

بررسی عملکرد میراگر شکافدار و تیر با سطح مقطع کاهش یافته تحت بارگذاری چرخه‌ای

مسعود ذبیحی سامانی^{۱*}، محمدحسین عابدابراهیمی^۲، پیام طریقی^۳

۱-استادیار، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی عمران، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، ایران

۲-کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی عمران، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳-کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

چکیده

یکی از نقدهای مطرح شده به اتصالات پیشنهادی بعد از زلزله‌های نورتریج و کوبه، تخریب تیر بعد از وقوع زلزله، دشواری و مقرون به صرفه نبودن تعویض آن پس از زلزله می‌باشد. به همین منظور ایده استفاده از اتصالات همراه با میراگر شکافدار (SSD) که موجب استهلاک انرژی و تشکیل مفصل پلاستیک در مکانی غیر از المان‌های اصلی سازه‌ای می‌گردد، مطرح شد. در این مطالعه ابتدا مقایسه‌ای بین اتصال SSD و اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته (RBS) تحت بارگذاری چرخه‌ای انجام شده است. در ادامه پیشنهاداتی به منظور بهبود عملکرد اتصال SSD با قابلیت استفاده در قاب‌های خمشی ویژه مطرح گردیده است، که این پیشنهادات شامل افزایش ضخامت و تعداد نوارها و همچنین کاهش ارتفاع میراگر بوده است. نتایج مطالعات نشان داد که اتصال SSD از لحاظ عملکردی تفاوت زیادی با اتصال RBS نداشته است و مطابق با ضوابط لرزه‌ای اتصالات از پیش تایید شده، امکان استفاده از این اتصال در قاب‌های خمشی ویژه وجود دارد با این تفاوت که نیاز به تعویض آن پس از زلزله نمی‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش ضخامت و کاهش ارتفاع میراگر بر خلاف افزایش تعداد نوارهای آن، بر روی عملکرد اتصال SSD تاثیر بیشتری داشته است. نتایج نشان می‌دهد اتصال SSD علاوه بر سهولت تعویض می‌تواند عملکردی مشابه اتصالات RBS را از خود بروز دهد.

کلمات کلیدی: اتصال همراه با میراگر شکافدار، اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته، بارگذاری چرخه‌ای، قاب خمشی ویژه، ساختمان‌های فولادی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
10.22065/JSCE.2017.98867.1329	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
doi: 10.22065/JSCE.2017.98867.1329	۱۳۹۸/۰۶/۰۱	۱۳۹۶/۱۰/۰۴	۱۳۹۶/۱۰/۰۴	۱۳۹۶/۰۹/۲۶	۱۳۹۶/۰۷/۰۲
مسعود ذبیحی سامانی zabihi@pia.ac.ir			*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:		

Evaluation of Slit Steel Damper & Reduced Beam Section Connections Under Cyclic Loading

Masoud Zabihi Samani^{1*}, Mohammad Hossein Abed Ebrahimi², Payam Tarighi³

1- Assistant Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Parand Branch, Islamic Azad University, Parand, Iran

2- M.Sc. in Structural Engineering, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3- M.Sc. in Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

ABSTRACT

One of the drawbacks of the mentioned connections after Northridge and kobe earthquakes was the destruction of beam after earthquake, difficulty and non economical displacement of the beam. Several studies are being carried out on a variety of materials and systems that dissipate the seismic loading effects in order to improve the seismic performance of steel frames. By placing dampers in the beam column connections, damage to the beams and columns, which are very difficult to replace after an earthquake, was prevented during an earthquake. During the design process of dampers, in order to concentrate the earthquake loads on the damper, it was manufactured intentionally with a lower strength than the beams and columns. Through this, beams and columns are protected from damage by utilizing the energy absorption capacity of the damper. Slit damper is a plate or a standard section with a number of slits in the web. The damper is attached to the beam by bolting a plate on the damper under the flange of the beam. In this study first compared slit steel damper connection and connection with the reduced beam section (RBS) under cyclic loading. Some suggestions were provided for improvement of the performance of slit steel damper connection and for making its behavior similar to that of reduced beam section connection and transforming it to a connection which can be used in the special bending frame; and these suggestions include increase in the thickness and number of stripe and decrease in the height. The results and simulations showed that increasing in the number of strips, the increase in thickness and decrease in the height of the SSD damper affects significantly the performance of SSD connection.

ARTICLE INFO

Received: 24/09/2017

Revised: 17/12/2017

Accepted: 25/12/2017

Keywords:

Slit steel damper,
Reduced beam section,
Cyclic loading,
Special moment frame,
Steel structures.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2017.98867.1329

*Corresponding author: Masoud Zabihi Samani

Email address: zabihi@piaou.ac.ir

۱- مقدمه

تا قبل از وقوع زلزله ۱۹۹۴ نورثریج (Northridge) تصور بر این بود که استفاده از قاب‌های خمشی ویژه و اتصال تیر به ستون با جوش کامل، در صورت رعایت اصول فنی در طرح و اجرای سازه‌های فولادی، باعث آن می‌شد که این سازه‌ها در زلزله عملکرد قابل قبولی از خود نشان دهند. استفاده گسترده از این سیستم به این دلیل بود که تصور می‌شد که این نوع اتصالات ظرفیت تغییر شکل پلاستیک بالایی دارند، اما وقوع زلزله‌های نورثریج آمریکا و کوبه (Kobe) ژاپن سبب گردید تا بسیاری از اتصالات گیردار تیر به ستون، شکست ترد را تجربه کنند. پس از وقوع این زمین لرزه‌ها، پژوهش‌های آزمایشگاهی گسترده‌ای به منظور مقاوم سازی و افزایش شکل‌پذیری اتصالات انجام شد و تعداد زیادی از اتصالات اصلاح شده، پیشنهاد گردید.

