

پیشنهاد استفاده از ورق‌های U شکل به‌عنوان ورق‌های پیوستگی ستون قوطی در سازه‌های فولادی تحت بارگذاری چرخه‌ای

پیام طریقی^{۱*}، امید خیری نمین^۲ و محمدعلی کافی^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۲۶	ستون‌های قوطی‌شکل به‌دلیل دارا بودن مقاومت خمشی یکسان در دو جهت، همواره موردتوجه طراحان برای استفاده در قاب‌های خمشی فولادی در مناطق با خطر لرزه‌خیزی زیاد بوده است. اما با توجه به عدم دسترسی به داخل ستون به‌دلیل بسته بودن مقطع آن، اجرا و بازرسی جوش وجه چهارم ورق‌های پیوستگی به ستون، همواره با مشکلاتی همراه بوده است. این امر موجب شده است گاهی مجریان سازه‌های فولادی، از تعبیه این ورق‌ها در داخل ستون یا اجرای جوش وجه چهارم آن‌ها اجتناب کنند. در این مطالعه، استفاده از ورق‌های پیوستگی خارجی U شکل به‌منظور برطرف کردن این مشکل پیشنهاد شده است. نتایج مطالعات نشان داد اتصال پیشنهادی، قابلیت تغییر مکان نسبی را تا ۰/۰۴ رادیان بدون کاهش مقاومت دارا است. همچنین استفاده از اتصال پیشنهادی با افزایش ابعاد تیر و ستون به‌دلیل ایجاد تنش‌های فرا الاستیک در ستون و در نتیجه تحت‌تأثیر قرار دادن عملکرد اتصال، نیازمند تقویت توسط ورق‌های لچکی بوده است. ورق‌های تقویت لچکی موجب شد مفصل پلاستیک داخل تیر ایجاد و منحنی‌های هیستریزس منظم و پایدار تشکیل گردد.
واژگان کلیدی: ستون قوطی‌شکل، قاب خمشی فولادی، ورق‌های پیوستگی خارجی U شکل، ورق‌های لچکی.	

۱- مقدمه

مقاطع قوطی‌شکل به‌دلیل مقاومت خمشی یکسان در هر دو جهت خود، معمولاً به‌عنوان ستون در قاب‌های خمشی ویژه در مناطق با خطر لرزه‌خیزی زیاد، مانند ایران و بیشتر کشورهای آسیایی، مورداستفاده مجریان سازه‌های فولادی قرار گرفته است. معمولاً از مقاطع توخالی سرد نوردشده در ساختمان‌های با ارتفاع کم و متوسط استفاده می‌شود. این مقاطع از جوش دادن چهار ورق به یکدیگر ساخته شده که از آن‌ها در قاب‌های خمشی سنگین استفاده شده است. این روشی معمول در ساخت سازه‌های فولادی در کشور ژاپن به شمار می‌رود [۱]. سختی خمشی و مقاومت بالا حول تمامی محورهای ستون قوطی‌شکل موجب شده این مقطع

نسبت به مقاطع بال پهن در به‌کارگیری در مقاطع تیر و ستون، ارجحیت داشته باشد. علاوه بر این، سختی پیچشی بالای این مقاطع، موجب کاهش نیاز به مهار جانبی در ستون‌ها و همچنین کاهش زوال مقاومت شده است که این کاهش مقاومت معمولاً از ایجاد پیچش در ستون آغاز می‌شود؛ مانند کمانش پیچشی جانبی در اتصالات [۲ و ۳]. شکل‌پذیری و قابلیت جذب انرژی بالای این مقاطع به‌دلیل مقاومت در برابر کمانش‌های موضعی و همچنین دارا بودن مقاومت پس از کمانش، مقطع قوطی‌شکل را به مقطعی مناسب برای استفاده در ستون‌ها در قاب‌های خمشی تبدیل کرده است. ستون‌های قوطی‌شکل شرایطی را فراهم می‌آورد که از مصالح، به‌نحو مناسبی استفاده شود. همچنین

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: payam.tarighi@yahoo.com

۱. کارشناس ارشد مهندسی عمران، نخبه وظیفه گروه تخصصی شهید رجایی
۲. دکتری پترولوژی، پژوهشگر تحقیق و توسعه گروه تخصصی شهید رجایی
۳. دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

در این مطالعه به ارائه پیشنهادی به‌منظور حذف ورق‌های پیوستگی داخلی و تسهیل در امر ساخت و اجرای اتصال پرداخته شده است. مکانیزم انتقال نیرو و روش طراحی اتصال پیشنهادی شرح داده شده و در ادامه عملکرد لرزه‌ای اتصال پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس به‌صورت تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، سه نمونه تیر و ستون با ابعاد مختلف همراه با اتصال پیشنهادی تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفتند و در نهایت رفتار لرزه‌ای اتصال، مورد بحث قرار گرفته است. مزیت اتصال پیشنهادی در این مطالعه نسبت به سایر روش‌ها، اجرای راحت و قابلیت اجرا در محیط کارگاه است؛ در حالی که در اتصالات مطرح‌شده در گذشته، معمولاً به روشی برای حذف ورق‌های پیوستگی پرداخته، بدون اینکه راحتی اجرا مدنظر باشد. همچنین اتصال پیشنهادی به‌دلیل افزایش طول مؤثر ورق‌ها اتصال قادر است نفعدهای مطرح‌شده برای اتصالات همراه با ورق‌های روسری و زیرسری را که یکی از اتصالات گیردار از پیش تأییدشده می‌باشد، مرتفع سازد.

۲- صحت‌سنجی

برای صحت‌سنجی از مطالعه آزمایشگاهی فنایی و جهان‌بختی [۲۵] که در سال ۲۰۱۵ به‌منظور حذف ورق‌های پیوستگی داخلی ستون قوطی‌شکل در اتصال مستقیم تقویت‌نشده جوشی (WUF-W) انجام گرفته، استفاده شده است. در این مطالعه با اتصال ورق‌هایی به ستون قوطی‌شکل، ضخامت ناحیه اتصال تیر به ستون و ۶۰ سانتی‌متر بالا و پایین آن، تقویت شده است. مدل کوچک، برای صحت‌سنجی در نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس مدل‌سازی شده، همچنین به‌منظور مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی، نمودارهای لنگر در بر ستون - تغییر مکان نسبی طبقه آن‌ها بر روی یک نمودار نمایش داده شده است. پروتکل بارگذاری اعمال‌شده به نمونه‌ها مطابق با آیین‌نامه [26] AISC-341 بوده است. همچنین در مدل‌سازی از المان‌ها پوسته‌ای چهارگره‌ای استفاده شده است. ابعاد تیر و ستون در شکل (۱) به نمایش درآمده است. در ساخت نمونه‌ها و مدل‌سازی از فولاد ST37 استفاده و بارگذاری به‌صورت چرخه‌ای به انتهای تیر اعمال گردیده است. همچنین اتصال به‌صورت یک‌طرفه مدل‌سازی شده است. همان‌طور که در شکل (۲) قابل مشاهده است، نتایج

هزینه‌های مربوط به رنگ‌آمیزی سطح و سایر الزامات مربوط به نگهداری را به حداقل می‌رساند [۲].

