانی ۳ طبقه به طول ۶۰ متر و عرض

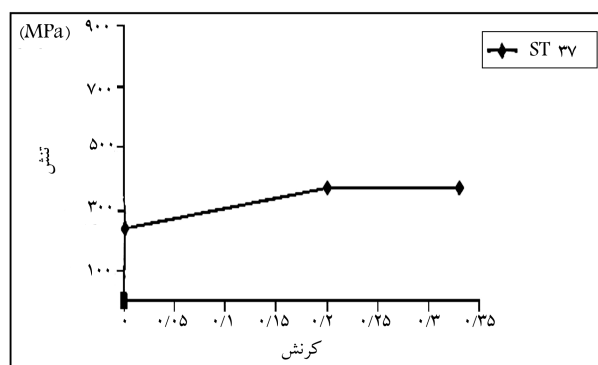


شکل ۱. اتصالات پیشنهاد شده در مطالعه گذشتگان بدون ورق‌های پیوستگی.

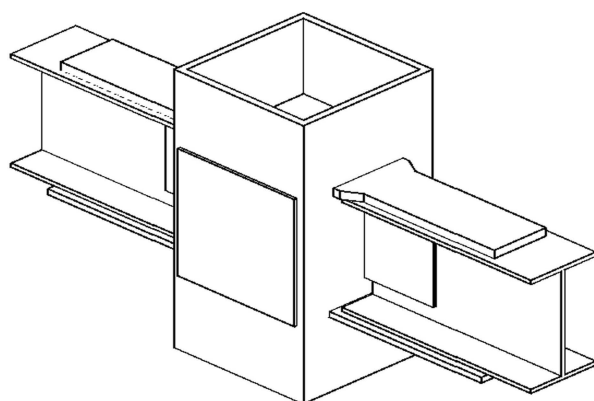
سال ۲۰۱۴، استفاده از سخت‌کننده‌های پروانه‌یی به عنوان جایگزینی برای ورق‌های پیوستگی ستون با مقطع قوطی معرفی شد که نه فقط توانستند مشکل ورق‌های پیوستگی را برطرف سازند، بلکه از لحاظ عملکردی نیز آثار مثبتی در رفتار اتصال به وجود آوردند. [۹] در بررسی ستون‌های قوطی‌شکل مورد استفاده در قاب‌های خمشی صلب (۲۰۱۲) نیز این نتیجه به دست آمد که نصب و جوشکاری ورق‌های پیوستگی کاری پرهزینه و دشوار است. لذا یک اتصال جدید تیر به ستون به نام اتصال ورق میان‌گذر قطری ارائه شد که توانست مسیری جدید و متفاوت از اتصالات متداول فراهم کند و نیز فرایند ساخت اتصال را آسان‌تر کند. [۱۰] همچنین در مطالعه‌ی دیگری در سال ۲۰۱۲، [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 نحوه‌ی اتصال صفحات پیوستگی به ستون قوطی تأثیری در رفتار کلی و موضعی اتصال در بر اتصال و مفصل خمیری ندارد. همچنین جوش ورق‌های پیوستگی فقط در محل اتصال تیر به ستون به دلیل وجود کشش در گوشه‌های بال ستون و احتمال رخ دادن پارگی در بال ستون نمی‌تواند استفاده شود. در مطالعه‌ی حاضر، ابتدا به بررسی تأثیر ورق‌های پیوستگی داخلی در اتصال با ورق روسری و زیرسری (WFP)<sup>۱</sup> پرداخته شده است. سپس به ارائه‌ی راهکارهایی برای حذف ورق‌های پیوستگی داخلی و استفاده از ورق‌های پیوستگی خارجی پرداخته شده است. برتری پیشنهادهای ذکر شده نسبت به اتصالات با ورق‌های پیوستگی خارجی که قبلاً به آن‌ها اشاره شد، این است که اتصالات مذکور در محل کارگاه قابل اجرا هستند و نیازی به تولید کارخانه‌یی ندارند. ورق‌های پیوستگی خارجی با جزئیات اجرایی پیشنهادی در مطالعه‌ی حاضر، علاوه بر رفع مشکلات اجرایی ورق پیوستگی داخلی توانسته است مشکلات اتصالات با ورق‌های روسری و زیرسری که شامل طول و ضخامت بالای ورق‌های مذکور است، را مرتفع سازد.

### ۲. صحت‌سنجی

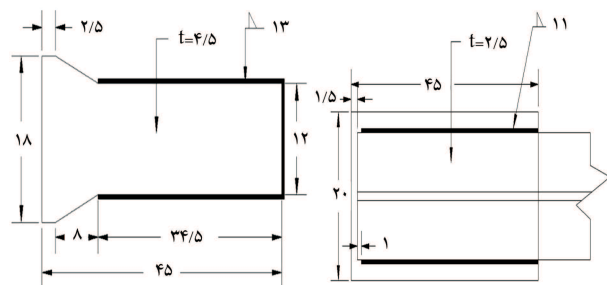
برای صحت‌سنجی، از یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی در سال ۲۰۱۵، [۱۲] که به منظور حذف ورق‌های پیوستگی داخلی ستون قوطی در اتصال مستقیم تقویت‌نشده‌ی جوشی (WUF-W)<sup>۲</sup> انجام شده، استفاده شده است. در مطالعه‌ی حاضر، با اتصال ورق‌هایی به ستون قوطی ضخامت ناحیه‌ی اتصال تیر به ستون و ۶۰ سانتی‌متر بالا و پایین آن تقویت شده است. مدل کوچک، برای امر صحت‌سنجی در نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس مدل‌سازی و به منظور مقایسه‌ی نتایج آزمایشگاهی و عددی، نمودارهای لنگر در وجه ستون - تغییرمکان نسبی طبقه‌ی آن‌ها بر روی یک نمودار نمایش داده شده است. پروتکل بارگذاری اعمال شده به نمونه‌ها مطابق با آیین‌نامه‌ی AISC-۳۴۱ بوده است. همچنین در مدل‌سازی از المان‌های پوسته‌یی ۴ گره‌یی استفاده شده است. ابعاد تیر و ستون در شکل ۲ نمایش داده شده است. در ساخت



شکل ۶. نمودار تنش کرنش فولادهای ST37.