در سال ۱۹۹۷، وادا و همکاران [۱] به مطالعه آزمایشگاهی بر روی میراگرهای شکافدار فولادی (SSD) پرداختند. در این مطالعه میراگر شکافدار بر روی گاست پلیت‌های نصب شده روی تیر، در قاب اصلی مونتاژ گردیده است. نتایج آزمایش‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای نشان داد که میراگر شکافدار فولادی، دارای حلقه‌های هیستریزس پایداری بوده است. لی و همکاران [۲] به منظور جلوگیری از کمناش بادبندهای ضربداری و جذب انرژی ناشی از زلزله، از میراگرهای شکافدار فولادی در محل اتصال بادبندهای ضربداری استفاده کردند. این مطالعه که بصورت آزمایشگاهی و عددی انجام شد، ظرفیت نهایی جذب انرژی به وسیله میراگر شکافدار فولادی تحت نیروهای برشی، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعات نشان داد که میراگر شکافدار فولادی در معرض نیروهای برشی، رفتار هیستریزس پایداری از خود نشان داده است. در سال ۲۰۰۸، چان و البرمانی [۳] از میراگر شکافدار در محل اتصال بادبندهای شورون به تیر استفاده کردند. همچنین در این مطالعه به منظور دستیابی به بهترین نسبت عرض به طول نوار، نمونه‌های مختلف میراگر شکافدار تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفتند. نتایج نشان داد که میراگرها به طور میانگین، پس از تغییر مکان تجمعی ۵۰۰ میلیمتر دچار شکست شدند. همچنین میراگر با بزرگترین نسبت عرض به طول، بزرگترین نیرو و میراگر با کوچکترین نسبت عرض به طول کمترین نیرو را تحمل کرده‌اند. آه و همکاران [۴] در سال ۲۰۰۹، از میراگر شکافدار در محل اتصال تیر به ستون در سازه‌های فولادی استفاده کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که استهلاک انرژی و تغییر شکل پلاستیک، در میراگرهای شکافدار متمرکز شده و از رفتار غیر الاستیک تیر جلوگیری بعمل آمده است. در سال ۲۰۱۰، قبری و همکاران [۵] از روش بهینه‌سازی سازه‌ای تکاملی دو جهته (BESO) به منظور بهینه سازی شکل میراگرهای شکافدار استفاده کردند. نتایج نشان داد که نمونه بهینه با شکاف‌های لوزی شکل، نسبت به نمونه اولیه در شرایط ایده‌آل آزمایشگاهی و تاریخچه بارگذاری، ۳۷ درصد استهلاک انرژی بیشتری داشته است.

در سال ۲۰۱۰، خوشنودیان و کیانی [۶] به بررسی عددی عملکرد میراگر شکافدار در یک سازه فولادی ۱۰ طبقه به وسیله تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی پرداختند. نتایج مطالعات نشان داد که افزایش تعداد میراگرها در طبقات تا یک حد معین، در بهبود پاسخ سازه موثر بوده است و بیشتر از این حد تاثیری در بهبود پاسخ سازه نداشته است. کاراواسیلیس و همکاران [۷] یک طراحی لرزه‌ای بر مبنای حداقل خرابی، برای سازه‌های فولادی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات نشان داد که استفاده همزمان از میراگرهای ویسکوز و شکافدار در قاب‌های خمشی فولادی، تغییر مکان‌های نسبی و شتاب‌های کل را به طور همزمان کاهش می‌دهد. در سال ۲۰۱۲، توحیدی مقدم و سعیدمنیر [۸] گونه جدیدی از میراگرهای شکافدار فولادی با مقطع لوله پیشنهاد دادند. در این نوع از میراگرها به جای استفاده از شکاف در جان پروفیل I شکل از شکاف در جداره مقطع لوله استفاده شده است. نتایج نشان داد که استفاده از این میراگرها موجب کاهش چشمگیر جابجایی و برش پایه شده است، بطوری که برش پایه در هنگام استفاده از این میراگرها ۳۶ درصد کاهش پیدا کرده است. همچنین از این نوع میراگرها در محل اتصال تیر به ستون در قاب خمشی ۱۵ طبقه به منظور جلوگیری از وقوع طبقه نرم استفاده شد [۹]. نتایج تحلیل سازه با میراگر، اتلاف انرژی بالا، کاهش جابجایی طبقات و برش پایه را نسبت به سازه بدون میراگر نشان داد. در سال ۲۰۱۲، زهرایی و امین دهقان به بررسی عملکرد مهاربند قوطی در قوطی [۱۰] و لوله در لوله [۱۱] پرداختند. در این پیشنهادات به منظور استهلاک انرژی و جلوگیری از کمناش زود هنگام اعضای مهاربندی، در طول محدودی از جدار قوطی و لوله، شکاف‌های مشابه با میراگر شکافدار ایجاد شده است. منحنی‌های هیستریزس بدست آمده از تحلیل، رفتار چرخه‌ای پایدار و ظرفیت استهلاک انرژی بالایی را نشان دادند [۱۰ و ۱۱].

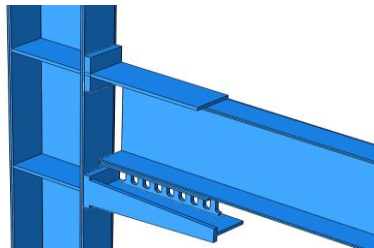
در سال ۲۰۱۲، کوکن و کروگلو [۱۲] سه نمونه اتصال مختلف را تحت بارگذاری چرخه‌ای با مقیاس کامل مورد بررسی قرار دادند. نمونه اول یک اتصال تیر به ستون معمول، نمونه دوم اتصال تیر به ستون همراه با میراگر لاستیکی و نمونه سوم، اتصال تیر به ستون مجهز به میراگر شکافدار و میراگر لاستیکی بوده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در اتصال همراه با میراگرهای لاستیکی و شکافدار، استهلاک انرژی و تغییر شکل پلاستیک در میراگر متمرکز شده و مانع از انتقال آن به تیر و ستون شده است. مشتاق و همکاران [۱۳] به بررسی میراگر شکافدار لوله‌ای بر رفتار خرابی شبکه‌های تخت دو لایه فضاکار پرداختند. این میراگر با اصلاح بار کمانشی عضو، فرصت توزیع مجدد نیرو را در اعضای دیگر داده و مانع از خرابی پیشرونده شده است. همچنین مشتاق و همکاران [۱۴] تاثیر استفاده از میراگرهای شکافدار را در خرابی پیش رونده قاب‌های سازه مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات نشان داد که استفاده از میراگر شکافدار لوله‌ای علاوه بر کاهش تغییر مکان نسبی طبقات، در مواقع خرابی موضعی یک عضو، موجب کاهش نیروی محوری ستون‌های مهاربندها شده و از خرابی پیش رونده جلوگیری کرده است. در سال ۲۰۱۳، صفاری و همکارش [۱۵] نمونه جدیدی از اتصالات همراه با میراگر شکافدار را به منظور افزایش شکل‌پذیری اتصالات خمشی تیر به ستون پیشنهاد دادند. در این مطالعه با در نظر گرفتن نسبت‌های مختلف طول و عمق تیر، بهترین پارامترهای طراحی به منظور دستیابی به شکل‌پذیری مورد نظر ارائه گردیده است.

