تحلیل عددی عملکرد قاب‌های مهاربندهای واگرای مجهز به ورق فولادی در ناحیه تحتاتی تیر پیوند و تیر خارج از پیوند

حمید ستاریان کرج‌آباد
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران – زلزله، دانشکده مهندسی، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران
احمد ملکی*
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران
maleki_civil@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۱۱/۰۲

چکیده:

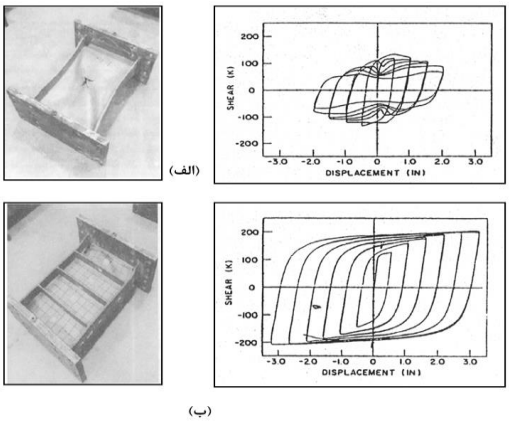
کشور ایران بدلیل وجود گسل‌های متعدد و اعمال تنش توسط صفحات پوسته مرزی، همواره شاهد رخداد زلزله‌های متعددی در طول سال می‌باشد. بنابراین ارائه‌ی سیستم‌های مقاوم برای پایداری سازه‌ها در برابر نیروهای جانبی از دغدغه‌های اصلی مهندسی عمران در کشور می‌باشد. از سیستم‌های مقاوم جانبی، مدل قاب مهاربند واگرا می‌باشد که با تکیه بر دوران تیر پیوند باعث جذب نیروی زلزله در سازه می‌شود، درحالیکه دوران بیش از حد در ناحیه تیر پیوند می‌تواند سطح عملکرد سازه را دچار ضعف گرداند و باعث تشکیل ترک‌هایی قابل توجه در دال بتنی گردد. در تحقیق حاضر مدل نوینی از سیستم مهاربند واگرای مجهز به ورق فولادی در ناحیه تحتانی تیر پیوند و تیر خارج از پیوند ارائه شده است. مدلسازی عددی در نرم‌افزار آباکوس و پروتکل بارگذاری بر مبنای ATC-24 اعمال گردیده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد مکانیابی بهینه ورق‌های فولادی و اعمال آن‌ها در ناحیه تحتانی تیر و تیر خارج از پیوند باعث بهبود عملکرد برشی سیستم مهاربندی در تشکیل مفاصل پلاستیک و افزایش مقاومت برشی و شکل‌پذیری مدل مهاربندی می‌گردد. در نهایت میزان جذب انرژی توسط مدل‌ها در مقایسه با مدل رایج دارای عملکرد مطلوب قابل توجهی می‌باشد.

کلید واژگان: مهاربند واگرا، ورق فولادی، تیر پیوند، مفصل پلاستیک، مقاومت برشی

۱- مقدمه

ایران بدلیل قرار گیری در سطح میانی کمربند کوهزایی آلپ هیمالیا و حرکت آن و اعمال تنش از ناحیه صفحه عربستان از جنوب و صفحه هندوستان از قسمت شرق و احاطه شدن توسط صفحه اوراسیا، همواره تحت تنش‌هایی در پوسته می‌باشد که نتایج آن به صورت ایجاد گسل‌های متعدد علی رغم مساحت کم از نظر تکتونیک صفحات می‌باشد، بدلیل اعمال تنش‌ها از ناحیه صفحات در نتیجه شاهد رخداد زلزله‌هایی متعد در نواحی گسل‌ها می‌باشیم [۱]. به منظور پایداری سازه‌ها در برابر نیروهای زلزله سیستم های مختلفی برای جذب انرژی حاصل از نیروی زلزله در سازه‌ها توسط آئین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای ارائه شده است. یکی از سیستم‌های متداول به دلیل عدم محدودیت در تعداد طبقات و کاربری و عملکرد مطلوب با امکان ایجاد بازشو و شرایط اقتصادی، سیستم قاب مهاربندی واگرا می‌باشد. عملکرد سیستم قاب مهاربندی واگرا با تکیه بر رفتار پلاستیکی و تشکیل مفاصل پلاستیک در ناحیه متمرکز قاب مهاربند واگرا می‌باشد.