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



(ب) ورق روسری (ابعاد سانتی متر).

(الف) ورق زیرسری؛

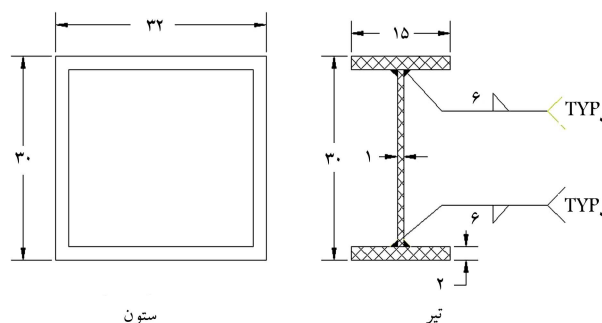
شکل ۸. جزئیات اتصال ورق های WFP.

۲۳ متر بوده است. همچنین سیستم باربر جانبی آن در هر دو طرف، قاب خمشی متوسط بوده است. مقاطع تیر و ستون در شکل ۵ نمایش داده شده است. طول ستون برابر ۳۷۵ سانتی متر و طول تیر برابر ۳۰۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است. همچنین در طراحی نمونه ها از فولاد ST37 مطابق با جدول ۱ استفاده و نمودار تنش - کرنش آن در شکل ۶ ارائه شده است. در جدول ۲ نیز نام مدل های مورد مطالعه ذکر شده است.

در شکل های ۷ و ۸، جزئیات اتصال با ورق روسری و زیرسری (WFP) ارائه و ضخامت ورق های پیوستگی در آن برابر ۴/۵ سانتی متر در نظر گرفته شده است. اتصال مذکور براساس آیین نامه ی مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بخش اتصالات از پیش تأییدشده ی اتصال با ورق های روسری و زیرسری (WFP) طراحی شده است.<sup>[۱۳]</sup>

برای تحلیل اتصالات از نرم افزار اجزاء محدود آباکوس ۱-۶/۱۰ با قابلیت در نظر گرفتن آثار غیرخطی هندسی و مصالح استفاده شده است.<sup>[۱۴]</sup> برای طراحی تیر و ستون، المان پوسته یی ۴ گره یی و برای اعضاء اتصال از المان توپر ۸ گره یی استفاده شده است.

طبق ضوابط ارائه شده در آیین نامه ی FEMA-۳۵۵D<sup>[۱۵]</sup>، در مورد شرایط تکیه گاه ی طرح ریزسازی اتصال دو طرفه، انتهای تحتانی ستون روی تکیه گاه مفصلی و انتهای آزاد تیر روی تکیه گاه غلتکی قرار داده شده است (شکل ۹). برای جلوگیری از وقوع کمانش 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 ی بین انتهای



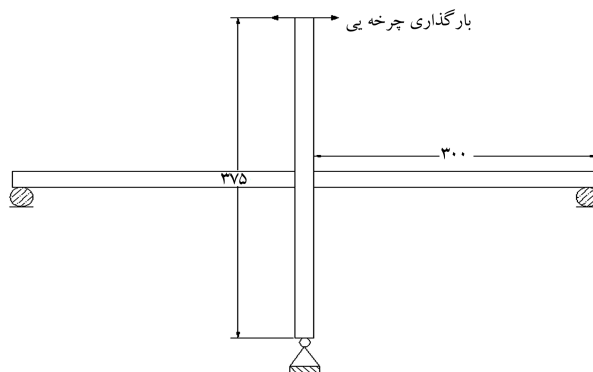
شکل ۹. مقاطع تیر و ستون (ابعاد مقطع سانتی متر و ابعاد جوش بر حسب میلی متر است).

جدول ۱. مشخصات مکانیکی مصالح.

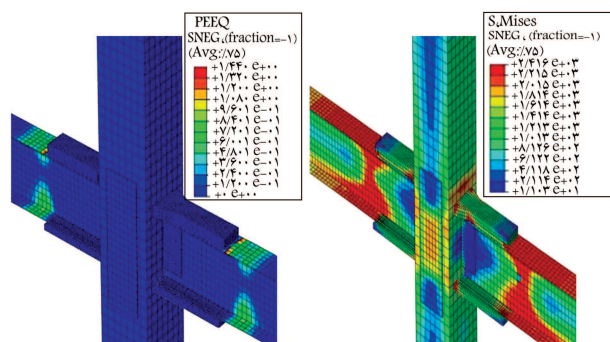
نمونه	Fy(MPa)	Fu(MPa)	E(MPa)	v
ST37	۲۴۰	۳۷۰	۲۱۰۰۰۰	۰/۳

جدول ۲. نام گذاری نمونه های مورد مطالعه.

مدل	توضیحات	نام اختصاری
۱	اتصال با ورق های روسری و زیرسری همراه با ورق های پیوستگی داخلی	WFP-WP
۲	اتصال با ورق های روسری و زیرسری همراه بدون ورق های پیوستگی	WFP-WOP
۳	ورق های پیوستگی خارجی U شکل	WFP-UP
۴	ورق های پیوستگی خارجی همراه با جوش کام	WFP-SW
۵	نیم رخ I شکل	WFP-IP

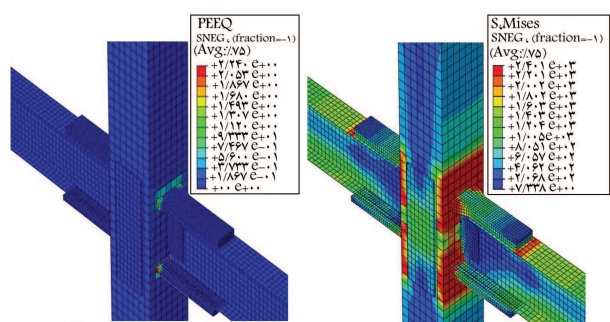


شکل ۹. شرایط تکیه‌گاهی و ابعاد تیر و ستون.