کوکن و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۱۵، به بررسی و مطالعه آزمایشگاهی اتصالات تیر به ستون همراه با میراگرهای فولادی شکافدار در قاب‌های فولادی پرداختند. نتایج مطالعات نشان داد که تغییر شکل پلاستیک تنها در میراگر رخ داده است و تیر و ستون در حالت الاستیک باقی مانده‌اند. در سال ۲۰۱۵، هدایت [۱۷] به پیشبینی ظرفیت بار- تغییر مکان میراگرهای فولادی شکافدار، بدون کمانش پرداخته است. در این مطالعه سه نوع میراگر شیاردار تک، دوپل و سه تایی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در سال ۲۰۱۶، شهری و موسوی [۱۸] به ارائه پیشنهادی به منظور بهبود عملکرد اتصال همراه با میراگر شکافدار با عرض متغیر نوارها به گونه‌ای که قسمت‌های میانی نوارها، سطح جاذب انرژی کمتری داشته و قسمت‌های انتهایی نوارها انرژی بیشتری را جذب کنند، پرداخته‌اند. در این مطالعه پیشنهاد گردیده است که از شکاف‌های بیضی شکل بجای شکاف‌ها با عرض نوار ثابت استفاده گردد.

همچنین در سال ۲۰۱۶، تاگاو و همکاران [۱۹] به بررسی استفاده از میراگرهای شکافدار فولادی در قاب‌های مهاربندی پرداخته است. در این مطالعه بر خلاف معمول که از میراگرهای شکافدار در محل اتصال تیر به ستون استفاده شده است، از آنها در زیر قسمت مهاربندی استفاده شده است. در شش آزمون چرخه‌ای انجام شده نتایج نشان داد که سیستم مورد نظر دارای نمودارهای چرخه‌ای پایدار و دارای ظرفیت جذب انرژی بالایی بوده‌اند. در سال ۲۰۱۶، هان لی و همکاران [۲۰] طی مقاله‌ای به تجزیه و تحلیل عددی و آزمایشگاهی رفتار ترکیبی میراگرهای اصطکاکی و شکافدار تحت بارگذاری چرخه‌ای به منظور محافظت لرزه‌ای قاب‌های فولادی پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تاثیر سیستم میراگر شکافدار بسیار محسوس بوده است، به گونه‌ای که نتایج رفتار شکست کاملاً متمایزی را از خود نشان داده و همچنین تغییر شکل و اتلاف انرژی در این سیستم بشدت بهبود پیدا کرده است. برای اتصالات تیر با سطح مقطع کاهش یافته (RBS) مطالعات و آزمایشات گسترده‌ای انجام شده است که در هر کدام روش‌های مختلفی را به منظور کاهش سطح مقطع بال و یا جان تیر پیشنهاد شده است [۲۱-۲۲]. در این مطالعه ابتدا مقایسه‌ای بین اتصال SSD و اتصال RBS تحت بارگذاری چرخه‌ای انجام شده است. در ادامه پیشنهاداتی به منظور بهبود عملکرد اتصال SSD با قابلیت استفاده در قاب‌های خمشی ویژه مطرح گردیده است، که این پیشنهادات شامل افزایش ضخامت و تعداد نوارها و همچنین کاهش ارتفاع میراگر بوده است.

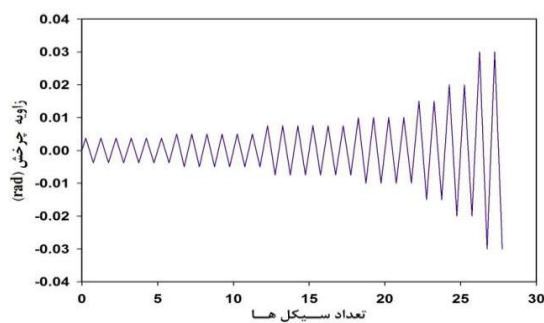
۲- صحت سنجی

آه و همکاران [۴] در نرم افزار المان محدود آباکوس [۳۳] اتصال را مورد مدلسازی قرار داده و صحت سنجی نتایج نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی داده اند. در مدلسازی تمامی المانها از المان Solid استفاده گردیده است. همچنین پیچها و جوشها در نرم افزار مدلسازی نشده و رفتار آنها توسط امکانات نرم افزاری شبیه سازی شده است. بدین صورت که محل پیچها پارتیشن بندی شده و در آن قسمت از قید tie استفاده شده است. همچنین در محل اتصال ورقهای فوقانی و تحتانی به ستون، از قیدهای تماسی (Contact) استفاده گردیده است. به منظور جلوگیری از تمرکز تنش در محل اعمال بارگذاری و همچنین در محل تکیه گاهها از جسم صلب استفاده شده است. به منظور کاهش زمان تحلیل از اصل تقارن در مدلسازی استفاده شده است. بدین ترتیب که تنها نیمی از مدل در نرم افزار مدلسازی شده و مورد تحلیل قرار گرفته است. در شکل ۱ نحوه مدلسازی نمونه D1 در نرم افزار نمایش داده شده است.



شکل ۱: مدلسازی اتصال D1 ارائه شده توسط آه و همکاران [۴]

مقطع $H582 \times 300 \times 12 \times 17$ برای تیر و مقطع $H400 \times 408 \times 21 \times 21$ برای ستون مطابق با تحقیق در نظر گرفته شده است (ضخامت بال \times ضخامت جان \times پهنای بال \times ارتفاع جان). شرایط مرزی به گونه ای انتخاب شده است که قسمت تحتانی و فوقانی ستون به صورت مفصلی عمل نماید. به منظور جلوگیری از کمانش پیچشی - جانبی تیر، تعدادی از گره های انتهایی تیر در جهت جانبی مقید گردیده اند. بارگذاری بر اساس کنترل تغییر مکانی در جهت قائم به انتهای تیر اعمال گردیده است. مقادیر بارگذاری اعمال شده به انتهای تیر به صورت تغییر مکان و بر اساس پروتکل بارگذاری آیین نامه FEMA-350 [34] بخش مربوط به قاب های خمشی می باشد (شکل ۲).



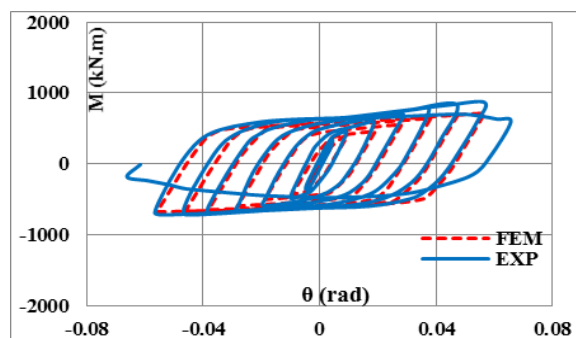
شکل ۲: پروتکل بارگذاری FEMA-350 [28]

رفتار فولادهای مورد استفاده در مدلسازی به صورت دوخطی و ایزوتروپیک در نظر گرفته شده است. همچنین به منظور انجام تحلیل غیرخطی اتصال تیر به ستون، آثار غیرخطی هندسی و ویژگی های پلاستیسیته فولاد برای هر یک از المانها تعریف گردیده است. رفتار پلاستیسیته فولاد بر اساس معیار تنش فون مایسز در نظر گرفته شده است. مشخصات مکانیکی فولاد استفاده شده در مدلسازی مطابق با جدول ۱ می باشد. وزن مخصوص فولاد برابر 7850 Kg/m^3 و مدول الاستیسیته برابر با 210 GPa و ضریب پواسون برابر 0.3 در نظر گرفته شده است. تمامی اتصالات مطرح شده در این مطالعه به اندازه تغییر مکان نسبی طبقه معادل با 0.06 رادیان، تحت بارگذاری قرار گرفته است و به محض رسیدن به این تغییر مکان تحلیل متوقف گردیده است. لازم به ذکر است که نرم افزار آباکوس همزمان اثر برش در ایجاد کمانش پلاستیک در نوارها را مورد بررسی قرار می دهد.

