

Effect of Infill Plate and Lateral Bracing on Cyclic Behavior of Eccentrically Braced Frames with Double Vertical Link

Ali Golafshar^{1*}, Mohammad Hossein Saghafi¹, Ramin Shakibaei²

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

2- M.Sc. in Earthquake Engineering, Dep. of Civil Eng, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

ABSTRACT

Due to occurrence of plastic deformations in horizontal link beam in Eccentrically Braced Frames (EBF), Performance of structure after Earthquake is disrupted and replacement of horizontal link beam is time consuming and need to cost. Using vertical link beam is one of the solutions to expedite structural performance after earthquake. Double vertical links are one of the new methods in EBFs that have been considered by the researchers. The aim of this paper is assessment of EBFs with longer links with flexural-shear interaction and flexural response and improvement of behavior with adding infill plate between two vertical link beams. For this reasons, after verification of modeling using finite element software, 6 specimens have been modeled in software with different specifications like vertical link beam length, infill plate and yield stress of infill plates. Initial assessments of models are carried out using nonlinear static analysis to more insight of response and changes in behavior. Thickness of infill plate is selected based in occurrence of plastic deformations in vertical link beams and avoid brace buckling during static nonlinear analysis. After nonlinear static analysis, cyclic loading is applied to 6 model based on AISC loading protocol. From cyclic loading of structures some crucial curve and parameters is extracted in different drift ratio like cyclic force, push curve, dissipated energy, secant stiffness, equivalent damping ratio. The results show in the frames with flexural-shear interaction response of link beams and infill plate, stable force displacement is observed under cyclic loading until drift ratio between 0.05 and 0.06 and for frames with flexural response of link beams and infill plate, stable force displacement is observed under cyclic loading until drift ratio between 0.06 and 0.07.

ARTICLE INFO

Receive Date: 11 October 2019

Revise Date: 12 March 2020

Accept Date: 27 March 2020

Keywords:

EBF System

Double Vertical Link

Infill Plate

Cyclic Analysis

Equivalent Hysteresis

Damping

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.204793.1969>

*Corresponding author: Ali Golafshar

Email address: a.golafshar@semnaniau.ac.ir

اثر ورق میانی پرکننده و مهار جانبی در رفتار سیکلی قابهای مهاربندی واگرا با تیر پیوند قائم جفت

علی گل افشار^{۱*}، محمد حسین ثقفی^۱، رامین شکیبایی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی زلزله، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

چکیده

با توجه به وقوع تغییر شکل‌های پلاستیک و دوران تیر پیوند افقی در سیستم مهاربندی واگرا، عملکرد سازه پس از زلزله دچار اختلال شده و تعویض تیر پیوند نیز با صرف زمان و هزینه همراه خواهد بود. به همین دلیل استفاده از تیرهای پیوند قائم مد نظر پژوهشگران قرار گرفته است. این سیستم در هنگام وجود تیر پیوند با عملکرد برشی دارای مقاومت و شکل پذیری و ظرفیت استهلاک انرژی بالاتری نسبت به تیر پیوند خمشی و خمشی-برشی می‌باشد. هدف این مقاله ارتقای رفتار سیستم مهاربندی واگرا با تیر پیوند قائم جفت دارای عملکرد خمشی و خمشی-برشی می‌باشد. به همین منظور با استفاده از مدلسازی عددی، پس از صحت سنجی، دو قاب کنترلی بدون ورق و چهار قاب دارای ورق میانی در محل بین تیرهای پیوند قائم با استفاده از تحلیل‌های استاتیکی غیر خطی فزاینده و سیکلی مورد ارزیابی واقع شده‌اند. بر اساس نتایج منحنی سیکلی، مشخصات رفتاری قاب‌ها مانند منحنی پوش، انرژی مستهلک شده، کاهش سختی و میرایی هیستریزیس معادل برای تمام قاب‌ها در نسبت دریافت‌های متفاوت مورد بررسی واقع شده است. نتایج نشان می‌دهد اضافه نمودن ورق میانی می‌تواند جذب انرژی، سختی، مقاومت نهایی قاب و میرایی را به طور قابل توجهی افزایش دهد. در هنگام استفاده از ورق میانی، بر حسب جنس ورق و عملکرد تیر پیوند، قاب‌ها تا نسبت دریافت در محدوده ۰/۰۵ تا ۰/۰۷ بدون کاهش مقاومت در بارگذاری سیکلی پیش می‌روند و در دریافت‌های مذکور به دلیل کمانش خارج از صفحه محل اتصال تیر پیوند قائم به مهاربند دچار افت مقاومت می‌گردند. در انتها نیز با در نظر گیری مهار جانبی در محل اتصال تیر پیوند و مهاربند، تحلیل سیکلی انجام شده و اثر مهار جانبی در منحنی رفتار سیکلی ارائه شده است.

کلمات کلیدی: سیستم مهاربندی واگرا، تیر پیوند قائم جفت، ورق میانی، تحلیل سیکلی، میرایی هیستریزیس معادل

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.204793.1969	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2020.204793.1969	۱۴۰۰/۰۳/۳۰	۱۳۹۹/۰۱/۰۸	۱۳۹۹/۰۱/۰۸	۱۳۹۸/۱۲/۲۲	۱۳۹۸/۰۷/۱۹
*نویسنده مسئول: علی گل افشار a.golafshar@semnaniau.ac.ir					پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

هدف از ارائه سیستم مهاربندی واگرا ارائه سیستم مقاومی است که بتواند به طور اقتصادی معیار سختی و شکل پذیری را در طراحی لرزه ای سازه‌ها ارضا کند. در زمینه بهبود این سیستم و بهینه کردن آن، تحقیقات متنوعی توسط پژوهشگران انجام شده است. زهرایی و ماهرزاده در سال ۲۰۱۰ کاربرد تیر پیوند قائم در بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی ۵ نمونه قاب با تیر پیوند عمودی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که میرایی هیستریزس معادل قابها بین ۲۶/۷ تا ۳۰/۶ درصد متغیر بوده و ضریب رفتار آنها ۷/۱۵ تا ۱۰/۶۵ بدست آمده است [۱]. در سال ۲۰۱۳ زهرایی پارامترهای تاثیر گذار در رفتار سیکلی را در قابهای دارای پیوند قائم مورد بررسی قرار داد نتایج تحقیق نشان داد که منحنی‌های هیستریزس پایدار و بدون افت قابل ملاحظه می‌باشند و خرابی‌ها در تیر پیوند قائم متمرکز شده‌اند. همچنین میرایی هیستریزس معادل تا میزان ۳۰٪ و زاویه چرخش پلاستیک تا حدود ۰/۱۵ رادیان گزارش شده است [۲]. در سال ۲۰۱۴ یجیتسو و همکاران به بررسی عددی پایداری سیستم مهاربندی واگرای فاقد شرایط طراحی بر اساس ظرفیت از طریق رفتار سیکلی پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشان داده است که ضریب اضافه مقاومت تیر پیوند به طول آن بستگی داشته و مستقیماً بر روی طراحی ظرفیت برای تیر خارج پیوند تاثیر گذار است. بر این اساس، مشکلات ناپایداری تیر خارج پیوند هنگامیکه تیرهای پیوند دارای عملکرد خمشی می‌باشند، بیشتر بوده و منجر به ضریب اضافه مقاومت کمتری نسبت به تیرهای پیوند برشی میگردند [۳]. وانگ و همکاران به ارزیابی آزمایشگاهی قابهای مهاربندی واگرای Y شکل با فولاد پر مقاومت پرداختند که نتایج مطالعه آنها بیانگر رفتار پلاستیک مناسب و بدون باریک شدن منحنی هیستریزس بوده است. حداکثر نسبت دریافت قابل تحمل و شکل پذیری بدست آمده برابر ۰/۲۵ و ۲/۵ گزارش شده است [۴]. بوسکو و همکاران تاثیر نمونه سازی تیر پیوند فولادی در رفتار قابهای مهاربندی واگرا را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نمونه پیشنهادی آنها بر مبنای تیر اولر-برنولی می باشد که دارای مفصل پلاستیک خمشی بصورت متمرکز و فنرهای انتهایی در تیر پیوند جهت شبیه سازی رفتار خمشی و برشی تیر پیوند می باشد. صحت نمونه ارائه شده از طریق مقایسه با نتایج آزمایشگاهی و محدوده کاربرد آن از طریق مطالعات پارامتریک مورد ارزیابی واقع شده است [۵]. باوکمپ و همکاران نمونه تحلیل را برای پاسخ سیکلی سیستمهای مهاربندی واگرا با پیوند قائم جفت با استفاده از نتایج مطالعه آزمایشگاهی ارائه نمودند. نتایج آنها حاکی از این مطلب است که مقاومت نهایی برشی تیر پیوند قائم بیش از دو برابر مقاومت تسلیم آن بوده و اعمال ضوابط سخت شدگی ایزوتروپیک و سینماتیک برای تلاش برش و سینماتیک برای تلاش خمشی نتایج مناسبی را برای سطح تسلیم تیر پیوند قائم نشان می دهد [۶]. ژو و همکاران به ارزیابی رفتار سیستم مهاربندی واگرا مجهز به مصالح آلیاژ حافظه دار شکلی و تاندونهای پس کشیده جهت کاهش تغییر شکلهای پسماند پرداخته‌اند. در این مطالعه روابط تحلیلی جهت بررسی رفتار سیکلی نمونه مذکور ارائه شده و با نتایج نمونه اجزای محدود مورد ارزیابی قرار گرفته است [۷]. لیان و همکاران عملکرد لرزه ای سیستم مهاربندی واگرای دارای فولاد پرمقاومت برای اعضا و فولاد معمولی برای تیر پیوند قائم را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. بررسی مطالعه آنها نشان می دهد قابهای یک طبقه و سه طبقه مورد آزمایش دارای سختی، شکل پذیری و جذب انرژی مناسبی می باشند [۸]. وتر و همکاران به ارزیابی رفتار غیر خطی سیستم مهاربندی واگرا با تیر پیوند قائم پرداخته‌اند. در مطالعه آنها با استفاده از بررسی‌های آزمایشگاهی و تحلیلی، روابطی جهت طراحی این سیستم مقاوم جانبی ارائه شده است [۹]. با توجه به کمبود مطالعات در خصوص قاب‌های دارای تیرهای پیوند قائم جفت با عملکرد خمشی و خمشی-برشی هدف این مطالعه درک بهتر از رفتار این نوع قابها و همچنین ارزیابی استفاده از ورق پرکننده با تنش تسلیم متفاوت در فضای بین تیرهای پیوند قائم جفت می باشد. به همین منظور و در جهت ارزیابی مناسب رفتار جانبی قاب‌ها، خصوصیات مهم رفتاری مدل‌های مختلف تحت اثر بار سیکلی مانند مقاومت، انرژی، سختی و میرایی هیستریزس معادل مورد استخراج و مقایسه قرار گرفته‌اند.