اگرچه ستون‌های قوطی‌شکل دارای مزایای مذکور هستند، محققان همچنان به دنبال یافتن اتصالی مناسب بین تیر و این ستون‌ها هستند. مطالعات گسترده و جزئیات مختلف برای اتصالات تیر I شکل به ستون با مقطع بال پهن بعد از زلزله ۱۹۹۴ نورث‌ریج توسط محققان ارائه شده، اما مطالعات محدودی در مورد اتصال تیر I شکل به ستون با مقطع قوطی‌شکل انجام گرفته است. علی‌رغم تفاوت‌های موجود میان اتصالات تیر به ستون با مقطع قوطی‌شکل و تیر به ستون با مقطع بال پهن و با توجه به اتصال جان تیر به مؤلفه خارج از صفحه بال ستون قوطی‌شکل و نیز رفتار متفاوت چشمه اتصال در دو جان، در جزئیات اتصالات پیشنهاد شده که از ورق‌های پیوستگی در تراز بال‌های تیر استفاده شود [۳]. تعبیه ورق‌های پیوستگی داخلی ستون قوطی‌شکل، امری مشکل و هزینه‌بردار است؛ به همین دلیل، محققان درصد ارائه جزئیاتی مناسب‌تر برای اجرای اتصال ورق‌های پیوستگی داخلی و همچنین پیشنهادهایی برای حذف آن‌ها و یافتن مسیری نو برای انتقال نیرو از طریق المان‌های خارج از ستون هستند.

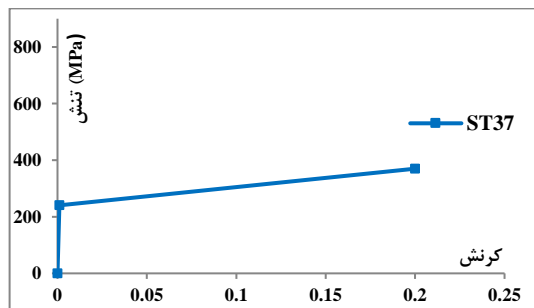
اتصالات تقویت‌شده جوشی توسط ورق‌های لچکی [۴]، اتصالات درختی ستون همراه با جزئیات بهبودیافته، شامل حذف سوراخ دسترسی جوش و استفاده از تیر کوتاه بال پهن [۵] و استفاده از اتصالات همراه با ماهیچه‌های افقی [۶]، همگی به‌منظور بهبود اجرای اتصالات همراه با ورق‌های پیوستگی داخلی ستون قوطی‌شکل در سال‌های اخیر پیشنهاد شده است. علاوه بر این، ورق‌های خارجی T شکل یا استفاده از ورق‌های سخت‌کننده مثلثی‌شکل برای ستون قوطی‌شکل [۷-۱۰]، سخت‌کننده‌های T شکل برای ستون‌های قوطی‌شکل پر شده با بتن (CFT) [۱۱-۱۳]، استفاده از ورق‌های سخت‌کننده پیرامون ستون قوطی‌شکل [۱۴-۱۶]، استفاده از شکل مخصوصی از پیچ‌های با مقاومت بالا [۱۷]، استفاده از پیچ‌های پرمقاومت کور [۱۸] و همچنین استفاده از اتصالات همراه با صفحات انتهایی پیچ‌شده [۱۹-۲۱] همگی به‌منظور حذف ورق‌های پیوستگی داخلی و ایجاد مسیری نو برای انتقال نیرو از بال به جان ستون مطرح شده است. همچنین یکی از دلایل انجام تحقیقات فراوان بر روی ستون‌های پر شده با بتن، حذف ورق‌های پیوستگی ستون‌های قوطی‌شکل است [۲۲-۲۴].

اتصالات موردبررسی از ساختمان‌ها با تعداد طبقات ۷، ۱۲ و ۲۰، در طبقه دوم انتخاب شده است. نمونه‌ها به صورت اتصالات کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم‌بندی شده‌اند که با اسامی مختصر DC-S، DC-M و DC-L در شکل ۴ مشخص شده است. همچنین در شکل ۴ پلان ساختمان‌ها و ابعاد تیر و ستون نیز نمایش داده شده است. در طراحی نمونه‌ها، از فولاد ساختمانی ST37 که مشخصات مکانیکی آن در جدول ۱ نمایش داده شده، استفاده گردیده و نیز رفتار فولاد به صورت دو خطی مطابق شکل ۵ در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است طول تیر و ستون در این مطالعه برابر با ۳۰۰ سانتی‌متر و اتصال به صورت یک‌طرفه فرض شده است.

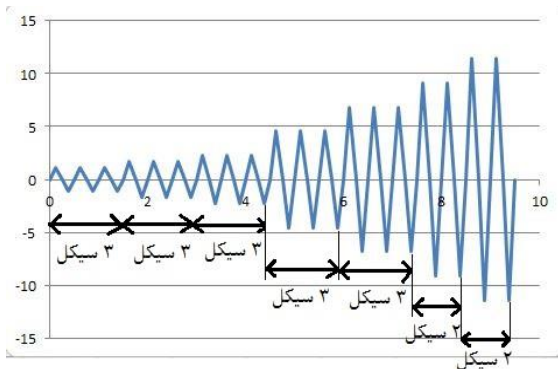
همچنین به منظور جلوگیری از کماتش پیچشی جانبی تیر نقاط انتهایی آن در راستای خارج از صفحه مقید شده است. پروتکل بارگذاری اعمال‌شده به انتهای تیر به صورت تغییرمکان و مطابق با الگوی بارگذاری آیین‌نامه ATC-24 [28] در نظر گرفته شده است. پروتکل بارگذاری موردنظر در شکل (۶) به نمایش درآمده است.