جدول ۱: مشخصات مکانیکی فولادهای استفاده شده در مدلسازی [۴]

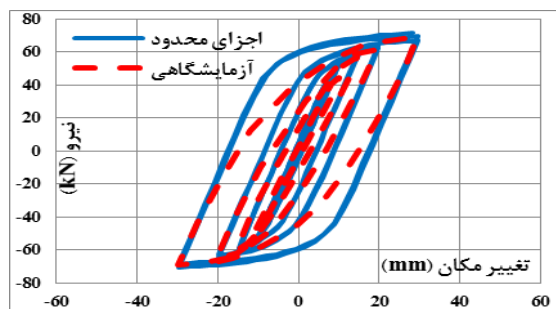
مقطع	تنش تسلیم (Mpa)	تنش نهایی (Mpa)	Elo.(%)
بال تیر	۳۱۸	۴۸۰	۳۰
جان تیر	۳۳۹	۴۸۸	۲۷
بال ستون	۳۷۸	۵۵۱	۲۴
جان ستون	۳۹۵	۵۵۴	۲۷
میراگر	۲۸۸	۴۶۴	۳۰
بال ورق‌های اتصال	۳۸۶	۵۷۳	۲۴
جان ورق‌های اتصال	۳۸۸	۵۷۷	۲۵

در شکل ۳ منحنی چرخه‌ای لنگر- دوران نمونه مدلسازی شده و نمونه آزمایشگاهی مقایسه شده است که نتایج حاصل از نرم افزار آباکوس با نتایج آزمایشگاهی، هماهنگی بسیار خوب داشته و خطای متوسط کمتر از ۵ درصد را نشان داده است.



شکل ۳: صحت سنجی مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی

همچنین برای صحت سنجی اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته RBS از مدل آزمایشگاهی Kulkarni و همکاران [۳۰] که به منظور مقایسه اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته و بدون سطح مقطع کاهش یافته انجام شده، استفاده گردیده است. اتصال نمونه آزمایشگاهی تیر با سطح مقطع کاهش یافته در نرم افزار اجزای محدود آباکوس مدلسازی شده و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفته است (شکل ۴). همچنین در شکل ۵ تصاویری از پیکربندی آزمایش و نمونه تیر با سطح مقطع کاهش یافته نمایش داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود نتایج آزمایشگاهی و عددی دارای مطابقت قابل قبولی می‌باشد. همچنین میزان خطا بین مدل عددی و آزمایشگاهی برابر ۷ درصد می‌باشد.



شکل ۴: مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی Kulkarni و همکاران [۲۴]



شکل ۵: تصاویری از بیکربندی مدل آزمایشگاهی اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته و مدلسازی نرم افزاری آن [۳۰]

۳- مقایسه اتصالات SSD و RBS

همانطور که در آیین نامه اتصالات از پیش تایید شده [35] AISC-358 مطرح شده است، اتصالاتی که قابلیت دوران تا 0.04 رادیان را بدون افت قابل ملاحظه لنگر ($0.8M_p$) دارا باشند، این امکان وجود دارد که از این اتصالات در قاب‌های خمشی ویژه استفاده کرد. اتصال SSD با مشخصات صحت سنجی شده توانایی رسیدن به سطح ($0.8M_p$) را ندارد به همین دلیل ابتدا به بررسی عوامل موثر در افزایش ظرفیت اتصال SSD می پردازیم. این پیشنهادات شامل افزایش ضخامت و تعداد نوارها و کاهش ارتفاع میراگر می باشند.

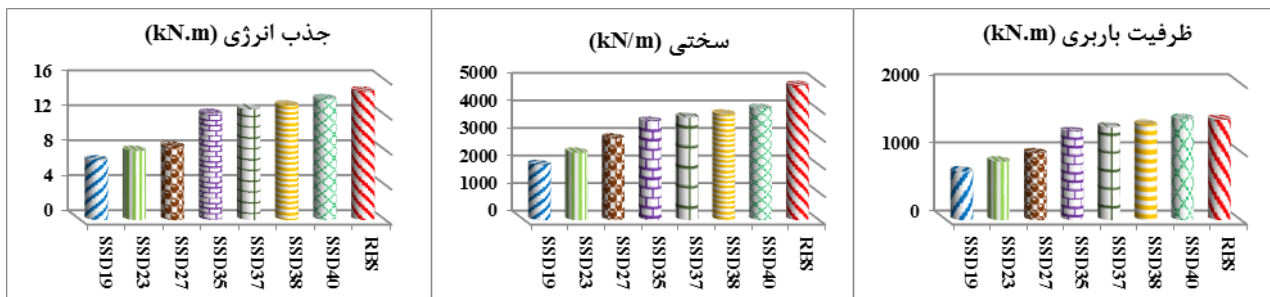
۳-۱- افزایش ضخامت میراگر شکافدار

با توجه به اینکه افزایش ضخامت میراگر شکافدار باعث افزایش سختی اتصال و در نتیجه بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصال میگردد، در این بخش به بررسی تاثیر افزایش ضخامت میراگر شکافدار بر روی رفتار اتصال پرداخته شده است. در جدول ۲ ضخامت‌های بررسی شده و نام مدل‌های مورد نظر آورده شده است.

جدول ۲: نام مدل‌ها و ضخامت‌های میراگر

ردیف	نام مدل	ضخامت میراگر (mm)
۱	SSD19	۱۹
۲	SSD23	۲۳
۳	SSD27	۲۷
۴	SSD35	۳۵
۵	SSD37	۳۷
۶	SSD38	۳۸
۷	SSD40	۴۰

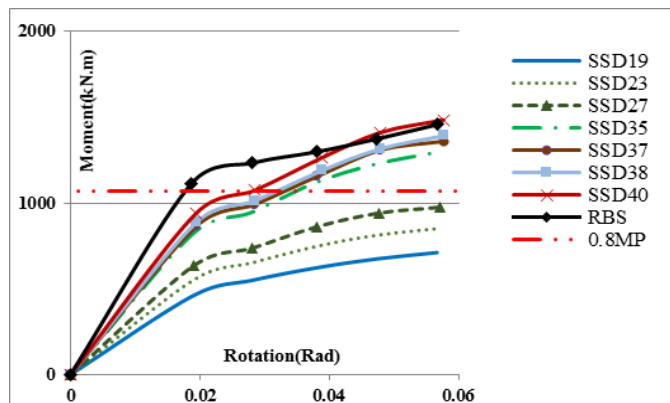
در شکل ۶ و جدول ۳ اتصالات از لحاظ جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری با اتصال RBS مورد مقایسه قرار گرفته است. همچنین در شکل ۷ نمودارهای پوش اتصالات فوق ترسیم گردیده است.