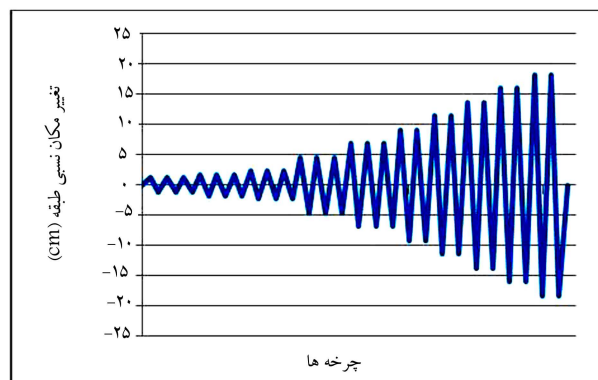
الف) توزیع تنش فون مایسز؛ ب) کرنش خمیری معادل (تغییر مکان نسبی)؛  
طبقه ۰/۰۴ رادیان.

شکل ۱۱. اتصال WFP همراه با ورق‌های پیوستگی.



الف) توزیع تنش فون مایسز؛ ب) کرنش خمیری معادل (تغییر مکان نسبی)؛  
طبقه ۰/۰۴ رادیان.

شکل ۱۲. اتصال WFP بدون ورق‌های پیوستگی.



شکل ۱۰. الگوی بارگذاری چرخشی آیین‌نامه‌ی ATC-24<sup>[۱۷]</sup>.

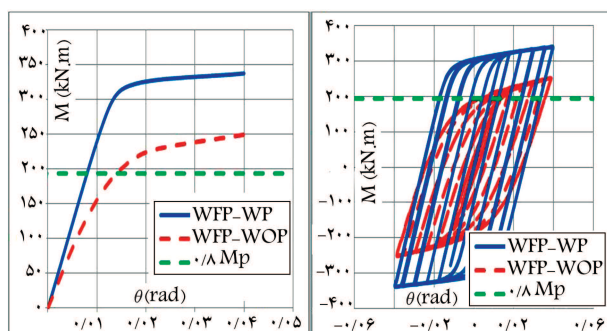
ناحیه‌ی حفاظت‌شده تا نصف عمق تیر بعد از آن و نقاطی در ابتدای تیر مهار شده است. بارگذاری توسط اعمال تغییرمکان چرخشی، طبق الگوی بارگذاری آیین‌نامه‌ی ATC-24 در انتهای بالایی ستون انجام<sup>[۱۷]</sup> و الگوی آن در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

#### ۴. نتایج تحلیل چرخشی اتصالات

در شکل‌های ۱۱ و ۱۲، توزیع تنش فون مایسز و توزیع کرنش خمیری معادل، به ترتیب برای اتصالات WFP همراه با ورق‌های پیوستگی و بدون آن‌ها در پایان تغییرمکان نسبی طبقه، ۰/۰۴ رادیان نمایش داده شده است. در مدل‌های عددی، جوش‌ها مدل‌سازی نشده و رفتار آن‌ها با امکانات نرم‌افزاری شبیه‌سازی شده است. همچنین تحلیل اتصالات تا رسیدن به تغییرمکان نسبی ۰/۰۴ رادیان ادامه پیدا کرده و بعد از آن روند تحلیل متوقف شده است. در مدل‌های مورد مطالعه اثر بار محوری صرف‌نظر شده است.

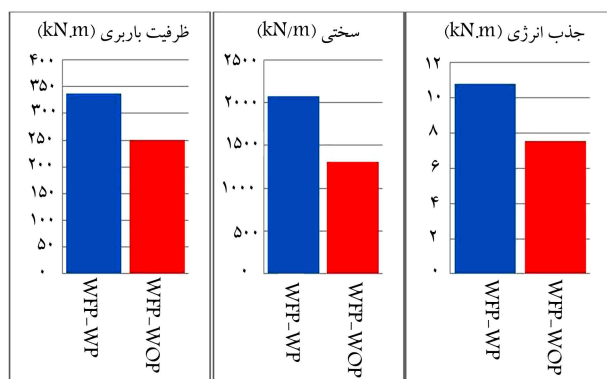
مطابق شکل‌های مذکور، در مدل با ورق پیوستگی، مفصل خمیری در فاصله‌ی دور از بر ستون تشکیل شده است. این در حالی است که اتصالاتی که فاقد ورق پیوستگی در چشمه‌ی اتصال بودند دچار تسلیم‌شدگی در چشمه‌ی اتصال شده و مفصل خمیری در محل اتصال تیر به ستون شکل گرفته است.

در شکل ۱۳، منحنی چرخشی لنگر در بر ستون - دوران ( $M - \theta$ ) برای اتصالات مطرح‌شده‌ی اخیر رسم شده است. همچنین در شکل ۱۴، ظرفیت باربری، سختی، و جذب انرژی اتصال WFP همراه با ورق‌های پیوستگی و بدون آن‌ها به صورت نمودارهای میله‌ای ارائه شده است. مطابق شکل ۱۴، تأثیر عدم وجود



الف) نمودار چرخشی لنگر-دوران ( $M - \theta$ )؛ ب) نمودار پوش (تغییر مکان نسبی طبقه)؛  
۰/۰۴ رادیان.

شکل ۱۳. اتصال WFP.



شکل ۱۴. مقایسه‌ی اتصالات از لحاظ سختی، جذب انرژی و ظرفیت باربری.