سیستم قاب مهاربندی واگرا متشکّل از اعضای تیر، ستون، ورق اتصال، تیر پیوند و سخت‌کننده می‌باشد. در سیستم قاب مهاربندی واگرا تغییر شکل‌های غیر خطی به ناحیه ی تیر پیوند با سخت‌کننده‌ها متمرکز شده است و اعضای خارج از تیر پیوند برای رفتار الاستیک طراحی می‌شوند. در این سیستم تیر پیوند با علمکرد مقاومت برشی و شکل‌پذیری باعث جذب انرژی حاصل از نیروی زلزله در سازه می‌گردد. سیستم قاب مهاربندی واگرا در سال ۱۹۷۸ توسط پوپوف و ریدر مورد مطالعه آزمایشگاهی و عددی قرار گرفت [۲]، که سر منشا حضور این سیستم در آئین‌نامه‌ها گردید. در سال ۱۹۸۳ پوپوف و مالی با اعمال بارگذاری چرخه‌ای اهمیت استفاده از سخت‌کننده در تیر پیوند را نشان دادند . نتایج آزمایشات نشان داد که وجود سخت‌کننده در جان تیر پیوند باعث افزایش میزان جذب انرژی به دلیل افزایش مقاومت برشی و باعث جلوگیری از گسیختگی سریع در جان تیر پیوند می‌گردد [۳]. در شکل (۱) اهمیت لزوم استفاده از سخت‌کننده به همراه رفتار هیسترزیس آن‌ها بر اساس آزمایشات پوپوف و مالی ارائه شده است.



شکل ۱- اهمیت نقش سخت‌کننده در تیر پیوند: (الف) بدون سخت‌کننده، (ب) با سخت‌کننده [۳]

در ادامه‌ی تحقیقات، به بررسی طول تیر پیوند به همراه سخت‌کننده‌ها و تاثیر آن در مد گسیختگی پرداخته شد. نتایج نشان داد که دوران غیر الاستیک تیر پیوند وابسته به طول آن می‌باشد.

آئین نامه طراحی لرزه‌ای AISC۲۰۰۲ [۴] طول تیر پیوند را با توجه به عملکرد آن به سه حالت تیر پیوند کوتاه با عملکرد برشی ، تیر پیوند متوسط با عملکرد برشی-خمشی و تیر پیوند بلند با علمکرد خمشی تقسیم کرده است و برای علمکرد برشی، طول تیر پیوند را به مقدار زیر محدود میکند:

$$e \le 1.6\frac{M_P}{V_P} \qquad (۱)$$

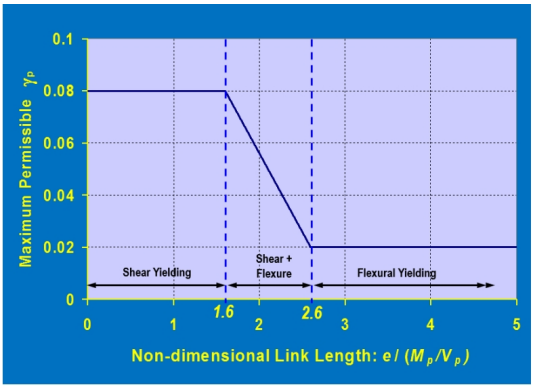
برای رفتار خمشی آئین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ای رابطه (۲) را بیان می‌کند:

$$e \ge 2.6\frac{M_P}{V_P} \qquad (۲)$$

آئین‌نامه رابطه (۳) را برای تیرپیوند دارای رفتار برشی و خمشی ارائه می‌کند:

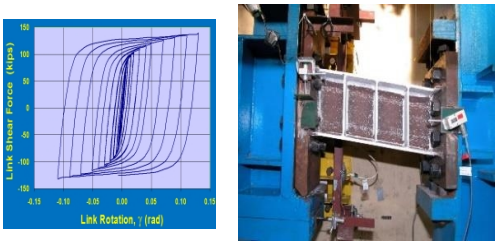
$$1.6\frac{M_P}{V_P} < e < 2.6\frac{M_P}{V_P} \qquad (۳)$$

در روابط بالا e طول تیرپیوند، M_p ظرفیت لنگر پلاستیک و V_p ظرفیت برش پلاستیک تیر می‌باشد. زاویه مجاز دوران بر اساس عملکرد طول تیر پیوند مطابق AISC که مورد تایید مبحث دهم مقررات ملی ساختمان می‌باشد، در شکل (۲) ارائه شده است.



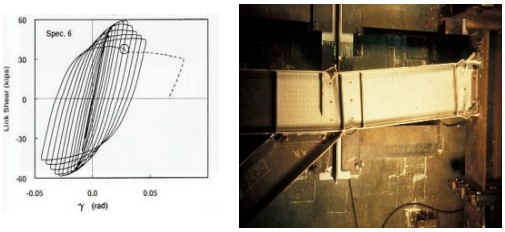
شکل ۲- زاویه‌ی دوران مجاز تیر پیوند براساس آیین‌نامه AISC [۵]

در شکل (۲) محور قائم نشان دهنده‌ی حد مجاز دوران تیر پیوند γ_p با توجه به طول تیر پیوند Link length در محور افقی می‌باشد. برای تیر پیوند با عملکرد برشی، طی بارهای رفت و برگشتی، سخت‌شوندگی کرنشی سبب می‌شود که سیستم نتنها با افت مقاومت و سختی مواجه نشود بکه در هر سیکلی مقاومت آن روند افزایشی تا میزان مجاز دوران تیر پیوند داشته باشد. وجود سخت‌کننده‌ها باعث تسلیم برشی یکنواخت در سطح جان گردیده و نقش موثری در جلوگیری از کمانش برشی جان دارد. شکل (۳) نشان دهنده‌ی تیر پیوند کوتاه همراه با رفتار هیسترزیس آن می‌باشد.



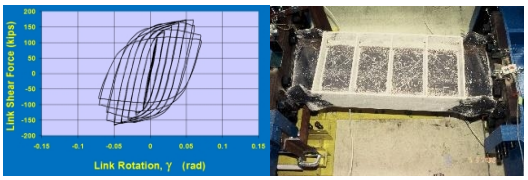
شکل ۳- تسلیم برشی تیر پیوند کوتاه همراه با منحنی هیسترزیس [۵]

در ادمه بارگذاری بر روی تیر پیوند با طول بلند نشان داد که رفتار خمشی تیر پیوند علی رغم دارا بودن شکل‌پذیری مناسب، دارای عملکرد هیسترزیس نامطلوب بدلیل افت مقاومت و سختی پس از چند سیکل کوتاه بارگذاری می‌باشد. شکل (۴) نشان دهنده‌ی آزمایش بر روی تیر پیوند بلند همراه با منحنی هیسترزیس می‌باشد.



شکل ۴- تسلیم خمشی تیر پیوند بلند همراه با منحنی هیسترزیس [۵]

در نهایت بارگذاری بر روی تیر پیوند متوسط با تسلیم برشی- خمشی نشان داد که رفتار تیر پیوند متوسط در مقایسه با تیر پیوند بلند اگر چه مطلوب می‌باشد ولی این نوع مدل تیر پیوند نیز پس از چند سیکل بارگذاری دارای عملکرد هیسترزیس نامطلوبی به سبب کاهش سختی می‌باشد و رفتار شکل‌پذیر بر ان حاکم می‌شود. در شکل (۵) تیر پیوند متوسط همراه با عملکرد هیسترزیس ارائه شده است.