جدول ۱- مشخصات مکانیکی مصالح

نمونه	Fy (Mpa)	Fu (Mpa)	E (Mpa)	ν
ST37	۲۴۰	۳۷۰	۲۱۰۰۰۰	۰/۳

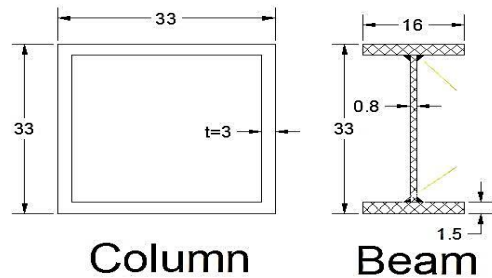


شکل ۵- نمودار تنش کرنش فولاد ST37

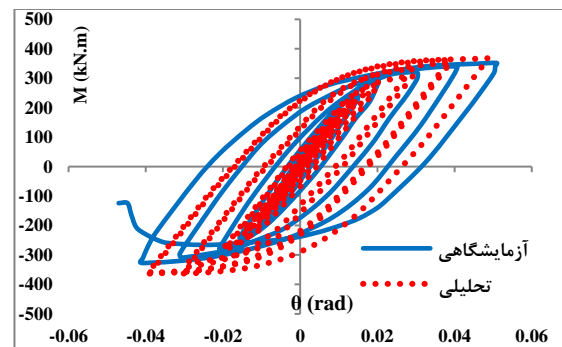


شکل ۶- الگوی بارگذاری چرخه‌ای آیین‌نامه ATC-24 [28]

آزمایشگاهی و عددی دارای مطابقت قابل قبولی بوده، خطای متوسط آن کمتر از ۶ درصد است. در شکل (۳) تصاویری از انجام آزمایش، نمایش داده شده است.



شکل ۱- ابعاد نمونه کوچک آزمایشگاهی (سانتی‌متر) [۲۵]



شکل ۲- نمودار لنگر- دوران برای مدل تحلیلی و آزمایشگاهی



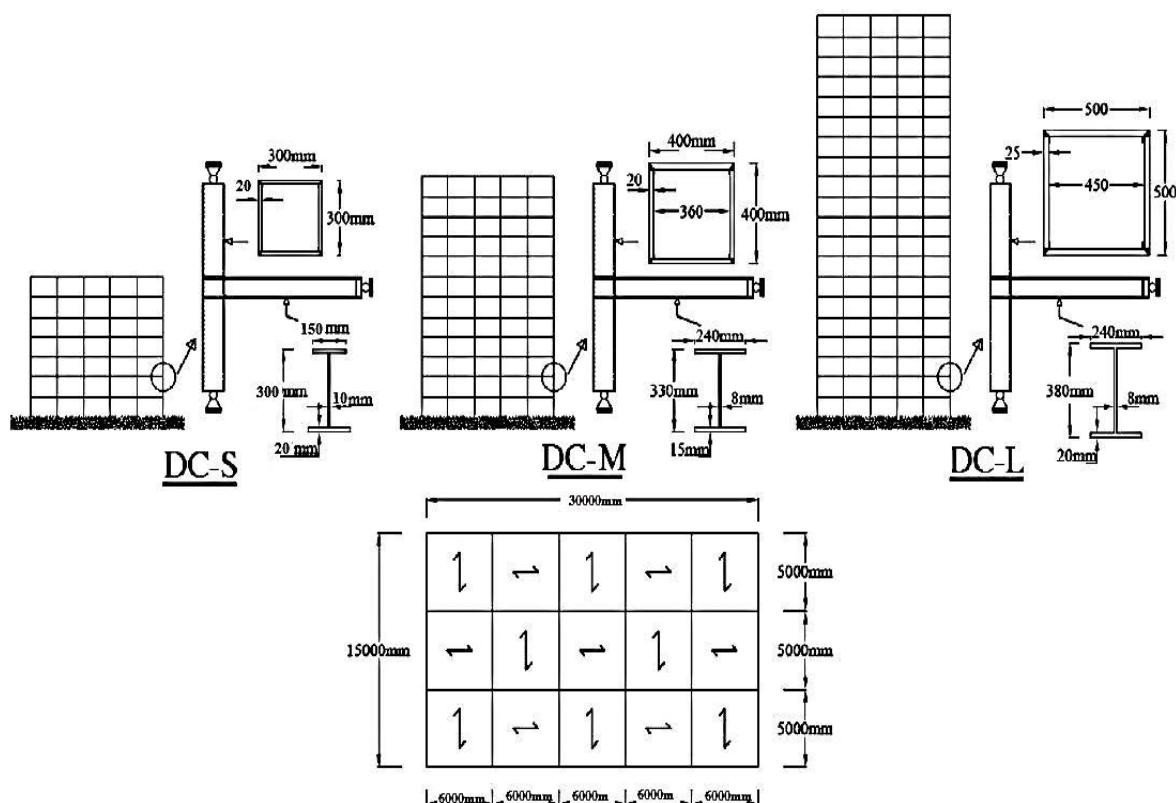
شکل ۳- تصویر آزمایشگاهی نمونه اتصال کوچک در دوران

۰/۰۵ رادیان [۲۵]

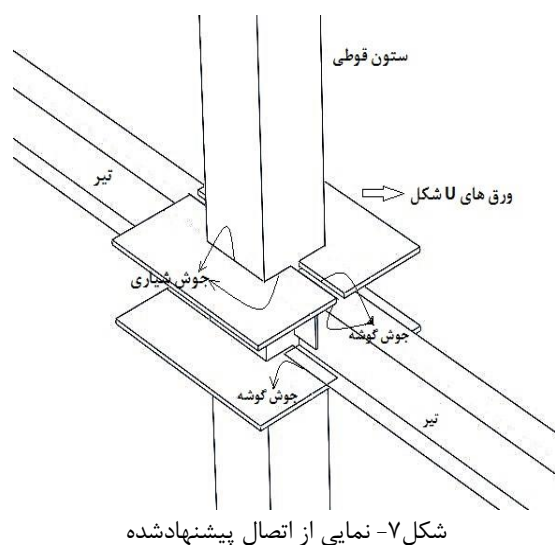
با توجه به مشاهدات آزمایشگاهی نمونه کوچک، در نیم سیکل رفت چرخه اول ۵ درصد (۳۱ چرخه)، در محل اتصال بال تیر به ستون کماتش جزئی موضعی بال تیر مشاهده شده، ولی در نیم چرخه برگشت، جوش در محل اتصال بال تیر به ستون دچار پارگی و با باز شدن کامل محل درز، آزمایش متوقف گردیده است.