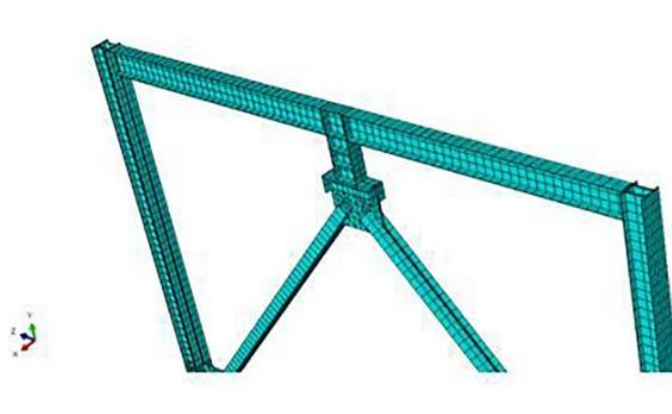
۲- صحت سنجی

برای صحت سنجی نمونه اجزای محدود، از آزمایشات انجام شده توسط زهرایی و همکاران [۱] استفاده شده است. نمونه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار ABAQUS [۱۰] شبیه سازی شده است. برای شبیه سازی رفتار فولاد از نمونه دوخطی با در نظر گرفتن سخت شونده‌گی کرنش استفاده شده است. این کار با تعریف نقطه تسلیم و نقطه نهایی در فضای تنش و کرنش مطابق مقادیر گزارش شده

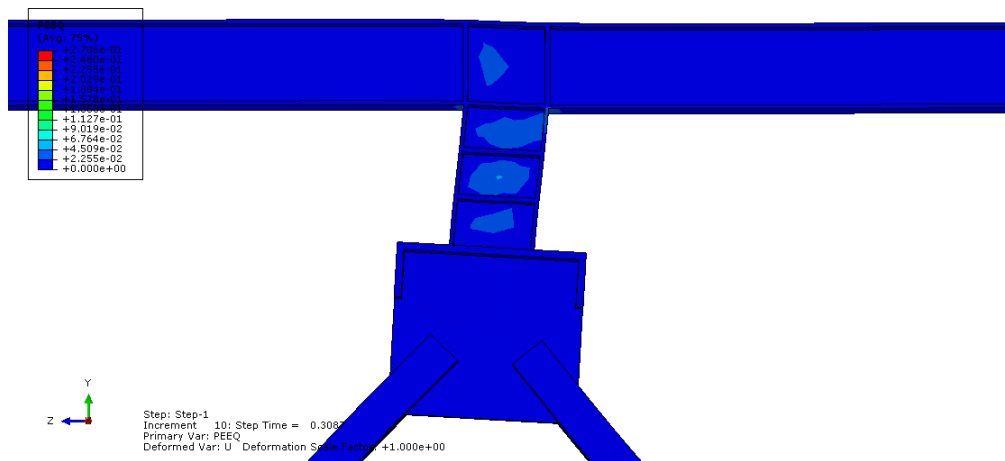
در تحقیق آزمایشگاهی فوق انجام شده است. به دلیل هندسه پیچیده نمونه، از المانهای هرمی ۴ گرهی برای مش بندی بخشهای نامنظم از دیدگاه هندسی استفاده شده است. این بخشها شامل محل اتصال مهاربند و تیر پیوند عمودی به صفحه اتصال، و محل رسیدن مهاربندها به صفحه اتصال به ستون است. در قسمتهایی که هندسه اعضا شکل منظمی دارد از المانهای مکعبی ۸ گرهی برای مش بندی استفاده شده است. اتصالات تیر به ستون به صورت مفصلی شبیه سازی شده است. تکیه گاه ستونها نیز به صورت مفصلی و با بستن درجات آزادی انتقالی در خط میانی صفحه ستون تعریف شده است. در انجام مدلسازی، از شبیه سازی جوشها صرف نظر شده و تمام اعضا به هم یکپارچه شده اند تا اثر جوشها در اعضا در نظر گرفته شود. بارگذاری به صورت کنترل تغییر مکان به مدل وارد شده است. نمونه عددی و نمونه آزمایشگاهی در شکل ۱-الف و ب و میزان کرنش پلاستیک معادل در ناحیه تیر پیوند در مدل عددی در شکل ۱-ج نشان داده شده است.



(ب)



(الف)

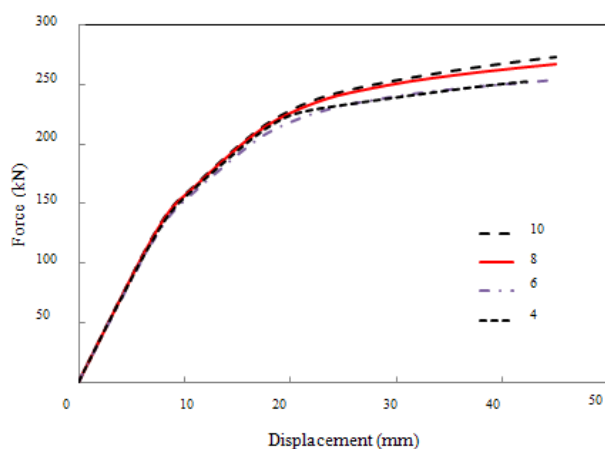


(ج)

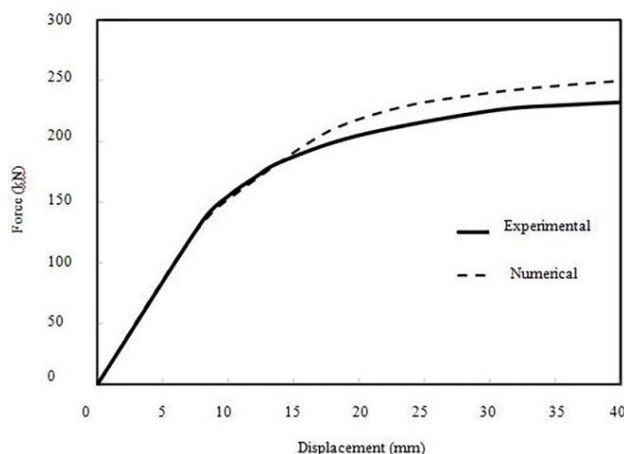
شکل ۱: (الف) نمونه مدلسازی عددی (ب) نمونه آزمایشگاهی [۱] (ج) کرنش پلاستیک معادل در تیر پیوند مدل عددی

مقایسه منحنی نیرو-تغییر مکان جانبی از مدلسازی عددی و مطالعه آزمایشگاهی در شکل ۲ نشان داده شده است. جهت ارزیابی حساسیت نتایج به مش بندی صورت گرفته، منحنی نیرو تغییر مکان مدل عددی برای اندازه مش های ۱۰، ۸، ۶ و ۴ سانتیمتر در شکل ۲-الف نشان داده شده است. مقایسه نتایج نهایی منحنی نیرو تغییر مکان نیز در شکل ۲-ب نشان داده شده است. همانطور که مشاهده

می‌شود با تغییر اندازه مش‌ها از ۱۰ به ۸ و از ۸ به ۶ سانتی متر منحنی پاسخ قدری پایین تر خواهد آمد. با انتقال از مش ۶ به ۴ سانتی متری، تغییر پاسخ ناچیز و قابل اغماض است. بنابراین اندازه مش ۶ سانتی متری به عنوان اندازه بهینه مش مورد استفاده قرار خواهد گرفت.