شکل ۵- تسلیم برشی _ خمشی تیر پیوند متوسط همراه با منحنی هیسترزیس [۵]

در سال ۲۰۰۳ ارسه و همکاران بر روی تیرهای پیوند کوتاه با فولاد A992 (با حد جاری شدن ۱۴۸ تا ۴۸۸ مگا پاسکال) با بررسی ضوابط آئین نامه در مورد بررسی محدودیت های لاغری بال ضمن تایید مقادیر، نشان دادند خرابی برخی مدل‌ها به علت پارگی سطح جان تیر پیوند در انتهای سخت‌کننده‌های جان بود[۶]. در سال ۲۰۱۰ برمن و همکارانش با ایده RBS برای تیر های پیوند متوسط و بلند به منظور جلوگیری از شکست و گسیختگی در نقاط جوش نشان دادند که باعث کاهش کرنش در بال و پایداری ناحیه اتصال تیر پیوند به ستون گردید [۷].

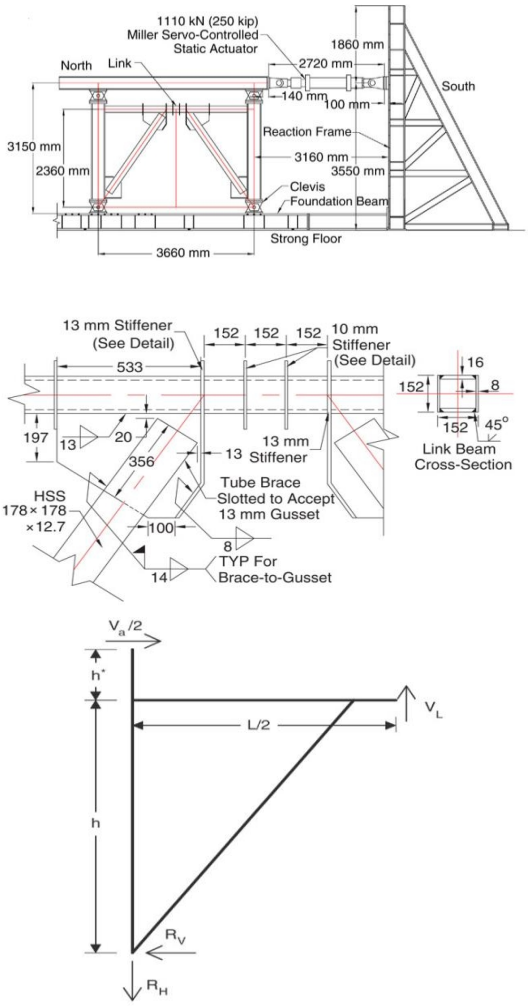
۲- مدل آزمایشگاهی مورد بررسی برای مدلسازی عددی

مبنای مدل عددی ، مدل آزمایشگاهی برمن و برونئو می‌باشد که بر روی قاب مهاربند واگرای یک دهنه انجام شده است [۸]. برمن و برونئو در مدل مهاربندی خود ایده استفاده از تیر و تیر پیوند با مقطع قوطی شکل را ارائه کردند و توانستند عملکرد برشی تیر پیوند را بهبود بخشیده و باعث افزایش میزان دوران تیر پیوند به میزان دو برابر آئین نامه تا ۰،۱۵ رادیان بدون هیچ گسیختگی شوند. همچنین برای محاسبه مقاومت برشی تیر پیوند، رابطه زیر را ارائه کردند [۸]:

$$V_L = V_a \frac{h + h^*}{L} \qquad (۴)$$

که V_l نیروی برش در تیرپیوند و V_a نیروی محوری وارد توسط جک ها و h فاصله از خط مرکز تیرپیوند تا خط مرکز پایه ستون مفصلی و h^* فاصله از خط مرکز تیرپیوند تا خط مرکز بازوی اعمالی نیرو و L عرض خط مرکز دو ستون در مهاربند واگرا می‌باشد.