۳- نمونه‌های مورد مطالعه

نمونه‌های مورد مطالعه از مقاله صانعی‌نیا و همکاران [۲۷] که به بررسی آزمایشگاهی عملکرد لرزه‌ای اتصالات مستقیم تقویت‌نشده جوشی تحت بارگذاری دوجانبه و به صورت یک‌طرفه انجام گردیده، انتخاب شده است. در این مطالعه،



شکل ۴- ابعاد تیر و ستون و پلان ساختمان‌های ۷، ۱۲ و ۲۰ طبقه [۲۷]



شکل ۷- نمایی از اتصال پیشنهاد شده

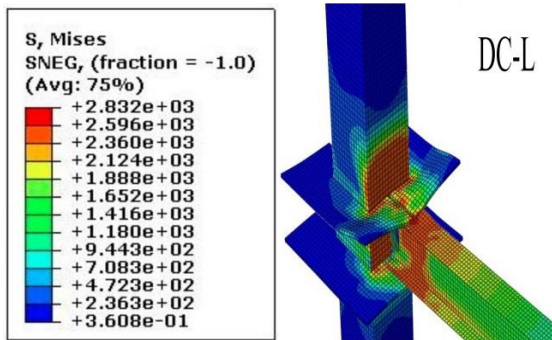
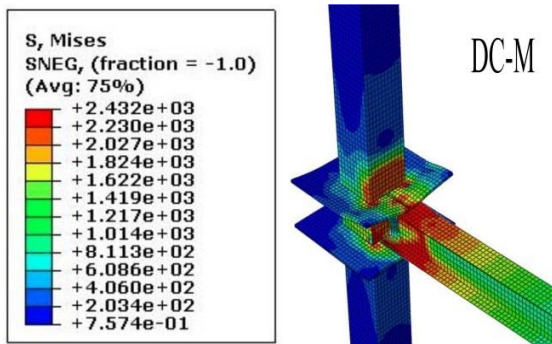
ابعاد ورق‌های U شکل برای هر یک از اتصالات مطرح شده در بالا، در شکل (۸) نمایش داده شده است.

۴- نتایج تحلیل چرخه‌ای اتصالات

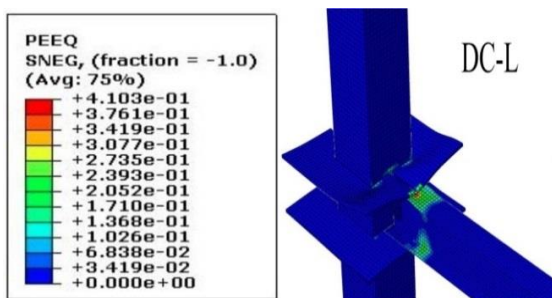
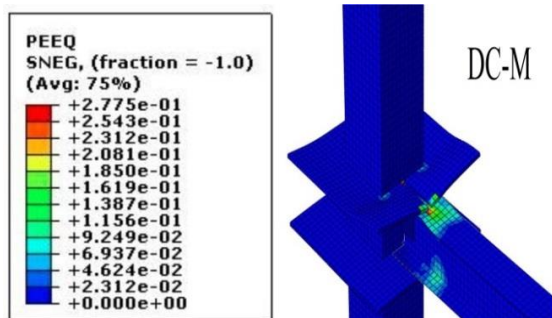
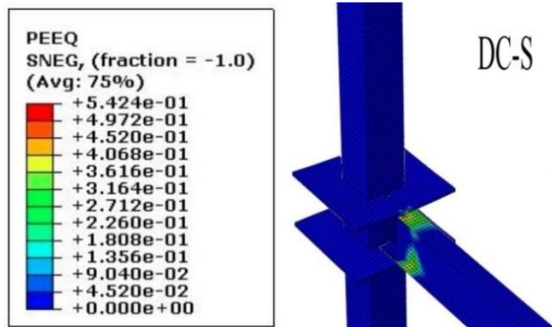
اتصال پیشنهاد شده، در نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس مورد مدل‌سازی قرار گرفته و نتایج آن تحت بارگذاری چرخه‌ای استخراج شده است. در مدل‌سازی تیر و ستون، از المان‌های ۴ گرهی Shell و در مدل‌سازی ورق‌های اتصال،

در اتصال پیشنهادی، مطابق با اتصال با ورق‌های روسری و زیرسری (WFP) طراحی شده، با این تفاوت که طول مؤثر اتصال در اتصال پیشنهاد شده نسبت به اتصال WFP بیشتر است که این امر موجب کاهش طول و ضخامت ورق‌های اتصال شده است. در اتصال پیشنهادی تیر به ستون متصل نشده، همچنین ورق‌های U شکل توسط جوش شیاری با نفوذ کامل به ستون متصل گردیده‌اند. اتصال ورق‌های U شکل فوقانی به بال تیر نیز توسط جوش گوشه صورت پذیرفته است که در شکل (۸) نمایش داده شده است. اتصال ورق‌های U شکل تحتانی در محل تقاطع بال تیر و ورق توسط جوش گوشه انجام گردیده است. اگر اتصال مورد نظر به صورت ۴ طرفه در نظر گرفته شود، می‌توان به جای ورق‌های U شکل از ورق‌های L شکل استفاده کرد. نمایی از اتصال پیشنهاد شده در شکل (۷) نمایش داده شده است. شایان ذکر است کنترل لهیدگی و کمناش جان موضعی جان ستون در مقابل بار فشاری و همچنین کنترل خمش در جان ستون در اثر بال کششی، تماماً مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان کنترل شده است.