(الف)



(ب)

شکل ۲: مقایسه منحنی نیرو-تغییر مکان جانبی از مدلسازی عددی و مطالعه آزمایشگاهی

همانطور که در شکل ۲-ب مشاهده می‌شود، دو منحنی در قسمت الاستیک (سختی اولیه) کاملاً بر هم منطبق هستند. در قسمت پلاستیک نیز اختلاف مقاومت نهایی در حدود ۸٪ است که نشان‌دهنده دقت مناسب مدلسازی نمونه عددی می‌باشد

۳- معرفی قاب های مورد مطالعه

ارتفاع و طول دهانه قاب های یک طبقه مورد مطالعه مشابه مطالعات زهرایی و همکاران [۲] انتخاب شده است. مقطع تیر پیوند قائم نیز مطابق با نمونه زهرایی و همکاران برابر IPE140 انتخاب شده و مقاطع سایر اعضا بر اساس اصول طراحی ظرفیت توری تعیین شده اند که رفتار غیر خطی در تیر های پیوند متمرکز شود. بر همین اساس، مشخصات مقاطع قاب در جدول ۱ نشان داده شده است. ارتفاع تیرهای پیوند قائم بر اساس روابط طراحی توری در نظر گرفته شده است که با توجه به مقطع آنها و تنش تسلیم مصالح در نمونه SP1 رفتار اندرکنش خمش و برش حاکم بوده و در نمونه SP2 رفتار خمشی حاکم باشد. بر همین اساس طول تیر پیوند قائم در نمونه SP1 برابر ۵۰۰ میلی متر و طول تیر پیوند قائم در نمونه SP2 برابر ۷۵۰ میلی متر انتخاب گردیده است. ارتفاع ورق میانی در نمونه های SP3 و SP4 بر اساس ارتفاع تیرهای پیوند قائم در نمونه SP1 تعیین شده و برابر ۵۰۰ میلی متر و ارتفاع ورق میانی در نمونه های SP5 و SP6 بر اساس

ارتفاع تیرهای پیوند قائم در نمونه SP2 تعیین شده و برابر ۷۵۰ میلی متر است. برای کاهش چرخش در تیر افقی سقف و کاهش خسارت ناشی از آن در تراز سقف، فاصله تیرهای پیوند قائم از یکدیگر ۱ متر در نظر گرفته شده است. عرض ورق میانی نیز بر اساس فاصله تیرهای پیوند قائم برابر یک متر تعیین شده است. مصالح فولاد با استفاده از مدل رفتاری دوخطی در فضای تنش-کرنش در نظر گرفته شده و همچنین اثر سخت شوندگی کرنش نیز لحاظ شده است.

جدول ۱: مشخصات مقاطع مورد استفاده در قاب های مورد مطالعه

تیر پیوند قائم	مهاربند	تیر	ستون
IPE140	2UNP100	IPE180	IPB120

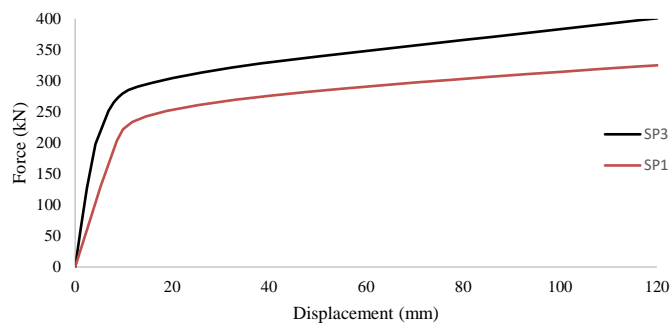
نمونه های مورد مطالعه در تحلیلها نیز در جدول ۲ معرفی شده اند. در نمونه های دارای ورق میانی، تعیین ضخامت ورق میانی با فلسفه حفظ رفتار غیر خطی در تیرهای پیوند و ورق میانی و جلوگیری از رفتار غیر خطی در سایر قسمتها و عدم کمزش در مهاربندها تعیین شده است که این مقدار در نمونه های مورد مطالعه برابر با ۱ میلیمتر تعیین شده است. نمونه های شماره ۱ و ۲ نمونه های بدون ورق میانی و نمونه های ۳ و ۴ همان نمونه ۱ با اضافه نمودن ورق میانی می باشند. همچنین نمونه های ۵ و ۶ همان نمونه ۲ با اضافه نمودن ورق میانی می باشند. تنش تسلیم اعضای قاب برابر با ۳۶۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بوده و تنش تسلیم ورق میانی در دو حالت برابر با ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته شده است.

جدول ۲: مشخصات و نامگذاری نمونه های مورد مطالعه

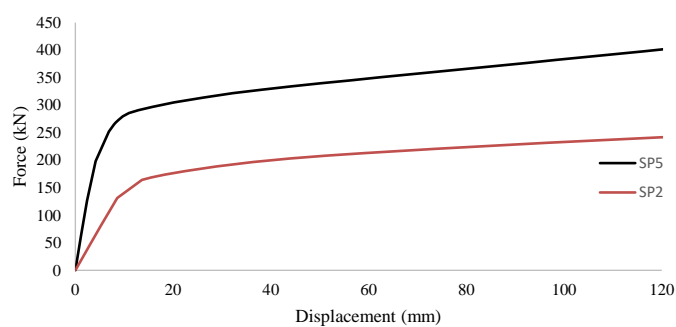
نام نمونه	ضخامت ورق پرکننده (mm)	تنش تسلیم ورق پرکننده (kg/cm ²)	طول تیر پیوند قائم (mm)
SP1	-	-	500
SP2	-	-	750
SP3	1	2400	500
SP4	1	1200	500
SP5	1	2400	750
SP6	1	1200	750

۴- بررسی رفتار نمونه ها تحت بار استاتیکی غیر خطی فزاینده

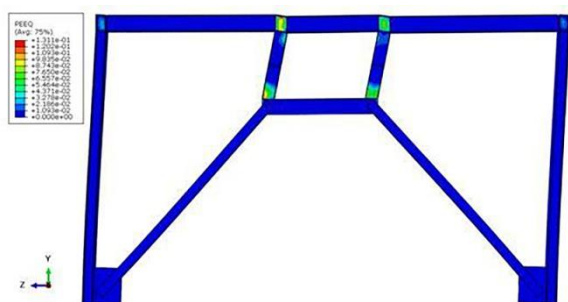
جهت بررسی اولیه، نمونه ها تحت تحلیل استاتیکی غیر خطی واقع شدند که بطور نمونه در شکل ۳ منحنی نیرو-تغییر مکان نمونه های SP1 و SP3 با هم مقایسه شده است. این مقایسه برای نمونه SP2 و SP5 نیز در شکل ۴ قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می شود، با اضافه شدن ورق، سختی اولیه و مقاومت نمونه ها به طور قابل توجهی افزایش نشان داده است. در شکل ۵ نیز توزیع کرنش پلاستیک در قاب های مورد مطالعه در وضعیت تغییر شکل یافته نشان داده شده است.



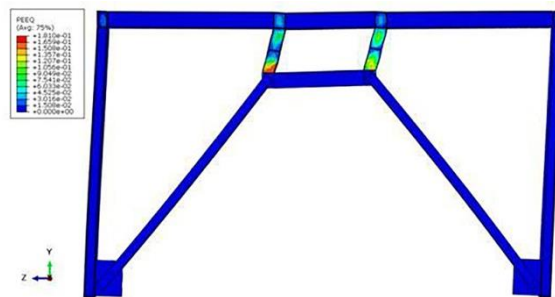
شکل ۳: مقایسه منحنی نیرو-تغییر مکان نمونه SP1 و نمونه SP3



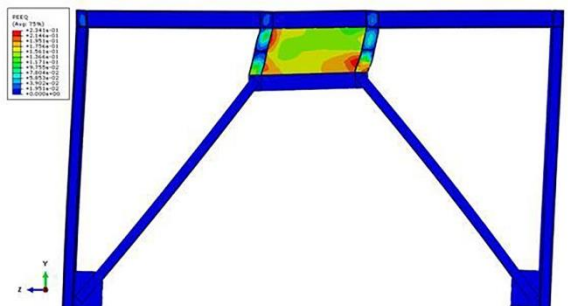
شکل ۴: مقایسه منحنی نیرو-تغییر مکان نمونه SP2 و نمونه SP5



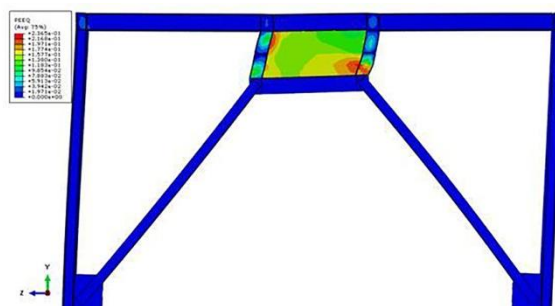
SP2 نمونه (ب)