ورق‌های پیوستگی در جذب انرژی، سختی، و ظرفیت باربری قابل توجه است و به ترتیب به میزان ۴۳، ۵۸ و ۳۵ درصد از جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری اتصال WFP کاهش یافته است.

## ۵. پیشنهادهایی به منظور حذف ورق‌های پیوستگی

### داخلی

در بخش حاضر، سه پیشنهاد به منظور حذف ورق‌های پیوستگی داخلی ارائه شده است که تماماً قابلیت اجرا در محیط کارگاه را دارند و نیازی به تولید کارخانه‌ای نیست و این مورد موجب برتری پیشنهادهای ذکرشده نسبت به اتصالات مطرح‌شده در مطالعات پیشین شده است. سه اتصال مذکور شامل استفاده از ورق‌های U شکل، استفاده از ورق‌های پیوستگی با جوش کام و استفاده از نیم‌رخ I شکل بوده و در آن‌ها، تیر به ستون متصل نشده و طراحی‌شان مطابق با طراحی اتصالات با ورق روسری و زیرسری (WFP) انجام شده است. سه اتصال پیشنهادی توانسته‌اند علاوه بر رفع مشکل ورق‌های پیوستگی داخلی، با افزایش طول مؤثر ورق‌های روسری و زیرسری، مشکل طول و ضخامت ورق‌های مذکور را در اتصال WFP مرتفع سازند. طراحی اتصالات مطرح‌شده در مطالعه‌ی حاضر مشابه با اتصال WFP از بخش اتصالات از پیش تأییدشده مبحث دهم صورت گرفته است.

### ۱.۵. ورق‌های پیوستگی U شکل

در اتصال ورق‌های پیوستگی U شکل، ورق‌های U شکل توسط جوش شیاری با نفوذ کامل به ستون و توسط جوش گوشه به بال تیر متصل شده‌اند. اگر اتصال به صورت چهار طرفه باشد، می‌توان این ورق‌ها را به شکل L استفاده کرد. همچنین ورق‌های مضاعف جان در داخل ستون با جوش گوشه متصل شده‌اند. نمایی از اتصال مذکور در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود که در آن ضخامت ورق‌های U شکل مساوی ۲ سانتی‌متر است. این اتصال مشابه با اتصال WFP طراحی شده است، که به دلیل افزایش طول مؤثر انتهایی ورق‌های U شکل، طول و ضخامت آن‌ها نسبت به اتصال WFP کاهش یافته و از ۴/۵ سانتی‌متر به ۲ سانتی‌متر تقلیل پیدا کرده است. همچنین طولی که از ورق U شکل بر روی بال تیر ادامه پیدا کرده است، برابر ۲۵ سانتی‌متر است، در صورتی که طول ورق‌های روسری و زیرسری در اتصال WFP برابر ۴۵ سانتی‌متر به دست آمده است.

### ۲.۵. ورق‌های پیوستگی خارجی همراه با جوش کام

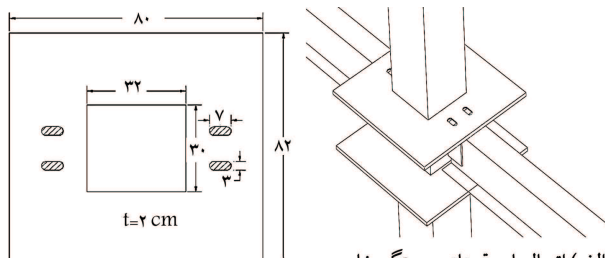
در اتصال ورق‌های پیوستگی خارجی همراه با جوش کام، ورق پیوستگی خارجی فوقانی توسط جوش شیاری با نفوذ کامل به ستون و توسط جوش کام به تیر متصل

می‌شود. همچنین ابتدای ورق‌ها توسط جوش گوشه به بال تیر متصل می‌شود. ورق پیوستگی تحتانی توسط جوش گوشه به بال تیر متصل می‌شود. در طراحی جوش‌ها از الکتروود EY<sup>۰</sup> استفاده شده است. همچنین در مدل‌سازی جوش‌های کام از المان توپر با مشخصات الکتروود EY<sup>۰</sup> استفاده شده است. ورق‌های پیوستگی نیز به کمک قید Tie به تیر و ستون متصل شده‌اند. اتصال ورق‌های پیوستگی خارجی همراه با جوش کام توانسته است مشکل طول و ضخامت زیاد ورق‌های روسری و زیرسری در اتصال WFP را مرتفع سازد. نمایی از اتصال مذکور و جزئیات جوش کام در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود.

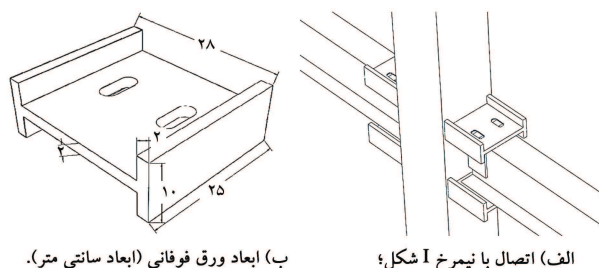
ابعاد ورق تحتانی نیز مانند ورق فوقانی است، با این تفاوت که در ورق تحتانی فقط از جوش گوشه استفاده می‌شود. ضخامت جوش کام برابر ۱/۶ سانتی‌متر است. همچنین ورق‌های مضاعف جان در داخل ستون با جوش گوشه متصل شده‌اند. طراحی اتصال ذکرشده نیز مشابه با طراحی اتصال همراه با ورق‌های روسری و زیرسری انجام شده است.