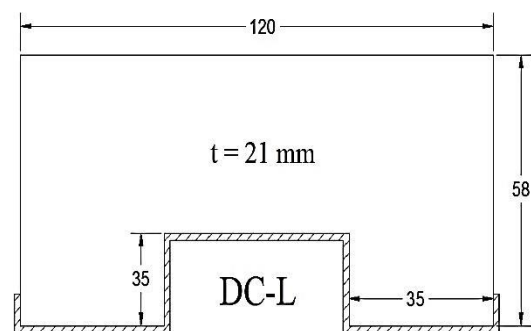
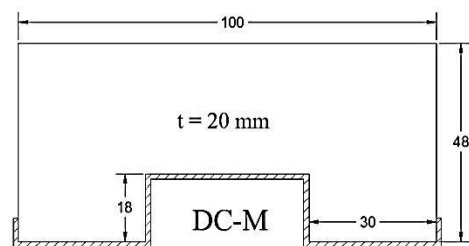
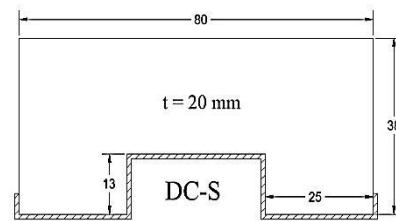
از المان‌های ۸ گرهی توپر Solid استفاده شده است. از مدل‌سازی جوش‌ها در نرم‌افزار صرف‌نظر و رفتار آن‌ها توسط امکانات نرم‌افزاری، شبیه‌سازی گردیده است. توزیع تنش فون مایسز و کرنش پلاستیک معادل برای هر یک از اتصالات مطرح‌شده در بالا در شکل‌های (۹) و (۱۰) نمایش داده شده است. همچنین نمودارهای چرخه‌ایلنگر- دوران اتصالات پیشنهادی را در شکل (۱۱) می‌توان مشاهده کرد.



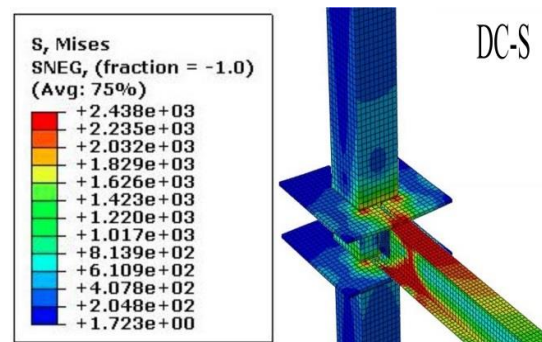
شکل ۹- توزیع تنش فون مایسز در اتصالات پیشنهادی

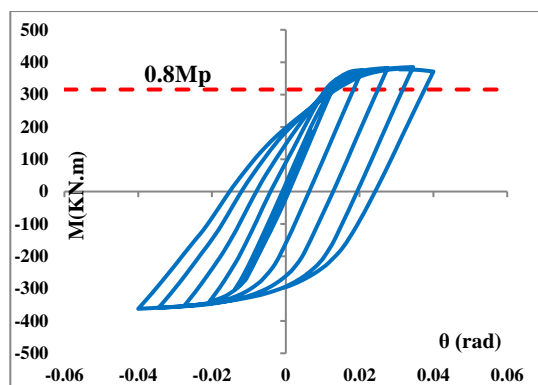


شکل ۱۰- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصالات پیشنهادی

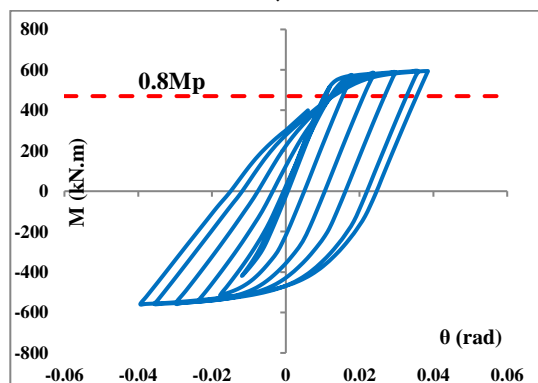


شکل ۸- ابعاد ورق U شکل در اتصال. (الف) کوچک، (ب) متوسط، (ج) بزرگ (خطوط هاشور خورده، خطوط جوش ورق‌های اتصال فوقانی را نشان می‌دهد)



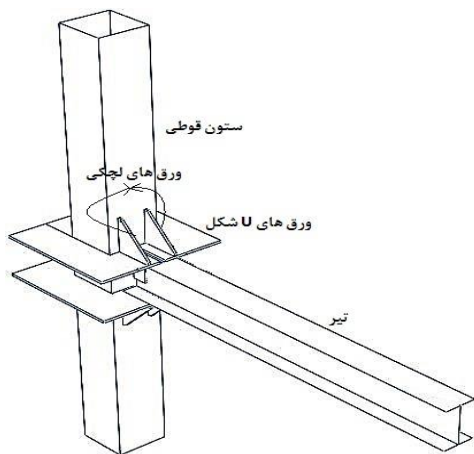


(ب)

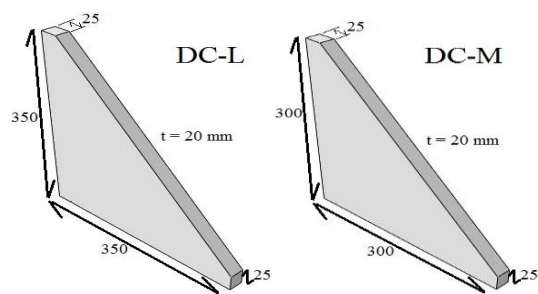


(ج)