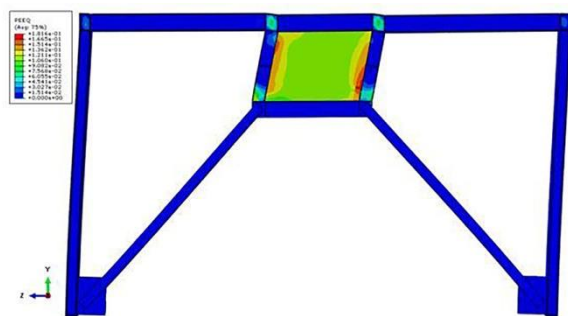
SP1 نمونه (الف)



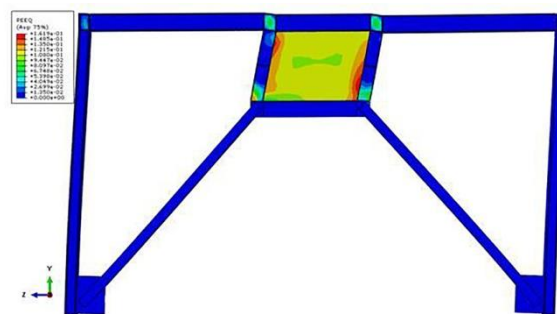
SP4 نمونه (د)



SP3 نمونه (ج)



(و) نمونه SP6



(ه) نمونه SP5

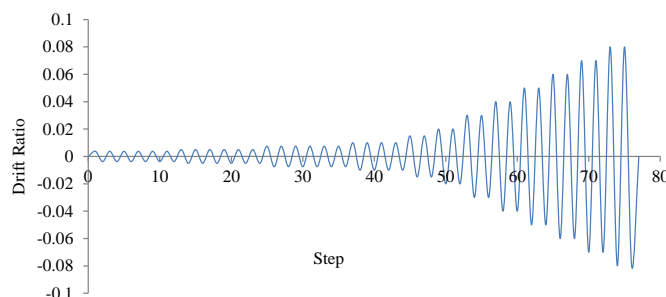
شکل ۵: توزیع کرنش پلاستیک در نمونه های مورد مطالعه

در تمامی نمونه ها وقوع رفتار پلاستیک به تیرهای پیوند و ورق ها محدود شده و رفتار کمانشی نیز در مهاربندها مشاهده نشده است. در نمونه SP1 با توجه به انتظار عملکرد خمشی-برشی ملاحظه می شود که وقوع رفتار پلاستیک در طول تیر پیوند گسترش یافته و در نمونه SP2 با توجه به انتظار عملکرد خمشی، وقوع رفتار پلاستیک در دو انتهای تیر پیوند رخ داده است. در نمونه های دارای ورق، رفتار پلاستیک علاوه بر تیرهای پیوند قائم در ورق ها نیز رخ می دهد. همچنین اضافه نمودن ورق میانی در بین تیرهای پیوند قائم، میزان کرنشهای پلاستیک در تیرهای پیوند قائم را افزایش می دهد. این افزایش در میزان کرنش های پلاستیک تیر های پیوند قائم می تواند مرتبط با سختی ایجاد شده از سمت ورق برای تغییر شکل و دوران تیرهای پیوند قائم باشد. همچنین در نمونه های دارای ورق و تیر پیوند خمشی، نسبت به تیر پیوند خمشی-برشی، موجب کاهش کرنش های پلاستیک در ورق میانی می گردد که علت آن سختی خمشی و برشی کمتر تیرهای پیوند خمشی نسبت به تیرهای پیوند خمشی-برشی می باشد.

۵- ارزیابی رفتار سیکلی نمونه ها

۵-۱- منحنی هیستریزیس و پوش

از بررسی عملکرد نمونه ها با استفاده از تحلیل استاتیکی غیر خطی مشاهده میگردد نمونه ها دارای رفتار مناسبی به لحاظ وقوع تغییر شکل های پلاستیک بوده و در آنها کمانش مهاربند اتفاق نیفتاده است. به همین جهت، برای انجام بارگذاری سیکلی نمونه های مورد مطالعه، از پروتکل بارگذاری مطابق آیین نامه AISC [۱۱] استفاده شده است. این پروتکل در شکل ۶ نشان داده شده است.

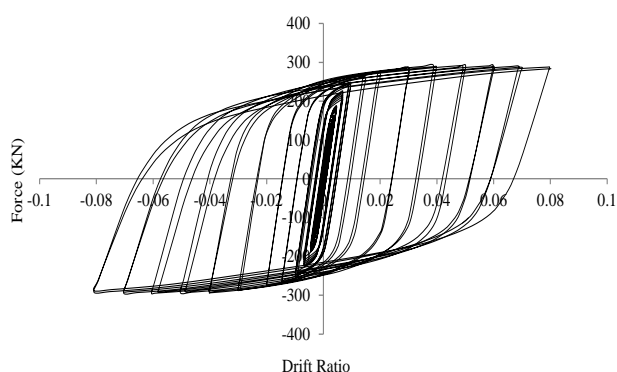


شکل ۶: الگوی بارگذاری سیکلی در نمونه ها

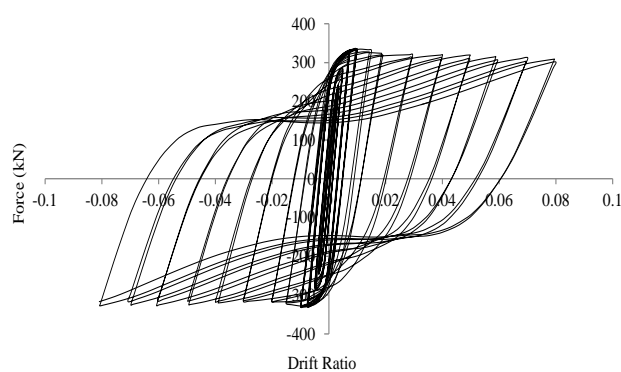
نتایج منحنی نیرو-تغییر مکان ناشی از رفتار سیکلی تمامی نمونه ها در شکل ۷ ارائه شده است. بر اساس شکل ۷، در نمونه SP1، پس از تسلیم به علت بروز تغییر شکل های پلاستیک موضعی در جان تیر پیوند، اندکی افت مقاومت مشاهده می گردد و با افزایش نسبت دریافت نیز به علت افزایش تغییر شکل های پلاستیک موضعی، اثرات پینچینگ در منحنی هیستریزس مشاهده می گردد. در نمونه SP2، با افزایش نسبت دریافت، نه تنها کاهش مقاومت رخ نداده، بلکه افزایش مقاومت نیز به دلیل اثرات سخت شوندگی کرنش در منحنی سیکلی مشاهده می گردد. این نمونه به دلیل حاکم بودن رفتار خمشی در تیر پیوند، نسبت به نمونه دارای تیر پیوند خمشی-برشی (SP1) دارای مقاومت کمتری می باشد و اثرات پینچینگ نیز در منحنی سیکلی این نمونه به دلیل عدم بروز تغییر شکل های پلاستیک موضعی زیاد در جان تیر پیوند مشاهده نمی گردد. مقاومت نمونه های مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. در نمونه های دارای ورق میانی، میزان افزایش مقاومت جانبی قاب ناشی از تسلیم برشی ورق میانی بستگی به توزیع تنش برشی در مقطع ورق و تنش تسلیم مصالح ورق دارد. با در نظر گیری معیار فون مایسز برای تسلیم مقاطع تحت تنش های برشی خالص، میزان نیروی برشی ناشی از تسلیم ورق با فرض توزیع تنش برشی یکنواخت از رابطه ۱ محاسبه می گردد. در رابطه ۱ A_{pL} سطح مقطع ورق و F_y تنش تسلیم مصالح ورق می باشد.

$$V_y = 0.6 F_y A_{pL} \quad (1)$$

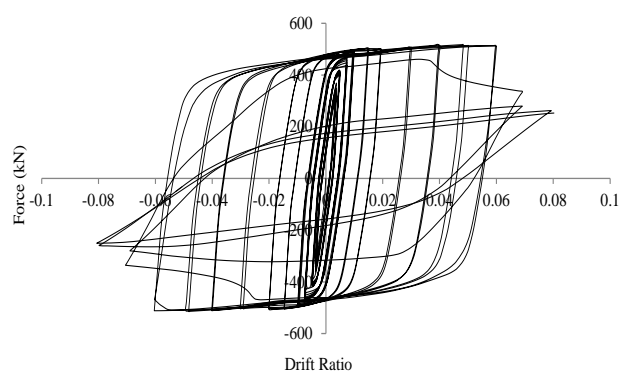
با توجه به رابطه ۱ میزان افزایش در مقاومت برشی قابهای دارای ورق با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نسبت به قابهای مشابه بدون ورق می بایست برابر با ۱۴۴ کیلونیوتن و میزان افزایش در مقاومت برشی قابهای دارای ورق با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نسبت به قابهای مشابه بدون ورق می بایست برابر ۷۲ کیلونیوتن باشد. مقایسه مقاومت نمونه های SP4 و SP3 نسبت به نمونه SP1 و مقاومت نمونه های SP5 و SP6 نسبت به نمونه SP2 نشان می دهد افزایش مقاومت در قابهای دارای ورق با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نسبت به قابهای مشابه بدون ورق بیش از مقدار ۱۴۴ کیلونیوتن و افزایش مقاومت در قابهای دارای ورق با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نسبت به قابهای مشابه بدون ورق بیش از ۷۲ کیلونیوتن می باشد. علت این تفاوت ساده سازی موجود در معیار فون مایسز برای رفتار مصالح می باشد که در آن رفتار مصالح بصورت الاستو پلاستیک کامل فرض شده است در صورتیکه مدل رفتاری مصالح فولاد در نمونه های مورد مطالعه دارای سخت شوندگی کرنش می باشد. به همین دلیل افزایش مقاومت در قاب های دارای ورق نسبت به قاب های مشابه بدون ورق، بیش از مقادیر محاسبه شده بر اساس معیار فون مایسز می باشد. در نمونه های دارای ورق در نسبت دریافت های پس از ۰/۰۵، کاهش مقاومت جانبی در رفتار سیکلی مشاهده شده است. این کاهش مقاومت به دلیل تغییر شکل های خارج از صفحه نقطه اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند می باشد. پس از این پدیده، حلقه های منحنی سیکلی دچار کاهش شدید در سختی و مقاومت می گردند.