در شکل (۶) نمایی شماتیک از مدل آزمایشگاهی برمن _ برونئو به همراه جزئیات اتصال مهاربند به ورق و همچنین دیاگرام آزاد نیروها برای محاسبه مقاومت برشی تیر پیوند ارائه شده است:



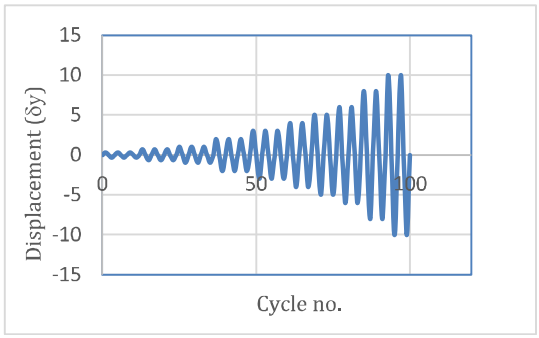
شکل ۶- جزئیات مهاربند واگرای برمن ـبرونئو همراه با دیاگرام زاد نیرو [۸]

۳-۱ مدل اجزای محدود و مشخصات مصالح

برای مدلسازی عددی مدل آزمایشگاهی برمن و برونئو، از نرم افزار آباکوس ورژن ۲۰۱۶ [۹] استفاده شده است. نوع فولاد مصرفی برابر مدل آزمایشگاهی از نوع ASTM A 572 Gr 50 [۱۰] با تنش تسلیم 448 Mpa و تنش نهایی 545.45 Mpa و همچنین مدول یانگ برابر با 210 Mpa برابر با مشخصات بکار رفته برای عضو جان تیر، در نظر گرفته شد. به دلیل نسبت کم یک راستا در مقایسه با ابعاد دیگر از المان پوسته ای از نوع S4R در مدلسازی استفاده شده است. المان مذکور یک المان چهار گرهی دو انحنایی با انتگرال‌گیری کاهش یافته می‌باشد. هر گره این المان دارای ۶ درجه‌ی آزادی می‌باشد که شامل سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی است. از این نوع المان می‌توان هم در پوسته‌های ضخیم و هم در پوسته‌های نازک استفاده نمود. برای دانه‌بندی نمونه، از روش Global Seeds با سایز ۳۰ میلیمتر استفاده شده است.

۳-۲ شرایط مرزی و بارگذاری

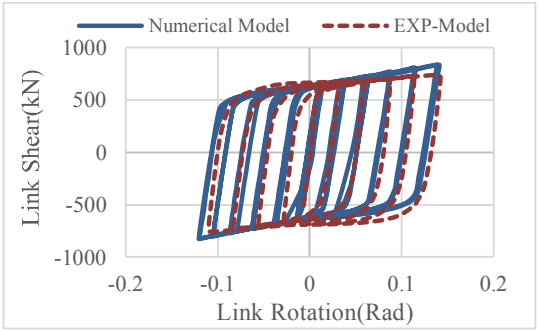
برای اعمال اثر جکهای نگه دارنده ستون‌ها، از المان wire استفاده گردید و نوع اتصال از نوع Connector Beam در نظر گرفته شده است. این نوع اتصال با داران بودن خاصیت صلب، در بردارنده‌ی انتقال تمام نیروی محوری و دورانی در نواحی اتصال می‌باشد [۹]. نوع بارگذاری به صورت شبه استاتیکی با اعمال جابجایی‌های رفت و برگشتی اعمال شده است. این نوع بارگذاری با ایجاد کمانش، افت مقاومت در کشش و فشار را به خوبی نشان می‌دهد. برای اعمال جابجای از الگوی پروتکل ATC-24 [۱۱] استفاده شده است. در شکل (۷) الگوی جابجایی بر حسب پروتکل ATC-24 نشان داده شده است.