شکل ۱۱- نمودارهای چرخه‌ای لنگر- دوران، (الف) DC-S، (ب) DC-L، (ج) DC-M، (د) DC-S



شکل ۱۲- نمایی از اتصال تقویت‌شده با ورق‌های لچکی

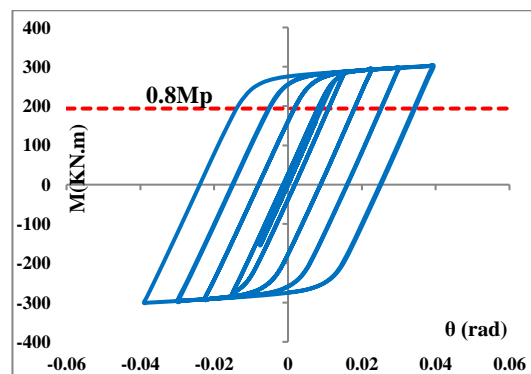


شکل ۱۳- جزئیات ورق‌های لچکی به‌منظور تقویت اتصالات DC-L و DC-M

همان‌طور که در شکل‌های (۹) و (۱۰) قابل مشاهده است، در اتصال DC-S مفصل پلاستیک در قسمت انتهایی ورق‌های U شکل و در تیر تشکیل شده، اما در اتصالات DC-M و DC-L مفصل پلاستیک علاوه بر تیر در اتصال بر و در ستون نیز تشکیل گردیده است. این موضوع عملکرد اتصال را تحت تأثیر خود قرار داده، با ضوابط لرزه‌ای آیین‌نامه‌های بین‌المللی نیز در تضاد است. همان‌طور که در شکل (۱۱) قابل مشاهده است، تشکیل مفصل پلاستیک در ستون موجب شده که در اتصالات DC-M و DC-L منحنی‌های چرخه‌ای لنگر- دوران این اتصالات نامنظم شود و نتواند جذب انرژی را به‌صورت ظرفیت کامل خود جذب کند؛ اما این موضوع در منحنی چرخه‌ای اتصال DC-S مشاهده نشده است. در نتیجه، باید راهکاری به‌منظور تقویت اتصالات DC-M و DC-L مطرح شود. در این مطالعه، این اتصالات توسط ورق‌های لچکی، تقویت شده است. طراحی ورق‌های لچکی مطابق با مقاله آرلکا و مورتی [۲۹] انجام گردیده است.

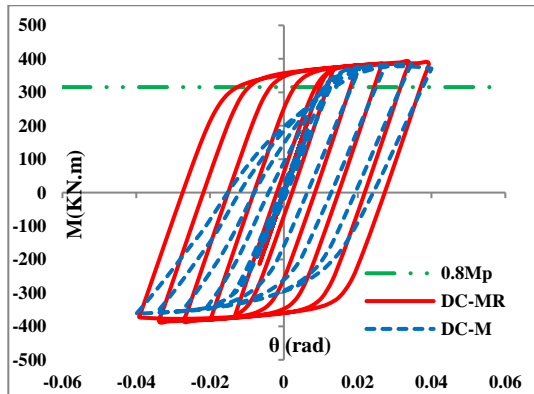
نمایی از اتصالات تقویت‌شده همراه با ورق‌های لچکی و جزئیات ورق‌های لچکی به‌ترتیب در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) نمایش داده شده است. در این اتصال پیشنهادی ورق‌های لچکی توسط جوش گوشه به بال ستون و ورق‌های U شکل اتصال یافته است.

توزیع تنش فون مایسز و کرنش پلاستیک معادل در دو اتصال تقویت‌شده در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) نمایش داده شده است. همچنین برای مقایسه عملکرد دو اتصال تقویت‌شده و تقویت‌نشده، نمودارهای چرخه‌ای لنگر- دوران و پوش آن‌ها بر روی یک نمودار در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) نمایش داده شده است. اتصالات تقویت‌شده DC-M و DC-L به‌ترتیب با اسامی مخفف DC-MR و DC-LR نام‌گذاری شده‌اند.

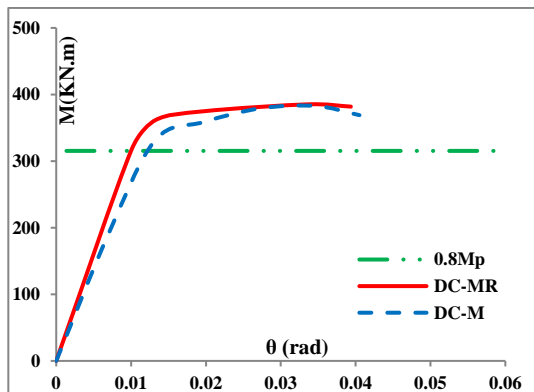


(الف)

نشده است، نامنظمی نمودارهای چرخه‌ای، نشان‌دهنده تشکیل مفصل پلاستیک در بر اتصال و همچنین کاهش سطح اطمینان آن و عدم توانایی اتصال در استهلاک انرژی است. به همین دلیل، استفاده از ورق‌های لچکی برای تقویت اتصال و بهره‌مندی از تمام ظرفیت اتصال مطرح شد.



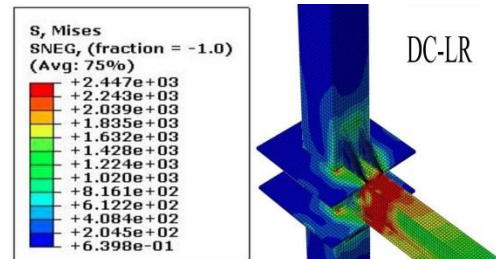
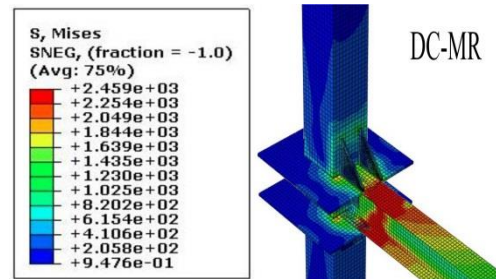
(الف)



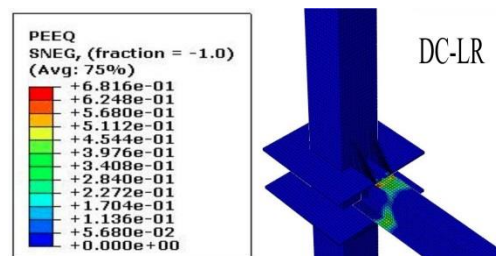
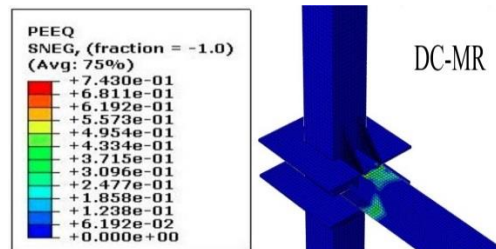
(ب)

شکل ۱۶- اتصال DC-MR (الف) نمودار چرخه‌ای لنگر-دوران، (ب) نمودار پوش

در جدول ۲ اطلاعات استخراج‌شده از نمودارهای پوش اتصالات همراه با ورق لچکی و بدون آن، شامل ظرفیت باربری، سختی و جذب انرژی آورده شده است. نتایج حاصل از نمودار پوش نیز نشان داد که سطح عملکرد اتصال تقویت‌شده همراه با ورق‌های لچکی نسبت به حالتی که تقویتی انجام نمی‌شود، بالاتر بوده است. شایان ذکر است اتصال پیشنهادی به دلیل آنکه تا دوران ۰/۰۴ رادیان افت قابل‌ملاحظه مقاومت نداشته است، قابلیت استفاده در قاب‌های خمشی ویژه را دارا است [۳۰]. در جدول ۳ درصد گیرداری اتصالات که با استفاده از مفهوم خط تیر مطابق با مرجع [۱۶] محاسبه گردیده، نمایش داده شده است. همان طور که در جدول ۳ نیز مشخص است، استفاده از ورق‌های لچکی، موجب افزایش درصد گیرداری اتصالات شده است.