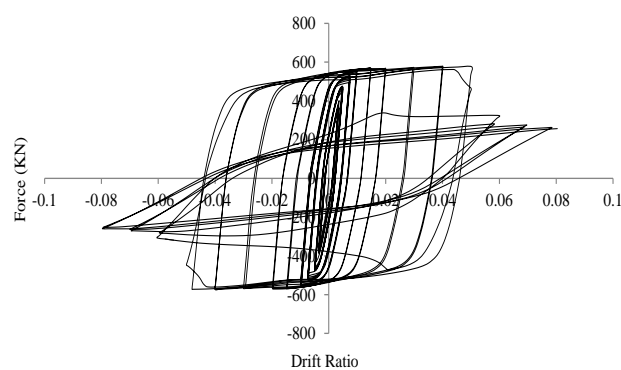
(ب) نمونه SP2



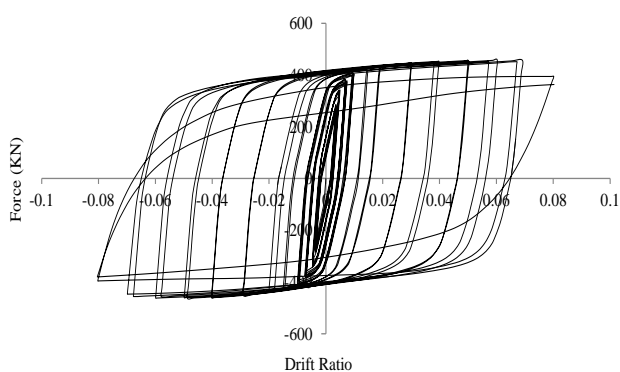
(الف) نمونه SP1



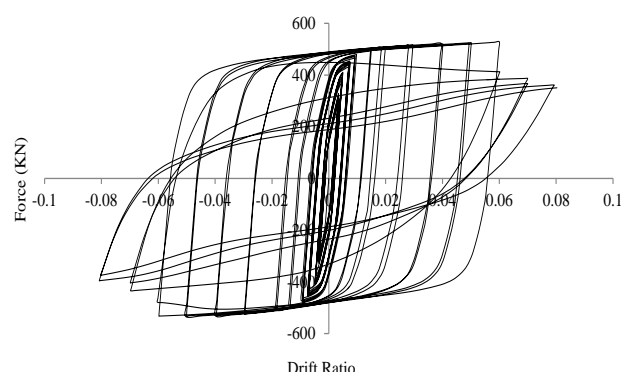
SP4 نمونه (د)



SP3 نمونه (ج)



SP6 نمونه (و)



SP5 نمونه (هـ)

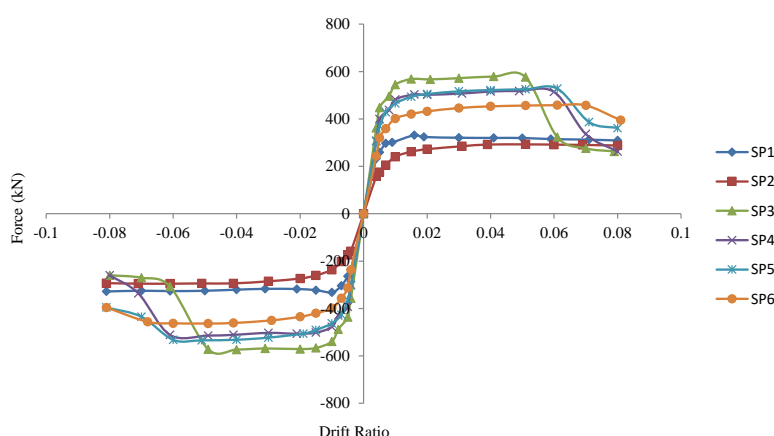
شکل ۷: منحنی نیرو-نسبت دررفت بار سیکلی در نمونه

جدول ۳: مقاومت نمونه های مورد مطالعه

نام نمونه	مقاومت (جهت مثبت) (kN)	مقاومت (جهت منفی) (kN)	افزایش مقاومت (جهت مثبت) نسبت به نمونه مشابه بدون ورق (%)	افزایش مقاومت (جهت منفی) نسبت به نمونه مشابه بدون ورق (%)
SP1	336	-332	0	0
SP2	293	-295	0	0
SP3	579	-573	72	73
SP4	518	-514	54	55
SP5	528	-534	80	81
SP6	458	-463	56	57

منحنی پوش بدست آمده از رفتار سیکلی برای نمونه های SP1 الی SP6 در نسبت دررفت های مختلف در شکل ۸ آورده شده است. بررسی شکل ۸ نشان می دهد رفتار قابهای دارای ورق میانی تا نسبت دررفت ۰/۰۵ بدون کاهش مقاومت بوده و پس از این دررفت به دلیل تغییر شکل های خارج از صفحه ایجاد شده در محل اتصال مهاربند به مجموعه تیر پیوند و صفحه میانی دچار افت مقاومت می گردند. در بین نمونه های مورد مطالعه، نمونه دارای تیر پیوند خمشی-برشی و ورق میانی با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، نسبت به سایر نمونه های دارای ورق در نسبت دررفت کمتری دچار افت مقاومت شده و نمونه دارای تیر پیوند خمشی با ورق میانی دارای

تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نسبت به سایر نمونه های دارای ورق در نسبت دریافت بالاتری دچار افت مقاومت می گردد. در صورتیکه در نمونه های دارای ورق، نسبت دریافت متناظر با افت مقاومت به عنوان دریافت نهایی در نظر گرفته شود، با تعیین دریافت حد تسلیم بر اساس دو خطی نمودن منحنی پوش، میزان شکل پذیری حداکثر نمونه SP3 برابر ۵/۵، SP4 برابر ۷/۵، SP5 برابر ۷/۵ و SP6 برابر ۷/۸ بدست آمده است. بر این اساس، در نمونه های دارای ورق میانی، نمونه دارای تیر پیوند خمشی-برشی و ورق میانی با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع دارای کمترین میزان شکل پذیری و نمونه دارای تیر پیوند خمشی با ورق میانی دارای تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع دارای بیشترین میزان شکل پذیری میباشد.