شکل ۷- الگوی بارگذاری بر مبنای پروتکل ATC-24

۳-۳ اعتبار سنجی مدل عددی با مدل آزمایشگاه

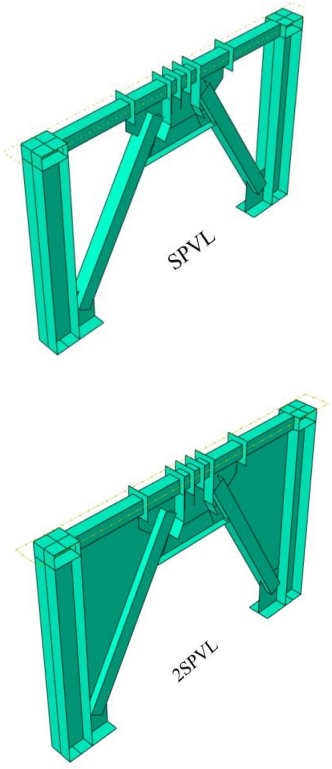
در نهایت مدل عددی به منظور دارا بودن از صحّت درست نتایج تحلیل‌ها، همسو با جزئیات مدل آزمایشگاهی ابتدا مورد صحت سنجی قرار گرفت. مقایسه منحنی هیسترزیس مدل عددی در مقایسه با مدل آزمایشگاهی نشان از تطابق مناسب برای انجام تحلیل ها بود. شکل (۸) نشان دهنده‌ی تطابق منحنی هیسترزیس حاصل از مدل عددی با مدل آزمایشگاهی می‌باشد.



شکل ۸- اعتبار سنجی مدل عددی مورد تحلیل در مقایسه با مدل آزمایشگاهی

۴-۳ معرفی مدل‌های نوین مهاربند های واگرای مجهز به ورق فولادی تحتانی برای تحلیل عددی

پس از تطابق مدل عددی با مدل آزمایشگاهی در نهایت برای بهبود عملکرد مقاومت برشی و شکل‌پذیری مهاربند واگرا ورق‌های فولادی براساس ضخامت‌های ۵ و ۸ و ۱۰ و ۱۲ میلیمتر که حداقلترین ضخامت‌ها برای وقوع کمانش بر اساس ضخامت جان ورق تیر پیوند می‌باشد، در دو مدل نوین مهاربندی واگرا : در ناحیه تحتانی تیر پیوند SPVL و ناحیه تحتانی تیر پیوند و تیر خارج از پیوند 2SPVL مورد مدلسازی قرار گرفتند. شکل (۹) نشان دهنده‌ی مدل‌های نوین مهاربندهای واگرای مجهز به ورق فولادی در نواحی تحتانی تیر پیوند و تیر خارج از پیوند می‌باشد.



شکل ۹- مدل‌های نوین مهاربند واگرای مجهز به ورق فولادی در ناحیه تحتانی تیر و تیر خارج از پیوند

در نهایت روند تحلیل مدل‌ها در جدول [۱] به همراه ضخامت ورق‌های اتصالی ارائه شده است:

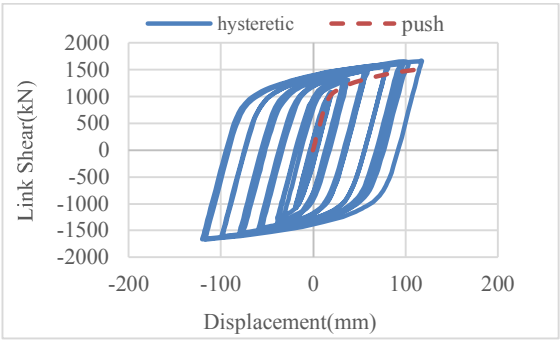
جدول ۱- گام های مورد تحلیل بر اساس ضخامت ورق‌ها

گروه‌بندی مدل‌های مورد تحلیل			ضخامت ورق‌های اتصالی (mm)			
			5	8	10	12
SPVL	1		*			
	2			*		
	3				*	
	4					*
2SPVL	1		* *			
	2		*	*		
	3		*		*	
	4		*			*
	5		*	*		
	6			* *		
	7			*	*	
	8			*		*
	9		*		*	
	10			*	*	
	11				* *	
	12				*	*
	13		*			*
	14			*		*
	15				*	*
	16					* *