شکل ۶: مقایسه اتصالات از لحاظ جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری

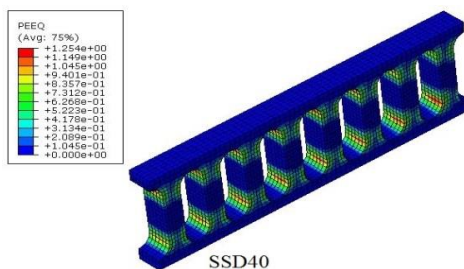
جدول ۳: مقایسه اتصالات از لحاظ جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری

ظرفیت باربری (درصد)	سختی (درصد)	جذب انرژی (درصد)	اتصال
			اتصال
افزایش ۰/۹۲	کاهش ۲۰/۷۷	کاهش ۶/۲۲	SSD40
			RBS
افزایش ۱۰۷/۵۴	افزایش ۱۰۲/۲۶	افزایش ۱۰۲/۶۳	SSD40
			SSD19



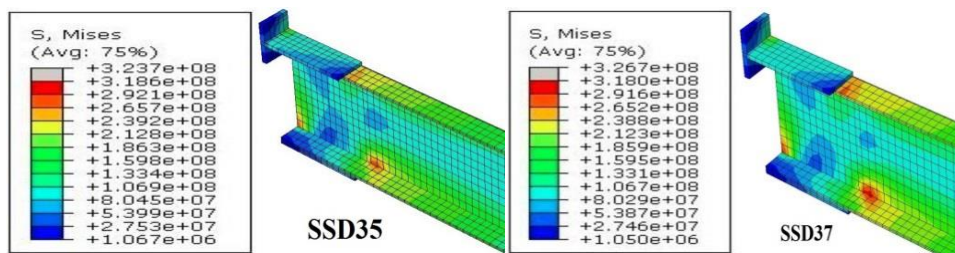
شکل ۷: نمودار پوش اتصالات

با توجه به شکل ۶ و جدول ۳ زمانی که ضخامت میراگر برابر ۴۰ میلیمتر در نظر گرفته شده، دو اتصال SSD و RBS از لحاظ جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری به یکدیگر نزدیک بوده است و همچنین مطابق با شکل ۷ زمانی که ضخامت میراگر از ۳۵ میلیمتر فراتر می‌رود این اتصال قابلیت استفاده در قاب‌های خمشی ویژه را پیدا می‌کند. در شکل ۸ کرنش پلاستیک معادل به عنوان نمونه در میراگر ضخامت ۴۰ میلیمتر نمایش داده شده است.



شکل ۸: کرنش پلاستیک معادل در میراگر با ضخامت ۴۰ میلیمتر

با توجه به نتایج بدست آمده در این قسمت، هر مقدار ضخامت میراگر افزایش پیدا کرده است، میزان تنش فون مایسز در آن کاهش و در نتیجه کرنش پلاستیک معادل نیز در آن کاهش یافته است. اما به دلیل آنکه این سختی بالا در میراگر موجب می‌گردد که تنش در تیر نیز افزایش پیدا کند و با توجه به اینکه در اتصالات همراه با میراگر شکافدار فرض بر آن است که تنش‌های بوجود آمده در تیر در حد الاستیک باقی بماند، در نتیجه این مقدار افزایش ضخامت باید محدود گردد. این موضوع در توزیع تنش فون مایسز مدل با ضخامت ۳۷ میلیمتر در شکل ۹ نمایش داده شده است. همچنین در این شکل توزیع تنش فون مایسز برای مدل با ضخامت ۳۵ میلیمتر نیز نشان داده شده است.



شکل ۹: توزیع تنش فون مایسز در مدل‌های SSD35 و SSD37

همانطور که از توزیع تنش فون مایسز در مدل SSD37 مشخص است، ضخامت بیش از حد میراگر موجب گردیده است که تنش در بال تیر از حد الاستیک فراتر رفته و قابلیت استفاده در اتصال SSD را نداشته باشد. این در حالی است که در مدل SSD35 این اتفاق رخ نداده است. در جدول ۴ مقایسه‌ای بین اتصال SSD35 با اتصال RBS انجام شده است.

جدول ۴: مقایسه اتصالات از لحاظ جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری

ظرفیت باربری (درصد)	سختی (درصد)	جذب انرژی (درصد)	اتصال
			اتصال
کاهش-۱۳/۳۷	کاهش-۳۸/۰۴	کاهش-۲۰/۸۲	SSD35
			RBS

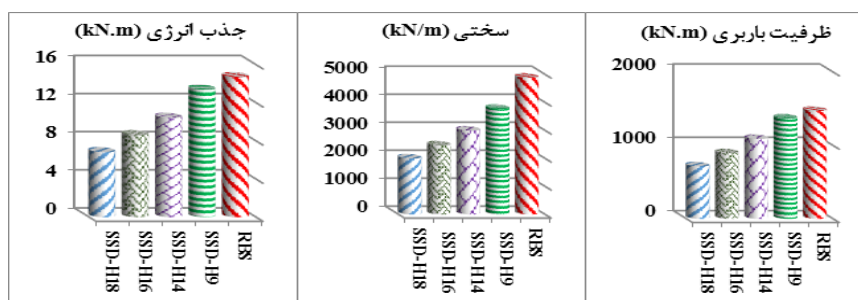
۳-۲- کاهش ارتفاع میراگر

با توجه به اینکه کاهش ارتفاع میراگر شکافدار باعث افزایش سختی اتصال و در نتیجه بهبود عملکرد لرزه‌ای آن می‌گردد، در این بخش به بررسی تاثیر کاهش ارتفاع میراگر بر روی رفتار اتصال پرداخته شده است. در جدول ۵ ارتفاع‌های بررسی شده و نام مدل‌های مورد نظر آورده شده است.