شکل ۱۴- توزیع تنش فون مایسز در اتصالات تقویت شده



شکل ۱۵- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصالات تقویت‌شده

همان طور که در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) نیز قابل مشاهده است، تقویت اتصالات موجب شده که مفصل پلاستیک به‌طور کامل در تیر و در قسمت انتهایی ورق‌های U شکل تشکیل شود. همچنین کرنش پلاستیک معادل در محل اتصال و در بر ستون به صفر رسیده که این امر موجب افزایش سطح اطمینان اتصال پیشنهادی شده است. در این حالت نیز ورق‌های U شکل حالت پایدارتری را نسبت به حالت تقویت‌نشده دارا بودند.

همان طور که در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) قابل مشاهده است، وجود ورق‌های لچکی در اتصالات پیشنهادی، عملکرد آن را به‌خوبی تحت‌تأثیر قرار داده، موجب شده است که منحنی‌های چرخه‌ای اتصالات به‌صورت منظم و جذب انرژی به‌صورت کامل انجام شود. در حالتی که اتصال تقویت

و اتصال پیشنهاد شده برای سه نمونه اتصال تیر I به ستون قوطی شکل با ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که:

۱. اتصال پیشنهادی به‌وسیله مکانیزمی جدید برای انتقال نیرو علاوه بر حذف ورق‌های پیوستگی در اتصالات همراه با ستون قوطی شکل، توانست اتصال گیردار مؤثری بین تیر با مقطع I شکل و ستون با مقطع قوطی شکل فراهم آورد.

۲. ورق‌های U شکل در اتصال کوچک به‌صورت کامل و بدون ایجاد تشکیل مفصل پلاستیک در اتصال، نیرو را به ستون انتقال دادند. این در حالی است که استفاده از این ورق‌ها به‌عنوان ورق پیوستگی در اتصالات متوسط و بزرگ باعث ایجاد مفصل پلاستیک در ستون شد. در نتیجه، این اتصالات نیازمند تقویت در محل اتصال هستند.

۳. استفاده از ورق‌های لچکی به‌منظور تقویت اتصال پیشنهادی موجب شد هیچ‌گونه کرنش پلاستیک در بر اتصال و ستون مشاهده نشده، مفصل پلاستیک به‌صورت کامل در انتهای ورق اتصال، تشکیل شود.

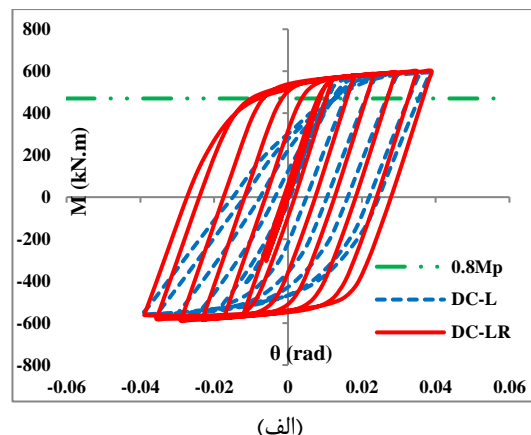
۴. تقویت اتصال موجب شد ورق‌های U شکل دارای پایداری و اعوجاج کمتری نسبت به حالت تقویت نشده باشند. در نتیجه، اتصال تقویت شده دارای نمودارهای چرخه‌ای لنگر- دوران پایدار و منظم نسبت به حالت تقویت نشده بوده است.

۵. اتصال پیشنهادی توانست بدون افت قابل‌ملاحظه در مقاومت تا ۰/۰۴ رادیان دوران کند و قابلیت استفاده به‌عنوان اتصال گیردار را در قاب‌های خمشی ویژه، مطابق با ضوابط لرزه‌ای به دست آورد.

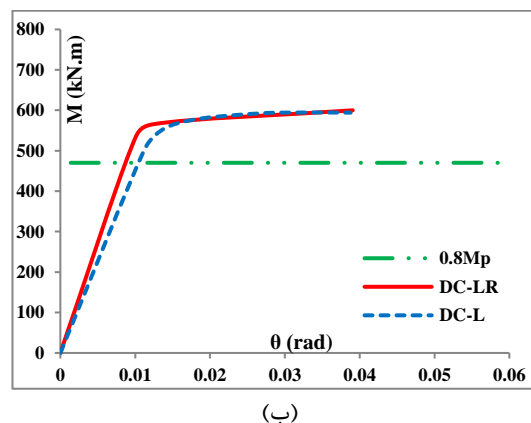
۶. با توجه به اینکه نتایج عددی نشان داد اتصال پیشنهادی، قابلیت حذف ورق‌های پیوستگی ستون‌های قوطی شکل را فراهم آورده است، با این حال نیاز به انجام مطالعات آزمایشگاهی و عددی بیشتری به‌منظور بهبود روند طراحی و رفتار اتصال در شکست، وجود دارد.

تقدیر و تشکر

در این قسمت از مقاله، شایسته است از گروه تخصصی شهید رجایی که زمینه‌ساز انجام این کار تحقیقاتی بوده است، تشکر و قدردانی کنم..