### ۳.۵. اتصال با نیم‌رخ I شکل

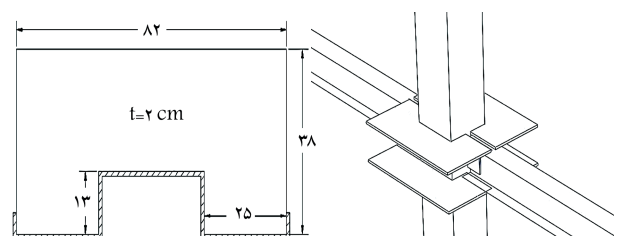
در اتصال با نیم‌رخ I شکل، جان و بال‌های نیم‌رخ I شکل از طریق جوش شیاری با نفوذ کامل به ستون متصل شده‌اند. همچنین جان نیم‌رخ I شکل فوقانی توسط جوش کام و ابتدای آن توسط جوش گوشه به بال تیر متصل شده است. ورق‌های تحتانی فقط توسط جوش گوشه به بال تیر جوش شده‌اند. از الکتروود EY<sup>۰</sup> برای جوش‌ها استفاده شده است. در اتصال ذکرشده نیز تیر به ستون متصل نشده است. همچنین ورق‌های مضاعف جان به داخل ستون با جوش گوشه متصل شده است. ورق پیوستگی تحتانی نیز از لحاظ ابعادی مشابه با ورق فوقانی است، با این تفاوت که در ورق تحتانی از جوش کام استفاده نشده است. مشخصات جوش کام دقیقاً مشابه با اتصال قبلی است. نمایی از اتصال با نیم‌رخ I شکل و جزئیات ورق‌های پیوستگی خارجی فوقانی در شکل ۱۷ نمایش داده شده است.



الف) اتصال با ورق‌های پیوستگی خارجی همراه با جوش کام؛  
ب) ابعاد ورق فوقانی (ابعاد سانتی متر).  
شکل ۱۶. اتصال پیشنهادی ورق‌های پیوستگی خارجی همراه با جوش کام.

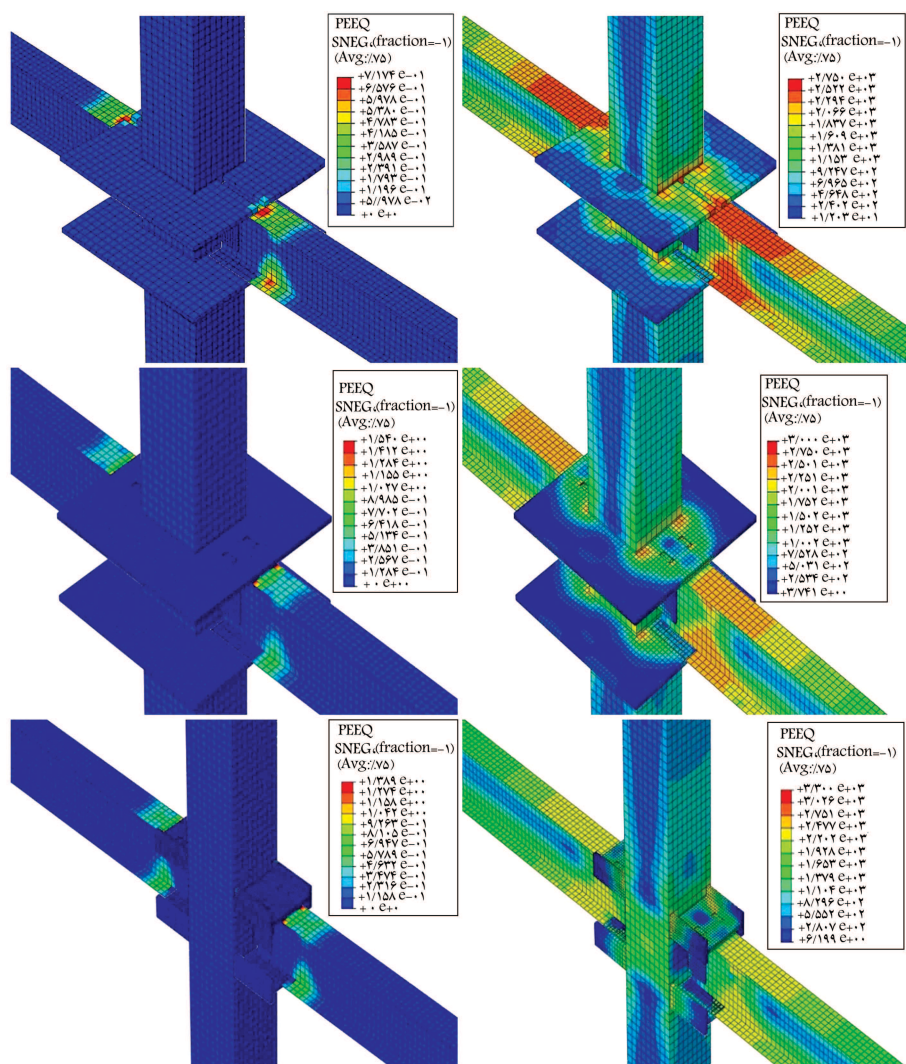


الف) اتصال با نیم‌رخ I شکل؛  
ب) ابعاد ورق فوقانی (ابعاد سانتی متر).  
شکل ۱۷. اتصال پیشنهادی با نیم‌رخ I شکل به منظور حذف ورق پیوستگی ستون قوطی.



الف) اتصال با ورق‌های پیوستگی خارجی U شکل؛  
ب) ابعاد ورق U شکل (ابعاد سانتی متر).  
شکل ۱۵. اتصال پیشنهادی همراه با ورق‌های پیوستگی U شکل.





الف) توزیع تنش فون مایسز؛

ب) توزیع کرنش خمیری معادل برای اتصالات مطرح شده (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ وادیان).