جدول ۵: نام مدل‌ها و ارتفاع‌های میراگر

ردیف	نام مدل	ارتفاع میراگر (mm)
۱	SSD-H9	۹۰
۲	SSD-H14	۱۴۰
۳	SSD-H16	۱۶۰
۴	SSD-H18	۱۸۰

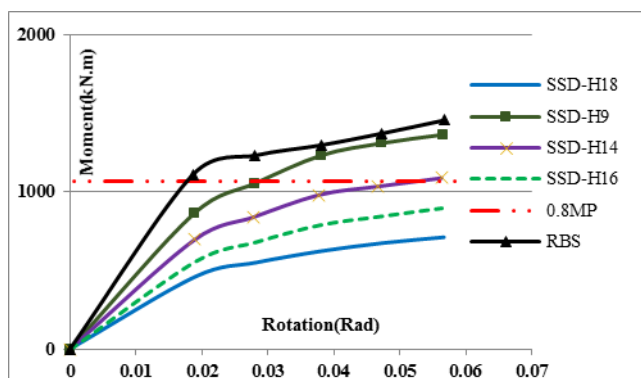
در شکل ۱۰ و جدول ۶ اتصالات از لحاظ جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری با اتصال RBS مورد مقایسه قرار گرفته است. همچنین در شکل ۱۱ نمودارهای پوش اتصالات فوق ترسیم گردیده است.



شکل ۱۰: مقایسه اتصالات از لحاظ جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری

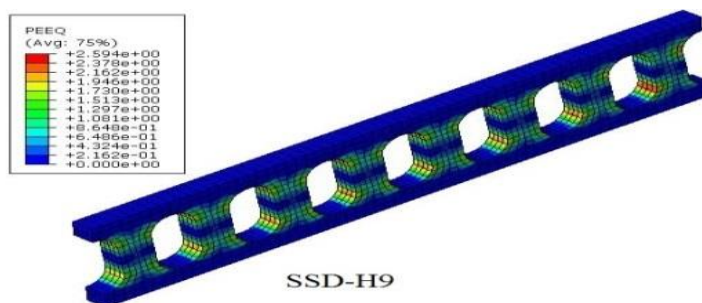
جدول ۶: مقایسه اتصالات از لحاظ جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری

ظرفیت باربری (درصد)	سختی (درصد)	جذب انرژی (درصد)	اتصال
			اتصال
کاهش-۷/۴۳	کاهش-۲۹/۵۲	کاهش-۹/۷۹	SSD-H9
			RBS
افزایش-۹۱/۴۱	افزایش-۸۸/۵۹	افزایش-۹۶/۰۴	SSD-H9
			SSD-H18



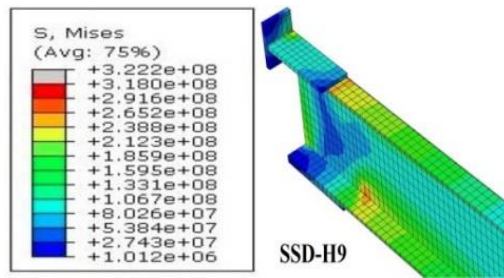
شکل ۱۱: نمودار پوش اتصالات

با توجه به شکل ۱۰ و جدول ۶ زمانی که ارتفاع میراگر برابر ۹ سانتیمتر در نظر گرفته شده است، دو اتصال SSD و RBS از لحاظ جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری به یکدیگر نزدیک بوده است و این اتصال قابلیت استفاده در قاب‌های خمشی ویژه را پیدا می‌کند. در شکل ۱۲ کرنش پلاستیک معادل به عنوان نمونه در میراگر با ارتفاع ۹ سانتیمتر نمایش داده شده است.



شکل ۱۲: کرنش پلاستیک معادل در میراگر با ضخامت ۹ سانتیمتر

با توجه به شکل ۱۲ هر مقدار ارتفاع میراگر بیشتر شده، طول کمتری از نوار دچار تنش‌های فرا الاستیک شده است. همچنین مشاهده گردید که با کاهش ارتفاع میراگر، ظرفیت اتصال بهبود پیدا کرده و شرایط بکارگیری در قاب‌های خمشی ویژه را بدست آورده است. باید به این نکته توجه شود که کاهش ارتفاع میراگر باعث افزایش سختی اتصال شده است، اما به دلیل آنکه این سختی بالا در میراگر موجب می‌گردد که تنش در تیر نیز افزایش پیدا کند و با توجه به اینکه در اتصالات همراه با میراگر شکافدار فرض بر آن است که تنش‌های بوجود آمده در تیر در حد الاستیک باقی بماند، در نتیجه این مقدار کاهش ارتفاع باید محدود گردد. با توجه به شکل ۱۳ در مدل SSD-H9 تنش‌ها در تیر در محدوده الاستیک باقی مانده است و آن را می‌توان به عنوان ارتفاع بهینه در نظر گرفت.



شکل ۱۳: توزیع تنش فون مایسز SSD-H9

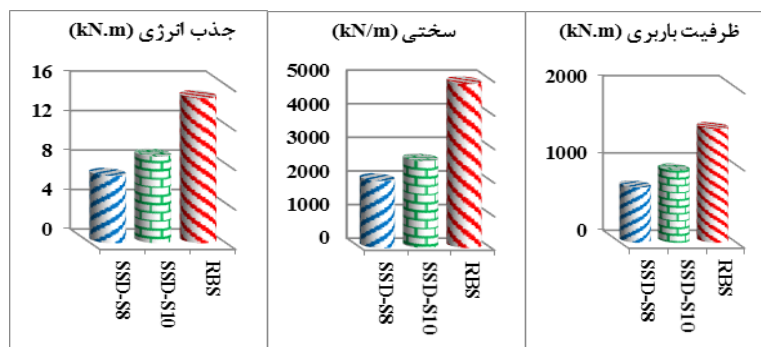
۳-۳- افزایش تعداد نوار در میراگر شکافدار

با توجه به اینکه افزایش تعداد نوارها در میراگر شکافدار باعث افزایش جذب انرژی در میراگر میگردد در نتیجه موجب بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصال می شود، در این بخش به بررسی تاثیر افزایش تعداد نوار در میراگر بر روی رفتار اتصال پرداخته شده و در نهایت مقایسه ای بین آن و اتصال RBS انجام گردیده است. در جدول ۷ تعداد نوارهای بررسی شده و نام مدل های مورد نظر آورده شده است.