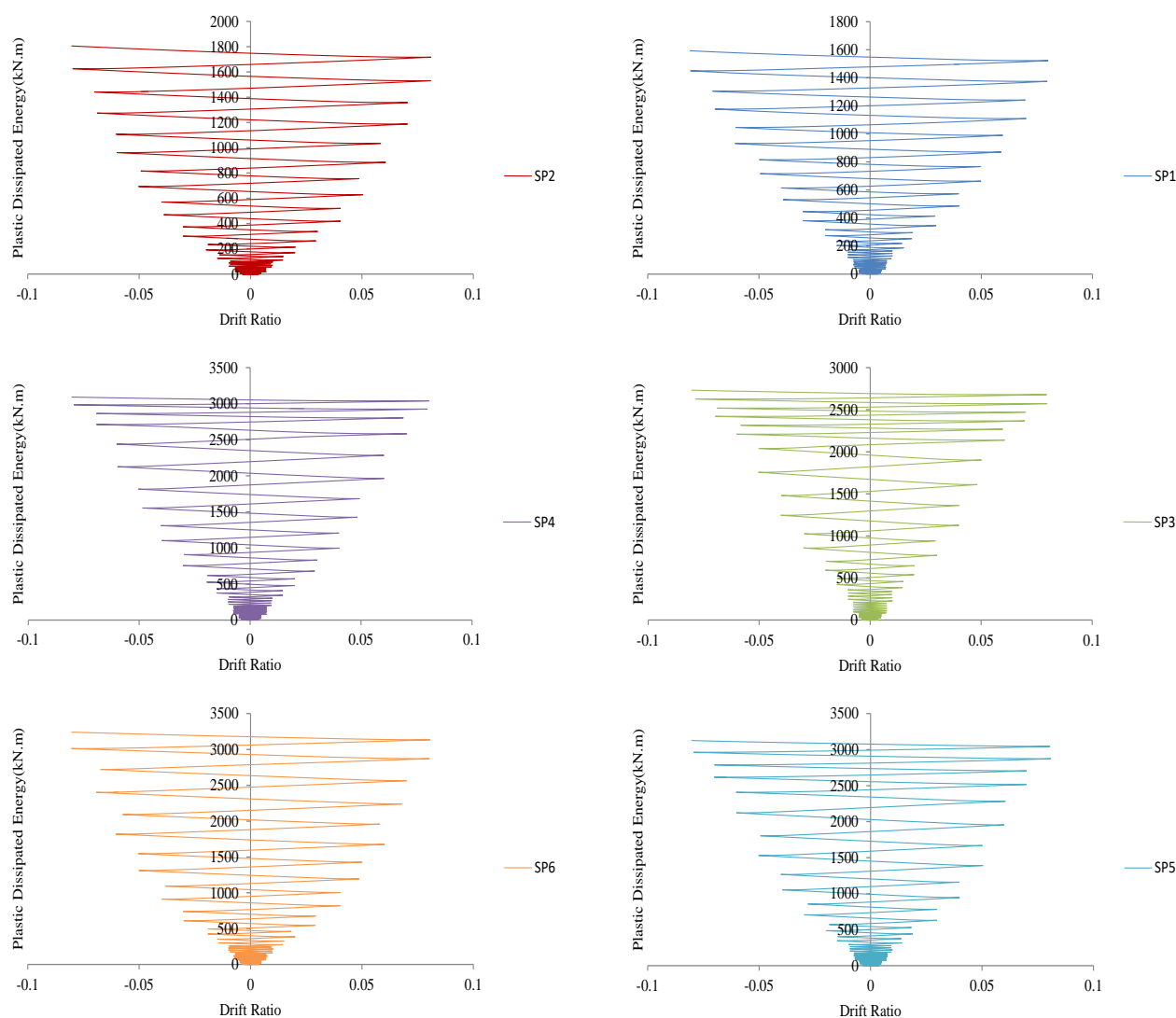
شکل ۸: منحنی پوش بدست آمده از رفتار سیکلی برای نمونه ها

۵-۲- انرژی پلاستیک مستهلک شده

انرژی پلاستیک مستهلک شده از رفتار سیکلی برای نمونه های SP1 الی SP6 در نسبت دریافت های مختلف در شکل ۹ آورده شده است. مطابق شکل ۹، نمونه های دارای ورق میانی نسبت به نمونه های مشابه بدون ورق، به دلیل افزایش مقاومت در منحنی سیکلی و بزرگتر شدن حلقه های هیستریزس، در نسبت های دریافت مختلف همواره دارای میزان انرژی پلاستیک مستهلک شده بیشتری می باشند. درصد افزایش انرژی پلاستیک مستهلک شده در نمونه های دارای ورق نسبت به نمونه های مشابه بدون ورق در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴: درصد افزایش انرژی پلاستیک مستهلک شده در نمونه های دارای ورق نسبت به نمونه های مشابه بدون ورق در نسبت دریافت های متفاوت

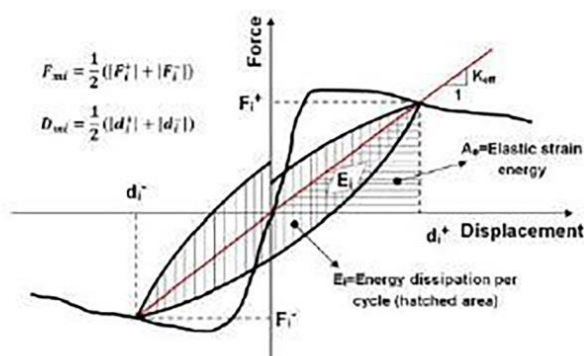
نسبت دریافت	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
نام نمونه	درصد افزایش							
SP3	126	135	148	156	165	154	118	91
SP4	101	108	119	127	135	144	145	117
SP5	222	153	135	124	121	121	105	82
SP6	219	122	103	94	89	89	88	85



شکل ۹: انرژی پلاستیک مستهلک شده از رفتار سیکلی برای نمونه ها

۵-۳- کاهش سختی و میرایی هیستریزیس معادل

مقدار سختی و میرایی هیستریزیس معادل بر اساس شکل ۱۰ و روابط ۲ و ۳ محاسبه شده و مقدار سختی در نسبت های دررفت متفاوت در سیکلهای متفاوت از بارگذاری و نسبت های دررفت متفاوت در شکل ۱۱ و میرایی هیستریزیس معادل در نسبت های دررفت متفاوت در شکل ۱۲ آورده شده است.

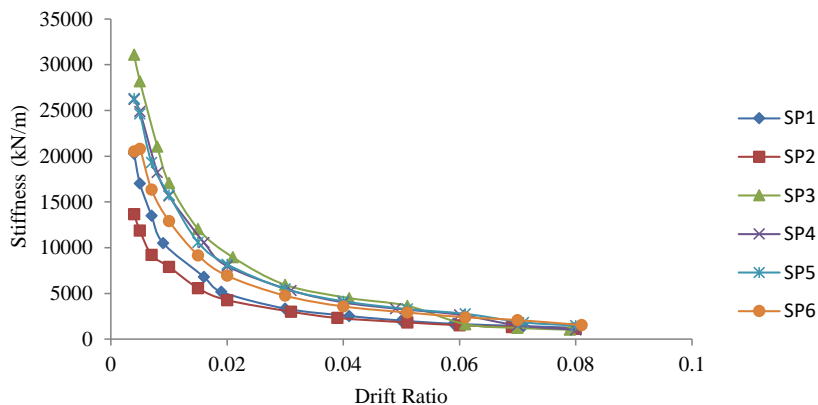


شکل ۱۰: نحوه محاسبه سختی موثر و میرایی هیستریزیس معادل در هر سیکل [۱۲]

$$K_{eff} = F_{mi} / D_{mi} \quad (2)$$

$$\xi_i = E_i / (2\pi F_{mi} D_{mi}) \quad (3)$$

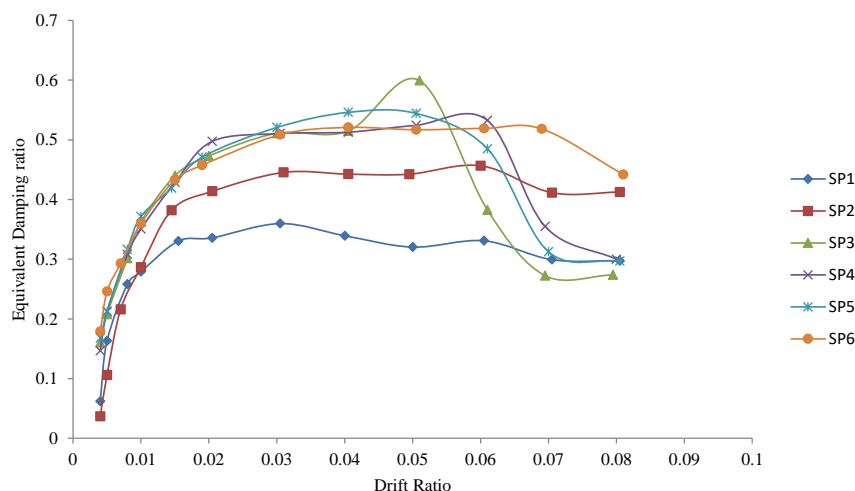
در روابط ۲ و ۳ پارامترهای F_{mi} و D_{mi} میانگین حداکثر بار و تغییر مکان در سیکل i ام می باشند. پارامتر E_i نیز مقدار سطح زیر منحنی نیرو-تغییر مکان در سیکل i ام از تحلیل سیکلی می باشد. K_{eff} سختی موثر در سیکل i ام و ξ_i میرایی هیستریزیس معادل در سیکل i ام می باشد.



شکل ۱۱: مقدار سختی در نسبت های دریفت مختلف برای نمونه ها

بررسی شکل ۱۱ نشان می دهد در نسبت دریفت های تا ۰/۰۲، اختلاف سختی نمونه SP1 نسبت به نمونه SP2 به دلیل سختی بالاتر تیر پیوند در ناحیه الاستیک بیشتر می باشد و پس از این دریفت و ورود به ناحیه غیر خطی اختلاف سختی این دو نمونه کاهش می یابد. در نمونه های دارای ورق میانی، استفاده از ورق با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نسبت به نمونه دارای ورق میانی با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع باعث افزایش بیشتر سختی در این نمونه ها می گردد که علت آن بالاتر بودن مقاومت این نمونه ها و در نتیجه بالاتر بودن پارامتر F_{mi} در رابطه ۲ می باشد. بررسی شکل ۱۲ نشان می دهد در تمامی نمونه ها روند افزایش میرایی هیستریزیس معادل تا قبل از نسبت دریفت ۰/۰۲ به دلیل رفتار الاستیک آنها دارای شیب بیشتری بوده و پس از وقوع تسلیم و رفتار غیر

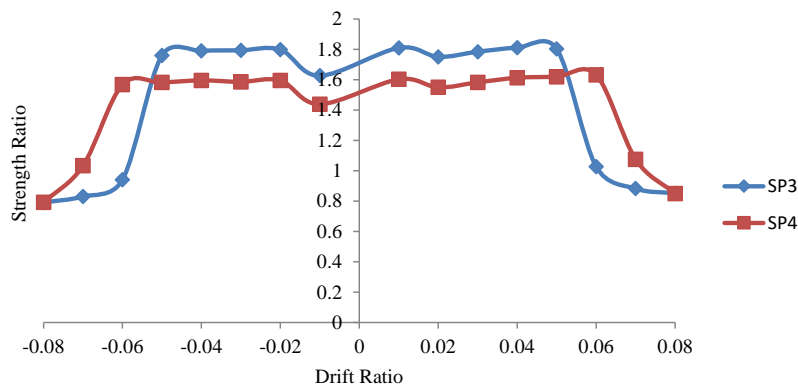
خطی، روند تغییرات میرایی هیستریزیس با شیب کمتری همراه است. در دریفتهای انتهایی نیز به دلیل افت مقاومت در نمونه های دارای ورق میانی و کاهش سطح حلقه های هیستریزیس، میرایی هیستریزیس در این نمونه ها با کاهش همراه می باشد.