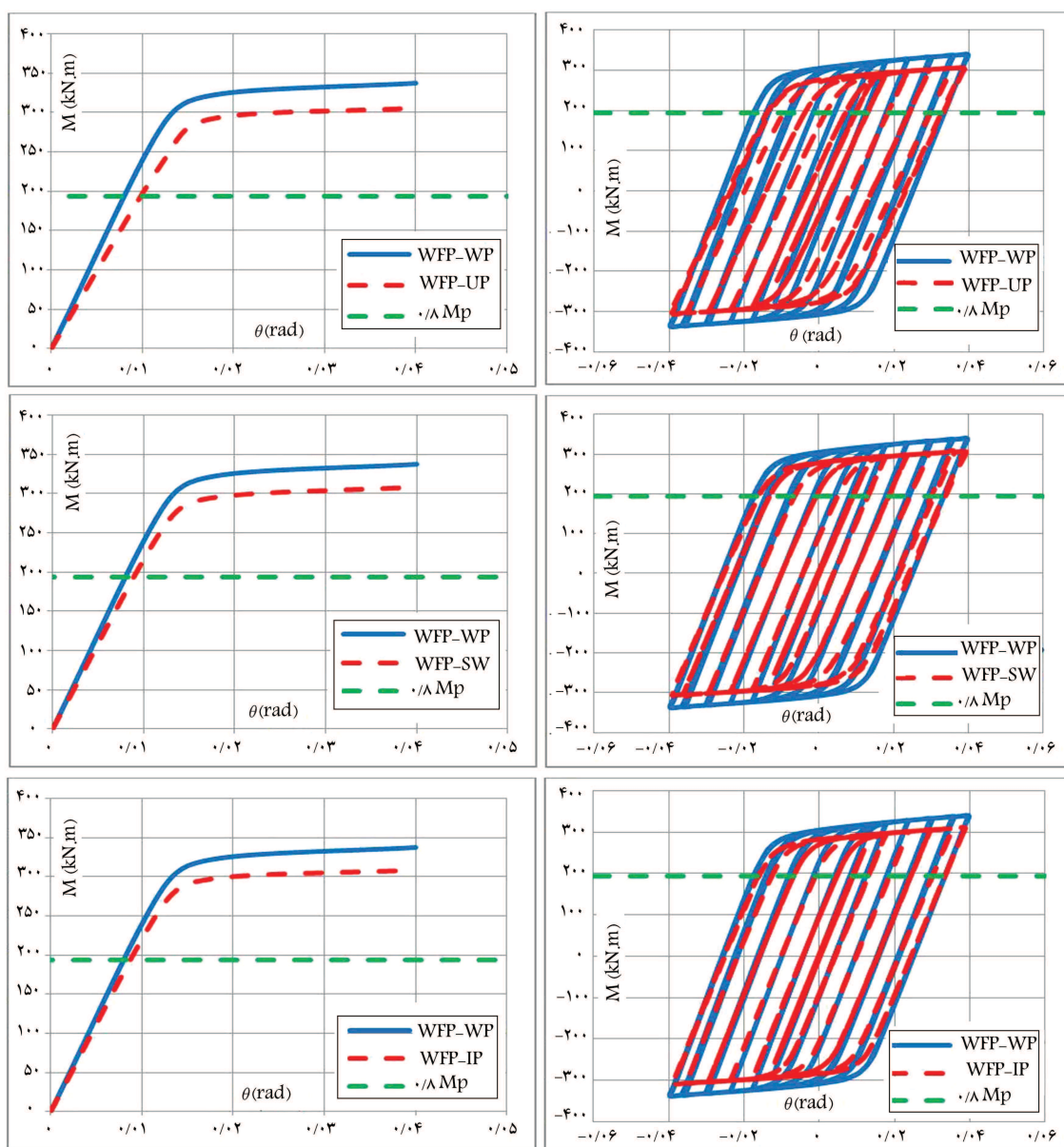
شکل ۱۸. تحلیل عددی اتصالات پیشنهادی.

#### ۴.۵. نتیجه‌گیری و بحث بر روی نتایج

در شکل ۱۸، توزیع تنش فون مایسز و کرنش خمیری معادل برای اتصالات WFP-UP، WFP-SW و WFP-IP نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۱۹، نمودارهای چرخشی لنگر در بر ستون - دوران و پوش آن‌ها برای هر یک از اتصالات مطرح شده و اتصال با ورق روسری و زیرسری به منظور مقایسه بر روی یک نمودار ترسیم و در نهایت پاسخ نمودارهای هیستریزیس به صورت نمودارهای میله‌ای در شکل ۱۸ نمایش داده شده است. همچنین در جدول ۳، میزان کاهش ظرفیت باربری، سختی، و جذب انرژی هر یک از اتصالات پیشنهاد شده نسبت به اتصال WFP به درصد بیان شده است. مطابق شکل ۱۸، مفصل خمیری در تمامی اتصالات مطرح شده در فاصله‌ی دور از بر ستون تشکیل شده است و نیز ستون و چشمه‌ی اتصال در پایان بارگذاری در حالت کشسان باقی مانده‌اند. همچنین با توجه به میزان تنش فون مایسز در محل اتصال تیر به ستون در اتصالات مطرح شده، واضح است که تنش‌های وارده بر جوش‌های

جدول ۳. مقایسه‌ی اتصالات از لحاظ سختی، جذب انرژی و ظرفیت باربری.