جدول ۷: نام مدل‌ها و تعداد نوارها در میراگر

ردیف	نام مدل	تعداد نوار در میراگر
۱	SSD-S8	۸
۲	SSD-S10	۱۰

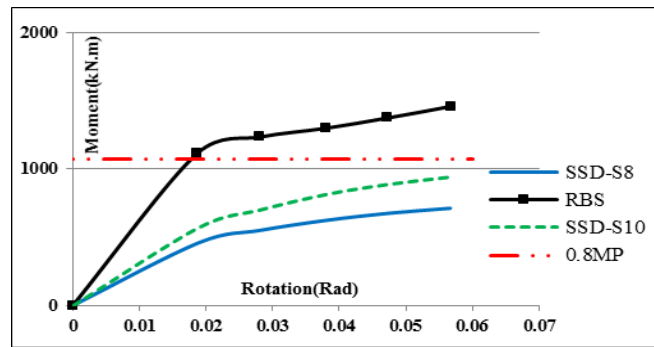
در شکل ۱۴ و جدول ۸ اتصالات از لحاظ جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری با اتصال RBS مورد مقایسه قرار گرفته است. همچنین در شکل ۱۵ نمودارهای پوش اتصالات فوق ترسیم گردیده است.



شکل ۱۴: مقایسه اتصالات از لحاظ جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری

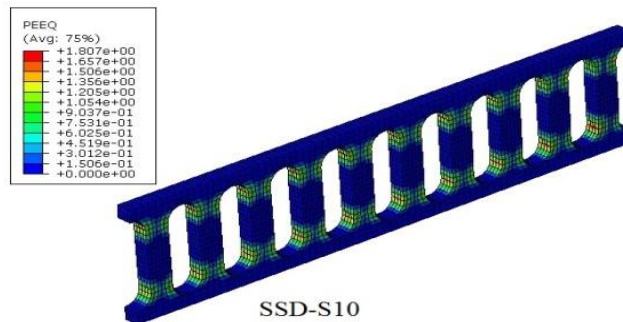
جدول ۸: مقایسه اتصالات از لحاظ جذب انرژی، سختی و ظرفیت باربری

اتصال	جذب انرژی (درصد)	سختی (درصد)	ظرفیت باربری (درصد)
SSD-S10	کاهش-۶۷/۳۸	کاهش-۸۸/۷۵	کاهش-۵۷/۶۱
RBS			
SSD-S10	افزایش-۲۸/۵۹	افزایش-۲۹/۴۱	افزایش-۳۰/۴۷
SSD-S8			



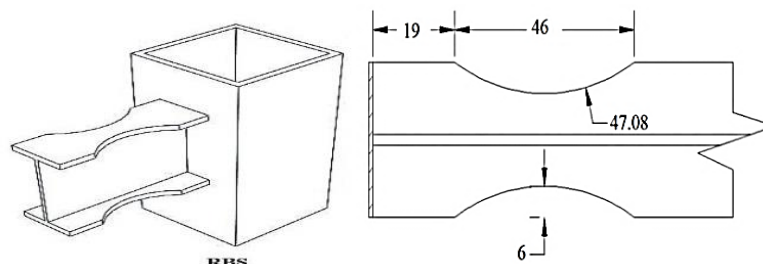
شکل ۱۵: نمودار پوش اتصالات

با توجه به شکل ۱۵ و جدول ۸ زمانی که تعداد نوارهای میراگر افزایش پیدا کرده، عملکرد اتصال تا حد کمی بهبود یافته، اما این مقدار به حدی که ضوابط مربوط به قاب‌های خمشی ویژه را برآورده سازد، نرسیده است. همچنین افزایش تعداد نوارهای میراگر نتوانسته است تا حد معقولی ظرفیت اتصال را به ظرفیت اتصال RBS نزدیک سازد. در نتیجه این پیشنهاد نمی‌تواند به تنهایی برای بهبود عملکرد اتصال مطرح گردد. در شکل ۱۶ کرنش پلاستیک معادل در مدل SSD-S10 نمایش داده شده است.



شکل ۱۶: کرنش پلاستیک معادل در میراگرها با تعداد نوار ۱۰

با توجه به توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصالات مطرح شده در این بخش تعداد افزایش نوارها در میراگر باعث کاهش کرنش پلاستیک شده است که این موضوع در شکل ۱۶ مشهود است. در نتیجه به وضوح مشاهده میشود اتصال SSD را بصورتی میتوان مدلسازی کرد که نه تنها به قابلیت‌های اتصال RBS دست پیدا کند و بلکه از آن فراتر برود. افزایش ضخامت پره‌ها، کاهش ارتفاع آنها و همچنین افزایش تعداد پره‌ها بشدت نتایج اتصال با میراگر SSD را بهبود میبخشد. به همین منظور دو میراگر SSD پیشنهادی SSD40 (با ضخامت ۴۰ میلیمتر) و SSD-H9 (با ارتفاع پره ۹ سانتیمتر) با اتصال تیر که با سطح مقطع کاهش یافته مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۳۶] طراحی شده است، مقایسه میگردد. جزئیات اتصال RBS در شکل (۱۷) نمایش داده شده است.



شکل ۱۷: جزئیات اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه ابتدا روش های افزایش ظرفیت باربری در اتصال SSD مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مقاله را می توان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱- افزایش ضخامت و کاهش ارتفاع میراگر تاثیر بسزایی در عملکرد اتصال داشته است، اما بدلیل آنکه افزایش ضخامت، از یک حدی بیشتر موجب ایجاد تنش های فرالاستیک در بال تیر شده است، این میزان باید به یک مقدار خاصی محدود گردد.

۲- افزایش تعداد نوارها در میراگر تاثیر بسزایی در عملکرد اتصال نداشته است و نمی تواند به تنهایی شرایط اتصال برای استفاده در قاب های خمشی ویژه را برآورده سازد.

۳- مقایسه صورت گرفته بین دو اتصال SSD توصیه شده در این مقاله و RBS نشان داد که این اتصالات تفاوت زیادی از لحاظ عملکردی با یکدیگر نداشته اند و اتصال SSD توانسته است ضوابط مربوط به اتصالات در قاب های خمشی ویژه را برآورده سازد و تا حدی نیز رفتار بهتری از خود نشان دهد. با این تفاوت که قابلیت تعویض و نگهداری بسیار بیشتری از اتصال تیر با سطح مقطع کاهش یافته (RBS) دارد.