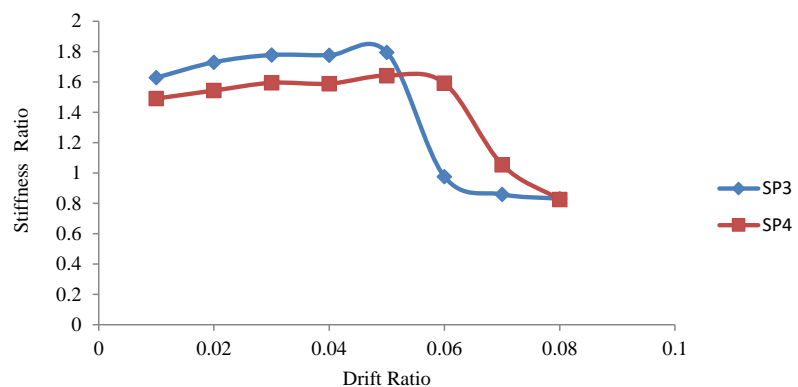
شکل ۱۲: میرایی هیستریزیس معادل در نسبت های دریفتهای مختلف برای نمونه ها

جهت مقایسه مناسبتر، نسبت مقاومت نمونه های دارای تیر پیوند خمشی-برشی با ورق میانی (نمونه های SP3 و SP4) نسبت به نمونه مشابه بدون ورق (SP1) در شکل ۱۳، نسبت سختی نمونه های دارای تیر پیوند خمشی-برشی با ورق میانی نسبت به نمونه مشابه بدون ورق در شکل ۱۴ و میرایی هیستریزیس معادل نمونه های دارای تیر پیوند خمشی-برشی با ورق میانی نسبت به نمونه مشابه بدون ورق در شکل ۱۵ نشان داده شده است. نسبت مقاومت نمونه های دارای تیر پیوند خمشی با ورق میانی (نمونه های SP5 و SP6) نسبت به نمونه مشابه بدون ورق (SP2) در شکل ۱۶، نسبت سختی نمونه های دارای تیر پیوند خمشی با ورق میانی نسبت به نمونه مشابه بدون ورق در شکل ۱۷ و میرایی هیستریزیس معادل نمونه های دارای تیر پیوند خمشی با ورق میانی نسبت به نمونه مشابه بدون ورق در شکل ۱۸ نشان داده شده است. بررسی شکل ۱۳ الی ۱۵ نشان می دهد در نمونه های دارای تیرهای پیوند قائم خمشی-برشی، اضافه نمودن ورق با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع به جای ورق با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع منجر به افزایش بیشتری در مقاومت، سختی و میرایی هیستریزیس نسبت به قاب بدون ورق می گردد و این افزایش صرفاً تا قبل از افت مقاومت نمونه دارای ورق مشاهده می گردد. شایان ذکر است در نمونه دارای تیر پیوند خمشی-برشی و ورق با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع افت مقاومت پس از نسبت دریفتهای ۰/۰۵ رخ می دهد. استفاده از ورق میانی با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در قابهای دارای تیر پیوند قائم خمشی-برشی در نسبت دریفتهای ۰/۰۵ به ترتیب موجب افزایش ۰/۷۸، ۰/۷۹ و ۰/۸۷ در مقاومت، سختی و میرایی هیستریزیس معادل نسبت به نمونه مشابه بدون ورق می گردد. در نمونه دارای تیر پیوند خمشی-برشی و ورق با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع افت مقاومت پس از نسبت دریفتهای ۰/۰۶ رخ می دهد. در همین نسبت دریفتهای استفاده از ورق میانی با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نیز به ترتیب موجب افزایش ۰/۵۸، ۰/۵۹ و ۰/۶۰ در مقاومت، سختی و میرایی هیستریزیس معادل نسبت به نمونه مشابه بدون ورق می گردد. در نمونه دارای تیر پیوند خمشی و ورق با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع افت مقاومت پس از نسبت دریفتهای ۰/۰۶ رخ می دهد. بررسی اشکال ۱۶ الی ۱۸ نشان می دهد استفاده از ورق میانی با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در قابهای دارای تیر پیوند قائم خمشی در نسبت دریفتهای ۰/۰۶ به ترتیب موجب افزایش ۰/۸۰، ۰/۸۱ و ۰/۶ در مقاومت، سختی و میرایی هیستریزیس معادل نسبت به نمونه مشابه بدون ورق می گردد. در نمونه دارای تیر پیوند خمشی و ورق با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع افت مقاومت پس از نسبت دریفتهای ۰/۰۷ رخ می دهد. در همین نسبت دریفتهای استفاده از ورق میانی با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نیز به ترتیب موجب افزایش ۰/۵۶، ۰/۵۸ و ۰/۲۶ در مقاومت، سختی و میرایی هیستریزیس معادل نسبت به نمونه

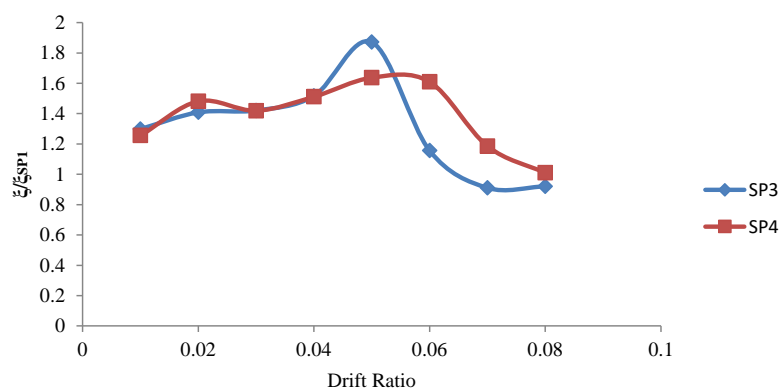
مشابه بدون ورق می‌گردد.



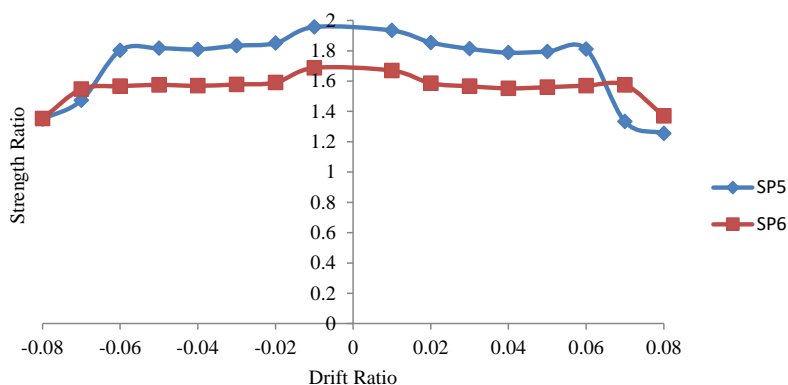
شکل ۱۳: نسبت مقاومت نمونه های SP3 و SP4 به نمونه SP1 در نسبت های دررفت مختلف



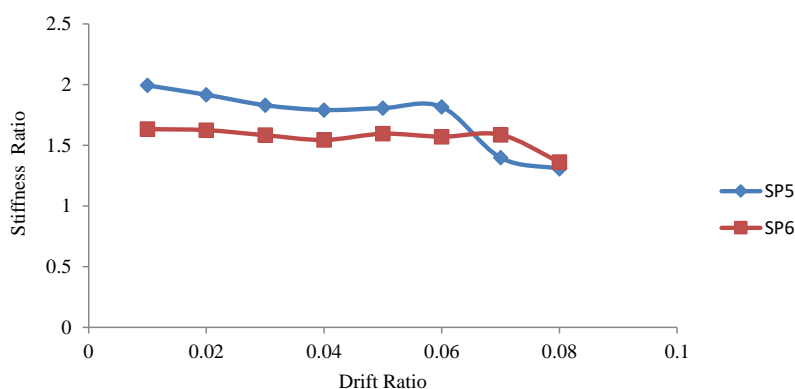
شکل ۱۴: نسبت سختی نمونه های SP3 و SP4 به نمونه SP1 در نسبت های دررفت مختلف