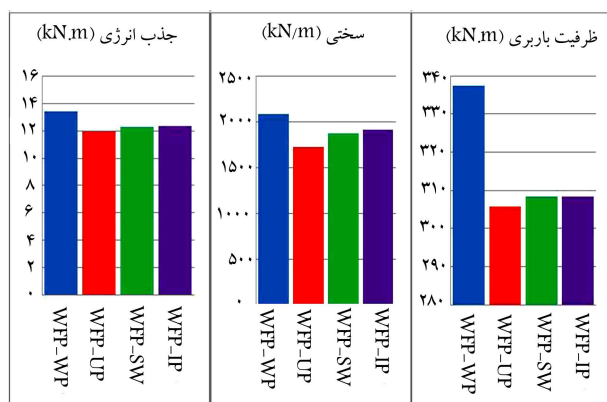
اتصال	جذب انرژی (درصد)	سختی (درصد)	ظرفیت باربری (درصد)
WFP-UP	کاهش - ۱۱/۰	کاهش - ۱۷/۰	کاهش - ۹/۴
WFP-WP			
WFP-PW	کاهش - ۸/۷	کاهش - ۹/۷	کاهش - ۸/۶
WFP-WP			
WFP-IP	کاهش - ۸/۰	کاهش - ۸/۰	کاهش - ۸/۶
WFP-WP			
میانگین	کاهش - ۹/۲	کاهش - ۱۱/۶	کاهش - ۸/۹



الف) نمودار چرخه بی لنگر - تغییر دوران ( $M-\theta$ )؛

ب) نمودار پوش اتصالات (تغییر مکان نسبی ۰/۰۴ رادیان).

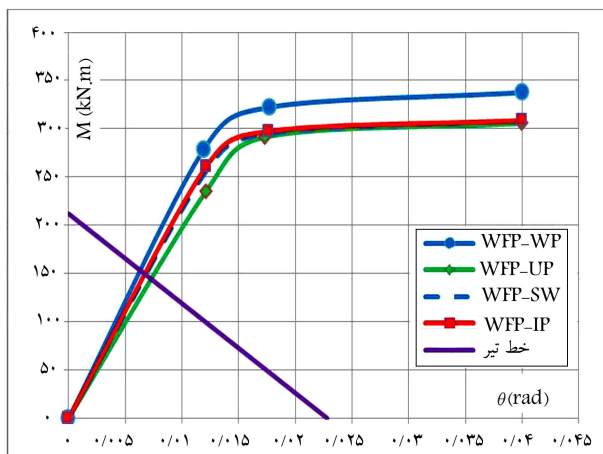
شکل ۱۹. نتایج تحلیل اتصالات پیشنهادی.



شکل ۲۰. مقایسه‌ی اتصالات از نظر جذب انرژی، ظرفیت باربری و سختی.

محل اتصال از مقاومت آن‌ها کمتر است و پارگی در جوش‌ها به‌وجود نخواهد آمد.

همان‌طور که در جدول ۳ و شکل ۲۰ مشاهده می‌شود، کمترین کاهش جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری نسبت به اتصال WFP-WP در اتصال WFP-IP اتفاق افتاده است. نتایج اتصالات مطرح‌شده در بخش کنونی نشان می‌دهد که اتصالات پیشنهادی با افت اندکی در ظرفیت باربری، جذب انرژی و سختی علاوه بر رفع مشکل اجرای ورق‌های پیوستگی داخلی توانسته‌اند مشکلات اتصال WFP را که شامل طول و ضخامت زیاد ورق‌های روسری و زیرسری می‌شد، مرتفع سازند. اتصالات مطرح‌شده در نوشتار حاضر از لحاظ مطالعه‌ی عددی توانستند عملکرد قابل قبولی از خود نشان دهند، ولی به‌دلیل تعداد کم نمونه‌های مورد مطالعه، نتایج حاصل کاملاً اولیه است و برای صحت‌سنجی نیاز به مطالعات



شکل ۲۱. منحنی پوش لنگر - دوران اتصالات و خط تیر (تغییر مکان نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان).

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین درصد گیرداری مربوط به اتصال با نیمرخ I شکل بوده است.

## ۷. طبقه‌بندی براساس معیار شکل‌پذیری

در منحنی‌های هیستریزیس لنگر - دوران در تمامی مدل‌ها، مقدار لنگر در وجه ستون در زاویه‌ی دوران ۰/۰۴ رادیان از ۸۰ MPa٪ بیشتر است (شکل ۱۹). بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اتصالات مذکور براساس آیین‌نامه‌ی لرزه‌ی AISC ۲۰۱۰، اتصالاتی کاملاً شکل‌پذیر با قابلیت استفاده در قاب‌های خمشی ویژه هستند. [۱۸]

## ۸. نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر، ابتدا به بررسی تأثیر ورق‌های پیوستگی در اتصال با ورق روستری و زیرسری (WFP)، پرداخته شده است. سپس ۳ راهکار استفاده از ورق‌های پیوستگی خارجی U شکل، ورق‌های پیوستگی خارجی همراه با جوش کام و نیمرخ I شکل پیشنهاد شده و مقایسه‌ی بین آنها با اتصال WFP همراه با ورق پیوستگی داخلی معمولی صورت گرفته است. نتایج مطالعه‌ی حاضر به این شرح است:

۱. حذف ورق‌های پیوستگی در اتصالات WFP تأثیر به‌سزایی در ظرفیت باربری، سختی و جذب انرژی این نوع اتصال گذاشته و باعث شده است که مفصل خمیری در بر ستون تشکیل شود. همچنین باعث ایجاد تسلیم‌شدگی در بخش‌هایی از ستون شده است.

۲. پیشنهادهایی که در قسمت ورق‌های پیوستگی خارجی مطرح شد، توانست با تأثیرگذاری اندکی در عملکرد اتصال، مشکل ورق‌های پیوستگی داخلی را برطرف کند و از طرفی مشکل طول و ضخامت ورق‌های روستری و زیرسری در اتصالات WFP را مرتفع سازد.

۳. در پیشنهادهای ارائه‌شده، نیمرخ I شکل عملکرد بهتری نسبت به دو اتصال دیگر از خود نشان داد.

۴. تمامی اتصالات مطرح‌شده، شکل‌پذیری قابل قبولی از خود نشان دادند و قابلیت استفاده از آن‌ها در قاب‌های خمشی ویژه، بر طبق ضوابط لرزه‌ی آیین‌نامه‌ی AISC ۲۰۱۰ وجود دارد. [۱۸]

جدول ۴. درصد گیرداری اتصالات.