(الف)



(ب)

شکل ۱۷- اتصال DC-LR (الف) نمودار چرخه‌ای لنگر-دوران (ب) نمودار پوش

جدول ۲- جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری اتصالات پیشنهادی

اتصال	جذب انرژی kN.m	سختی kN/m	ظرفیت باربری kN.m
DC-S	۹/۵۷	۲۳۴۵/۶۷	۳۰۳/۴۵
DC-M	۱۲/۳۳	۲۷۸۷/۶۶	۳۶۸/۹۶
DC-MR	۱۲/۵۴	۳۵۰۲/۶۰	۳۸۱/۸۲
DC-L	۱۸/۸۳	۴۹۷۶/۳۴	۵۹۴/۲۳
DC-LR	۱۹/۵۲	۵۹۴۸/۷۲	۶۰۰/۰۰

جدول ۳- درصد گیرداری اتصالات

اتصال	درصد گیرداری
DC-S	۶۹
DC-M	۶۷
DC-MR	۷۰
DC-L	۶۶
DC-LR	۷۰

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، به ارائه اتصال گیرداری به‌منظور حذف ورق‌های پیوستگی داخلی ستون قوطی شکل پرداخته شده

مراجع

- [1] M. Nakashima, C.W. Roeder and Y. Maruoka, "Steel Moment Frames For Earthquakes in United States & Japan", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 126, 2000, pp. 861-868.
- [2] D.R. Sherman, "Designing With Structural Tubing", *Engineering Journal*, Vol. 33, 1996, pp. 101-109.
- [3] FEMA-355D, State of the Art Report on Connection Performance, Washington (DC), Federal Emergency Management Agency, 2000.
- [4] C.C. Chen, C.C. Lin and C.L. Tsai, "Evaluation of Reinforced Connections Between Steel Beams & Box Columns", *Engineering Structures*, Vol. 26, 2004, pp. 1889-1904.
- [5] C.C. Chen, C.C. Lin and C.H. Lin "Ductile Moment Connections Used in Steel Column-Tree Moment-Resisting Frames", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 62, 2006, pp. 793-801.
- [6] N. Tanaka, "Evaluation of Maximum Strength & Optimum Haunch Length of Steel Beam-End With Horizontal Haunch", *Engineering Structures*, Vol. 25, 2003, pp. 229-239.
- [7] N.E. Shanmugam and L.C. Ting, "Welded Interior Box Column to I-Beam Connections", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 121, 1995, pp. 24-30.
- [8] L.C. Ting, N.E. Shanmugam and S.L. Lee, "Box Column to I-Beam Connections With External Stiffeners", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 18, 1991, pp. 209-226.
- [9] L.C. Ting, N.E. Shanmugam and S.L. Lee, "Design of I-Beam to Box Column Connections Stiffened Externally", *Engineering Journal*, Vol. 4, 1993, pp. 141-149.
- [10] N.E. Shanmugam, L.C. Ting and S.L. Lee, "Behavior of I-Beam to Box Column Connections Stiffened Externally & Subjected to Fluctuating Loads", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 20, 1991, pp. 129-148.
- [11] C.H. Kang, K.J. Shin, Y.S. Oh and T.S. Moon, "Hysteresis Behavior of CFT Column to H-Beam Connections With External T-stiffener & Penetrated Elements", *Engineering Structures*, Vol. 23, 2001, pp. 1194-1201.
- [12] K.J. Shin, Y.J. Kim, Y.S. Oh and T.S. Moon, "Behavior of Welded CFT Column to H-Beam Connections With External Stiffeners", *Engineering Structures*, Vol. 26, 2004, pp. 1877-1887.
- [13] K.J. Shin, Y.J. Kim, Y.S. Oh, "Seismic Behavior of Composite Concrete-Filled Tube Column to Beam Moment Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 64, 2008, pp. 118-127.
- [14] J.W. Park, S.M. Kang and S.C. Yang, "Experimental Studies of Wide Flange Beam to Square Concrete Filled Tube Column Joints With Stiffening Plated Around the Column", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 131, 2005, pp. 1866-1876.
- [15] Y. Kurobane, "Connections in Tubular Structures", *Progress in Structural Engineering and Materials*, Vol. 2, 2002, pp. 35-43.
- [۱۶] پ. طریقی، «ارزیابی و مقایسه عملکرد اتصالات جوشی از پیش تأییدشده در سازه‌های فولادی تحت بارگذاری چرخه‌ای»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران، ۱۳۹۵.
- [17] A. Tanaka, H. Masuda, H. Kadoya and A. Ito, "Behavior of WF Beam to SHS Column Connections Using Special Shaped High Strength Bolts", *Proceedings of the fourth international workshop on connections in steel structures*, 2000, pp. 205-212.
- [18] R.M. Korol, A. Ghobaran and S. Mourad, "Blind Bolted W-Shaped Beam to HSS Columns", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 119, 1993, pp. 3463-3481.
- [19] A.T. Wheeler, M.J. Clarke, G.J. Hancock T.M. Murray, "Design Model For Bolted Moment End Plate Connections Joining Rectangular Hollow Sections", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 124, 1998, pp. 164-173.
- [20] A.T. Wheeler, M.J. Clarke and G.J.Hancock, "FE Modeling of Four Bolt Tubular Moment End Plate Connections", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 126, 2000, pp.816-822.

[21] S. Erfani, A.A. Asnafi and A. Godarzi, "Connection of I-Beam to Box Column by a Short Stub Beam", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 127, 2016, pp. 136-150.

[۲۲] م.ع. لطف‌اللهی یقین و م. ضیائیون، «بررسی رفتار ستون‌های مرکب دولایه تحت اثر متقابل نیروی محوری و لنگر خمشی»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۰، شماره ۳۱، زمستان ۱۳۹۱، صفحه ۱۵-۲۳.

[۲۳] م. احمدی، ع. خیرالدین و ح. نادرپور، «بررسی رفتار و مقایسه آیین‌نامه‌های معتبر دنیا در زمینه ستون‌های مرکب بتنی و فولادی»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۸، شماره ۲۲، پاییز ۱۳۸۹، صفحه ۳۷-۴۹.

[۲۴] ع. همتی و ع. خیرالدین، «بررسی تأثیر طبقه انتقالی بر رفتار ساختمان‌های ترکیبی در ارتفاع»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۹، شماره ۲۶، پاییز ۱۳۹۰، صفحه ۵۷-۶۵.

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

[26] AISC/ANSI 341, Seismic Provisions For Structural Steel Buildings, Chicago, American Institute of Steel Construction, 2010.

[27] Z. Saneei Nia, M. Ghassemieh and A. Mazroi, "WUF-W Connection Performance to Box Column Subjected to Uniaxial & Biaxial Loading", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 88, 2013, pp. 90-108.

[28] ATC-24, Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures for Buildings, Applied Technology Council, Redwood City, CA., 1992.

[29] J.N. Arlekar C.V.R. Murty, "Improved Truss Model for Design of Welded Steel Moment Resisting Frame Connections", Journal of Structural Engineering, Vol. 130, 2004, pp. 498-510.

[30] AISC 358, Prequalified Connections For Special & Intermediate Steel Moment Frams For Seismic Applications, Chicago, 2016.