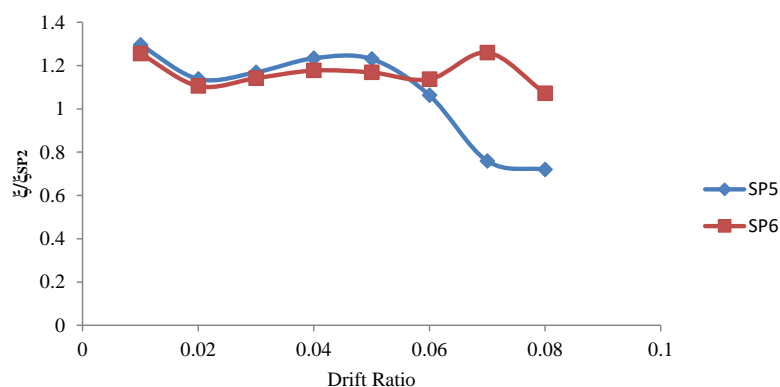
شکل ۱۵: نسبت میرایی هیستریزیس معادل نمونه های SP3 و SP4 به نمونه SP1 در نسبت های دررفت مختلف



شکل ۱۶: نسبت مقاومت نمونه های SP5 و SP6 به نمونه SP2 در نسبت های دررفت مختلف



شکل ۱۷: نسبت سختی نمونه های SP5 و SP6 به نمونه SP2 در نسبت های دررفت مختلف



شکل ۱۸: نسبت میرایی هیستریزیس معادل نمونه های SP5 و SP6 به نمونه SP2 در نسبت های دررفت مختلف

۶- بررسی تاثیر مهار جانبی در محل اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند

با توجه به افت مقاومت در نمونه های دارای ورق میانی به دلیل تغییر شکل های خارج از صفحه نقطه اتصال مهاربند به مجموعه ورق میانی و تیر پیوند قائم، با در نظر گیری تاثیر مهار جانبی در محل اتصال مجموعه مهاربند به تیرهای پیوند قائم و صفحه میانی برای نمونه های دارای ورق، تحلیل سیکلی مجدداً انجام گرفته و مقایسه نتایج منحنی ها تحت بارهای سیکلی در شکل ۱۹ انجام شده است. بررسی منحنی ها نشان می دهد اعمال مهار جانبی در اکثر نمونه ها موجب پایدارتر شدن منحنی سیکلی و افزایش سطح زیر نمودار آن

شکل ۲۰: اثر مهار جانبی در منحنی پوش قاب های دارای ورق میانی

۷- نتیجه گیری

در این مطالعه به تاثیر استفاده از ورق میانی در عملکرد قاب های دارای تیر پیوند قائم جفت با عملکرد خمشی-برشی و خمشی و استفاده از مهار جانبی در محل اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند پرداخته شده است. اهم نتایج بدست آمده از این مطالعه به شرح زیر می باشد.

۱- در نمونه دارای تیر پیوند خمشی-برشی و ورق با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و بدون مهارجانبی در محل اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند افت مقاومت پس از نسبت دررفت ۰/۰۵ رخ می دهد. استفاده از ورق میانی با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در قابهای دارای تیر پیوند قائم خمشی-برشی و بدون مهارجانبی در محل اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند در نسبت دررفت ۰/۰۵ به ترتیب موجب افزایش ۰/۷۸٪، ۰/۷۹٪ و ۰/۸۷٪ در مقاومت، سختی و میرایی هیستریزس معادل نسبت به نمونه مشابه بدون ورق می گردد. در نمونه دارای تیر پیوند خمشی-برشی و ورق با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و بدون مهارجانبی در محل اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند افت مقاومت پس از نسبت دررفت ۰/۰۶ رخ می دهد. در همین نسبت دررفت، استفاده از ورق میانی با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نیز به ترتیب موجب افزایش ۰/۵۸٪، ۰/۵۹٪ و ۰/۶۰٪ در مقاومت، سختی و میرایی هیستریزس معادل نسبت به نمونه مشابه بدون ورق می گردد.

۲- در نمونه دارای تیر پیوند خمشی و ورق با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و بدون مهارجانبی در محل اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند افت مقاومت پس از نسبت دررفت ۰/۰۶ رخ می دهد. استفاده از ورق میانی با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در قابهای دارای تیر پیوند قائم خمشی در نسبت دررفت ۰/۰۶ به ترتیب موجب افزایش ۰/۸۰٪، ۰/۸۱٪ و ۰/۶٪ در مقاومت، سختی و میرایی هیستریزس معادل نسبت به نمونه مشابه بدون ورق می گردد. در نمونه دارای تیر پیوند خمشی و ورق با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و بدون مهارجانبی در محل اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند افت مقاومت پس از نسبت دررفت ۰/۰۷ رخ می دهد. در همین نسبت دررفت، استفاده از ورق میانی با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نیز به ترتیب موجب افزایش ۰/۵۶٪، ۰/۵۸٪ و ۰/۲۶٪ در مقاومت، سختی و میرایی هیستریزس معادل نسبت به نمونه مشابه بدون ورق می گردد.

۳- در میان نمونه های دارای ورق و بدون مهارجانبی در محل اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند، کمترین شکل پذیری مربوط به نمونه دارای تیر پیوند خمشی-برشی و ورق میانی با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بوده و بیشترین شکل پذیری مربوط به نمونه دارای تیر پیوند خمشی و ورق میانی با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می باشد.

۴- استفاده از مهارجانبی در محل اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند تا حد زیادی از کاهش شدید مقاومت در نمونه های با تیر پیوند خمشی و ورق میانی ممانعت نموده ولی در نمونه با تیر خمشی-برشی صرفاً در صورت استفاده از ورق میانی با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع استفاده از مهار جانبی موجب ممانعت از کاهش شدید مقاومت می گردد.

۵- با توجه به رفتار نمونه های مورد مطالعه، در نسبت دررفت کمتر از ۰/۰۵ در قابهای دارای تیر پیوند قائم جفت خمشی و خمشی-برشی، استفاده از ورق میانی با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع موجب ارتقای رفتار آنها بدون نیاز به مهارجانبی در محل اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند می گردد.

۶- در نسبت دررفت بیش از ۰/۰۵ در قابهای دارای تیر پیوند قائم جفت خمشی-برشی استفاده از ورق میانی با تنش تسلیم ۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و مهارجانبی در محل اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند موجب بهبود رفتار قاب شده و در

قابهای دارای تیر پیوند قائم جفت خمشی استفاده از ورق با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و مهارجانبی در محل اتصال مهاربند به مجموعه ورق و تیر پیوند موجب ارتقای رفتار قاب می باشد.

مراجع

- [1]Zahraei M., Mahroozade Y. (2010) Experimental Study of Using Vertical Link Beam to Improve Seismic Performance of Steel Buildings: *Civil Engineering Infrastructures Journal*, 44(3), 379-393.(In Persian)
- [2]Zahraei M., Moslehi T. (2013) Analytical study on cyclic behavior of chevron braced frames with shear panel system considering post-yield deformation: *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(7), 633-643.
- [3]Yiğitsoy G., Topkaya C., Okazaki T. (2014) Stability of beams in steel eccentrically braced frames: *Journal of Constructional Steel Research*, 96, 14-25.
- [4]Wang F., Su M., Hong M., Guo Y., Li S. (2016) Cyclic behaviour of Y-shaped eccentrically braced frames fabricated with high-strength steel composite: *Journal of Constructional Steel Research*, 120, 176-187.
- [5]Bosco M., Marino EM., Rossi PP. (2016) Influence of modelling of steel link beams on the seismic response of EBFs: *Engineering structures*, 127, 459-474.
- [6]Bouwkamp J., Vetr MG., Ghamari A. (2016) An analytical model for inelastic cyclic response of eccentrically braced frame with vertical shear link (V-EBF): *Case Studies in Structural Engineering*, 6, 31-44.
- [7]Xu X., Zhang Y., Luo Y. (2016) Self-centering eccentrically braced frames using shape memory alloy bolts and post-tensioned tendons: *Journal of Constructional Steel Research*, 125, 190-204.
- [8]Lian M., Su M. (2017) Seismic performance of high-strength steel fabricated eccentrically braced frame with vertical shear link: *Journal of Constructional Steel Research*, 137, 262-285.
- [9]Vetr MG., Ghamari A., Bouwkamp J. (2017) Investigating the nonlinear behavior of Eccentrically Braced Frame with vertical shear links (V-EBF): *Journal of Building Engineering*, 10, 47-59.
- [10]Abaqus C. A. E. (2012) Analysis user's manual: *Abaqus*, V. 6.12.
- [11]Construction A. I. O. S. (2005) Seismic provisions for structural steel buildings: *ANSI/AISC 341-05*.
- [12]Shafaei J., Hosseini A., Marefat MS. (2014) Seismic retrofit of external RC beam-column joints by joint enlargement using prestressed steel angles: *Engineering Structures*, 81, 265-288.