درصد گیرداری	اتصال
۶۸٫۳۷	WFP-UP
۷۰٫۳۶	WFP-SW
۷۱٫۲۶	WFP-IP
۷۲٫۳۵	WFP-WP

تکمیلی مدل‌سازی و آزمایشگاهی خواهد بود. باید توجه کرد که نتایج به‌دست آمده در یک مطالعه‌ی موردی صادق است و قابل تعمیم به کلیه‌ی اتصالات از این نوع نیست.

## ۶. درصد گیرداری اتصالات

برای به‌دست آوردن درصد گیرداری اتصالات از مفهوم خط تیر استفاده می‌شود. برای طبقه‌بندی اتصالات براساس درصد گیرداری، باید ابتدا نمودار لنگر - دوران  $(M - \theta)$  اتصال و سپس لنگر گیرداری و دوران برای بار حالت نهایی به دست آورده شود. [۱۶] در بخش ۵، نمودار چرخه‌ی لنگر - دوران  $(M - \theta)$  برای تمامی اتصالات مطرح‌شده ترسیم شد. در ادامه، روش به‌دست آوردن درصد گیرداری برای یک نمونه از اتصالات ارائه شده است.

### ۱.۶. محاسبه‌ی درصد گیرداری اتصال WFP-UP (رابطه‌ی ۱)

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

مختصات نقطه‌ی تلاقی محور افقی دستگاه مختصات لنگر - دوران با خط تیر از رابطه‌ی ۲ به‌دست می‌آید:

$$\theta_a = \frac{M_f L}{2EI} = \frac{2119200 \times 600}{2 \times 271 \times 10^6 \times 132447} = 0/0228 \text{ rad} \quad (2)$$

که در آن،  $f_y$  تنش تسلیم فولاد،  $S_x$  مدول ارتجاعی مقطع تیر و  $EI$  صلبیت خمشی تیر است و  $M_{F1}$  مقدار لنگر در محل برخورد خط تیر با منحنی پوش است. در فضای  $M - \theta$ ، خط تیر از نقاط با مختصات  $(0, M_f)$  و  $(\theta_a, 0)$  می‌گذرد. در روابط ذکرشده، میزان قابلیت انتقال لنگر از راه اتصال به کمک کمیت  $R$  محاسبه می‌شود (رابطه‌ی ۳):

$$R = \frac{M_{F1}}{M_f} \times 100 = \frac{144/90}{211/92} \times 100 = 68/37 \quad (3)$$

درصد گیرداری سایر نمونه‌ها با همین روش در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین در شکل ۲۱، منحنی‌های پوش لنگر - دوران  $(M - \theta)$  و خط تیر ارائه شده است.



1. welded flange plate
2. welded unreinforced flange-welded web
3. federal emergency management agency

## منابع (References)

1. Mokhtari, A., Mokari, J. and Tarverdilo, S. "Evaluation of beam to box column connections without continuity plates in panel zone", *6th International Conference on Earthquake Engineering*, IIEES, Tehran, Iran (2011).
2. Mirghaderi, R. and Moradi, M. "Seismic behaviour of panel zones in beam to column connections with non-planner webs in moment resisting steel frames", *4th International Conference on Earthquake Engineering* (2006).
3. 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), pp. 209-266 (1991).
4. Goswami, R. and Murty, C.V.R. "Improved configuration of I beam to box column connections in seismic steel moment frames", *14th Int Conf. on Earthquake Eng.*, Beijing, China (2008).
5. Goswami, R. and Murty, C.V.R. "Externally reinforced welded I-beam to box column seismic connection", *J. Eng. Mechanics*, **136**(1), pp. 23-30 (2010).
6. Mirghaderi, S.R., Torabian, Sh. And Keshavarzi, F. "I-beam to Box-column connection by a vertical plate passing through the column", *J. Eng. Structures*, **32**(8), pp. 2034-2048 (2010).
7. Mokhtari, A., Mokari, J. and Kiyani, S. "Using external stiffeners instead of continuity plates in beam to box column connections", 9th International Congress of Civil Engineering, Isfahan University Technology, Isfahan, Iran (2010).
8. Saffari, H., Hedayat, A. and Soltani, N. "New alternatives for continuity plates in I-beam to box columns connections", *Asian Journal of Civil Engineering*, **16**(2), pp. 219-233 (2015).
9. Ahmadi, M., Amiri, M. and Ahmadi, Mo. "Compare I beam to box column connections with external and internal continuity plates under cyclic loading", 2nd International Congress on Structure, Architecture & Urban Development, Tabriz, Iran (2014).
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.*, **70**, pp. 385-401 (2012).
11. Sabbaghi, MH. and Deylami, A. "Evaluation of existence or not existence continuity plates welding to box column in rigid connections", *III National Steel & Structures conf.*, Iran (2012).
12. Jahanbakhti, A. "Exploring the possibility of remove the continuity plates in I beam to box column connections", Structures Master Thesis, Faculty of Civil Engineering, K.N.Toosi University of Technology. Tehran, Iran (2015).
13. Code 10., *Design and Construction Provisions For Structural Steel Buildings*, Tehran, Iran (2012).
14. Hibbit, Karlsson, Sorenson, Inc. (HKS), "ABAQUS theory manual", Pawtucket, RI (2010).
15. FEMA-355D, "State of the art report on connection performance, SAC joint venture", Sacramento, California, Federal Emergency Management Agency (2000).
16. Nateghi, F. and Tabatabaei, Z. "The introduction of beam to box column rigid connections with side plates", *J. Sharif Civil Engineering*, **2**(26), pp. 13-20 (2008).
17. 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).
18. AISC, American Institute of Steel Construction, "Seismic provisions for structural steel buildings", Chicago, Illinois (2010).