مراجع

- [1] Wada, A., Huang, Y.H., Yamada, T., Ono, Y., Sugiyama, S., Baba, M. and Miyabara, T. (1997). Actual Size & Real Time Speed Tests for Hysteretic Steel Damper. In: *Proceedings of Stessa*, Vol. (97), pp. 778-785.
- [2] Lee, M.-H., Oh, S.-H., Huh, C., Oh, Y.-S., Yoon, M.-H., Moon, T.-S. (2002). Ultimate Energy Absorption Capacity of Steel Plate Slit Dampers Subjected to Shear Force. *Steel Structures*, Vol. (2), pp. 71-79.
- [3] Chan, R. and Albermani, F. (2008). Experimental Study of Steel Slit Damper for Passive Energy Dissipation. *Engineering Structures*, Vol. (30), pp. 1058-1066.
- [4] Oh, S.-H., Kim, Y.-J. and Ryu, H.-S. (2008). Seismic Performance of Steel Structures with Slit Dampers. *Engineering Structures*, Vol. (31), pp. 1997-2008.
- [5] Ghabraie, K., Chan, R., Huang, X. and Xie, Y.M. (2010). Shape Optimization of Metallic Yielding Devices for Passive Mitigation of Seismic Energy. *Engineering Structures*, Vol. (32), pp. 2258-2267.
- [6] Khosnodian, F. and Kiani, M. (2010). Evaluation of SSD Connections in Special Steel Moment Frame. *First National Conference on Structural-Earthquake-Geotechnics*, Mazandaran, Babolsar.
- [7] Karavasilis, T.L., Krawala, S. and Hale, E. (2012). Hysteretic Model for Steel Energy Dissipation Devices & Evaluation of a Minimal-Damage Seismic Design Approach for Steel Buildings. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. (70), pp. 358-367.
- [8] Tohidi Moghadam, V. and Saeed Monir, H. (2012). Evaluation of CSSD Connections under Seismic Loading. *Second National Conference on Crisis Management*, Tehran, Iran.
- [9] Tohidi Moghadam, V. and Saeed Monir, H. (2012). Usage of CSSD in Steel Moment Frame. *Third National Conference on Earthquake and Structures*, Kerman, Iran.
- [10] Zahraei, S. M. and Amin dehghan, A. (2012). Evaluation of New metal damper for Improving Seismic Behavior of Concentrated brace. *Second National Conference on Crisis Management*, Tehran, Iran.
- [11] Zahraei, S. M. and Amin dehghan, A. (2012). Evaluation of Ductility and Absorb Energy of New Damper for Usage in Steel Braced Frame. *Second National Conference on Crisis Management*, Tehran, Iran.
- [12] Koken, A. and Koroglu, M.A. (2012). Waste Rubber Damper Using on Steel Beam to Column Connection. *International Journal of Arts & Sciences*, Vol. (5), pp. 217-222.
- [13] Moshtagh, A., Sheydaei, M.R. and Tohidi Moghadam, V. (2012). Usage of CSSD on the failure behavior of spatial double-layer Smooth and evaluation of progressive failure in them. *Third National Conference on Earthquake and Structures*, Kerman, Iran.
- [14] Moshtagh, A., Tohidi Moghadam, V. and Saeed Monir, H. (2012). Study of progressive fracture on reinforced frames with duct slit damper. *The 2nd National Conference on Earthquake-Geotechnic and Structures*, Mazandaran.
- [15] Saffari, H., Hedayat, A.A. and Poorsadeghi Nejad, M. (2013). Post-Northridge Connections With Slit Dampers to Enhance Strength & Ductility. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. (80), pp. 138-152.

- [16] Koken, A. and Koroglu, M.A. (2015). Experimental Study on Beam-to-Column Connections of Steel Frame Structures with Steel Slit Dampers. *American Society of Civil Engineers*, Vol. (29), pp. 1-11.
- [17] Hedayat, A.A. (2015). Prediction of the Force Displacement Capacity Boundary of an Unbuckled Steel Slit Damper. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. (114), pp. 30-50.
- [18] Farahi Shahri, S. and Mosavi, S.R. (2016). Development of slit dampers at the junction to the column by creating oval gaps. *Modares Civil Engineering Journal*, Vol. (16), pp. 93-104.
- [19] Tagawa, H., Yamanishi, T., Takaki, A. and Chan, R. (2016). Cyclic Behavior of Seesaw Energy Dissipation System with Steel Slit Dampers. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. (117), pp. 24-34.
- [20] Hwan Lee, Ch., Kim, J., Hyun Kim, D., Ryu, J., K. and Ju, Y. (2016). Numerical & Experimental Analysis of Combined Behavior of Shear-type Friction Damper & Non-uniform Strip Damper for Multi-level Seismic Protection. *Engineering Structures*, Vol. (114), pp. 75-92.
- [21] Zabihi-Samani M and Amini F. (2015) A cuckoo search controller for seismic control of a benchmark tall building, *Journal of Vibroengineering*, Vol. 17(3), pp. 1382-1400.
- [22] Mirghaderi, S.R., Torabian, Sh. and Imanpour, A. (2010). Seismic Performance of the Accordion-Web RBS Connection. *J Constr Steel Res*, Vol. (66), pp. 277-288.
- [23] Aghajanian S, Baghi H, Amini and Zabihi-Samani Masoud. (2014). Optimal control of steel structures by improved particle swarm, *International Journal of Steel Structure*, , Vol. (14), pp. 223-30.
- [25] Saleh, A., Mirghaderi, S.R. and Zahrai, S.M. (2016). Cyclic Testing of Tubular Web RBS Connections in Deep Beam. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. (117), pp. 2214-226.
- [26] Amini F, Zabihi-Samani M. (2014). A wavelet-based adaptive pole assignment method for structural control, *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. (29(6)), pp. 464-77.
- [27] Moon, K.H., Kim, B.Ch., Hwang, S.H. and Han, S.W. (2016). Seismic Performance Evaluation of the Steel Moment Frames with Reduced Beam Section Connections with Bolted Web. *The 5th International Symposium on Steel Structures*, Seoul, Korea.
- [28] Ghanooni-Bagha M, Shayanfar MA, Reza-Zadeh O, Zabihi-Samani M. (2017). The effect of materials on the reliability of reinforced concrete beams in normal and intense corrosions. *Eksplatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. Vol. (19(3)), pp. 393-402.
- [29] Chih Chen, Ch. and Chou Lin, Ch. (2013). Seismic Performance of Steel Beam-to-Column Moment Connections with Tapered Beam Flanges. *J Struct Eng*, Vol. (48), pp. 588-601.
- [30] Kulkani, S.A. and Vesmawala, G. (2014). Study of Steel Moment Connection with & Without Reduced Beam Section. *Case Studies in Structural Engineering*, Vol. (1), pp. 26-31.
- [31] Zabihi-Samani Masoud and Ghanooni-Bagha Mohammad. (2017). A fuzzy logic controller for optimal structural control using MR dampers and particle swarm optimization. *Journal of Vibroengineering*, Vol. (19(3)), pp. 1901-1914.
- [32] Saleh, A., Zahrai, S.M. and Mirghaderi, S.R. (2016) Experimental Study on Innovative Tubular Web RBS Connections in Steel MRFs With Typical Shallow Beams. *Structural Engineering & Mechanics*, Vol. (57), pp. 785-808.
- [33] ABAQUS (2010). Version 9.10, Dassault Systemes, USA.
- [34] FEMA 350 (2000). *Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings*. SAC Joint Venture.
- [35] AISC 358 (2016). *Prequalified Connections for Special & Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. Chicago.
- [36] Code 10 (2012). *Design and Construction Provisions for Structural Steel Buildings*. Tehran: Toseh Iran.