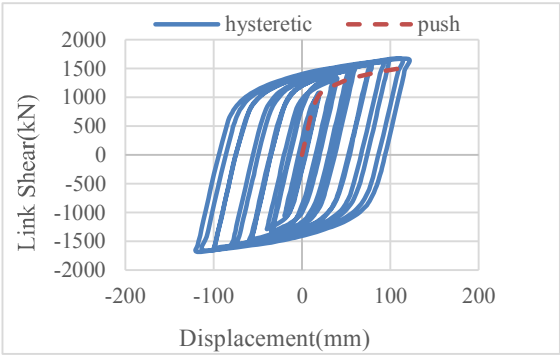
* بالا، نشان‌دهنده‌ی موقعیت ورق تحتانی تیر پیوند و * پایین، نشان‌دهنده‌ی موقعیت ورق‌های اعمالی درنواحی تحتانی تیر خارج از پیوند می باشد.

با توجه به روند تحلیل در جدول [۱]، در مدل‌های گروه SPVL، ورق فولادی در ناحیه‌ی تحتانی تیر پیوند و در مدل‌های گروه 2SPVL، ورق‌های فولادی علاوه بر ناحیه‌ی تحتانی تیر پیوند، در نواحی تیر خارج از پیوند نیز جایگذاری شد. به دلیل افزایش سختی برای وقوع کمانش در ورق فولادی، بار نقطه‌ای به عنوان ناکاملی به مقدار ۱۰۰ نیوتن در ورق فولادی اعمال گردید. همچنین برای ورق‌های اعمالی با ضخامت ۵ و ۸ میلیمتر در نواحی تحتانی تیر پیوند، سیکل جابجایی پروتکل ATC-24 همسو با مقاله مرجع اعمال گردید. برای ورق‌های با ضخامت ۱۰ و ۱۲ میلیمتر در نواحی تحتانی تیر پیوند، با درنظرگرفتن ضوابط ATC-24، سیکل‌های جابجایی با افزایش ضخامت ورق‌ها،

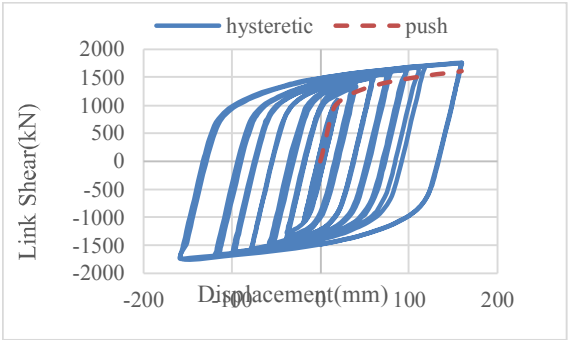
افزایش یافته است. درنهایت به منظور اطمینان از روند درست تحلیل، علاوه بر بارگذاری چرخه‌ای، مدل‌ها مورد بارگذاری مونوتونیک (پوش‌اور) قرار گرفتند. منحنی برش پایه – تغییر مکان مدل‌ها برای هر دو حالت بارگذاری چرخه‌ای و بارگذاری مونوتونیک ارائه شده است:



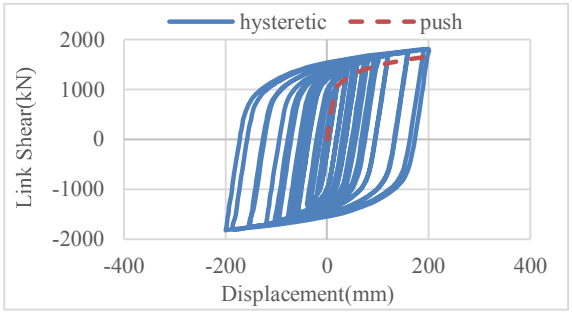
شکل ۱۰- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل SPVL -1 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



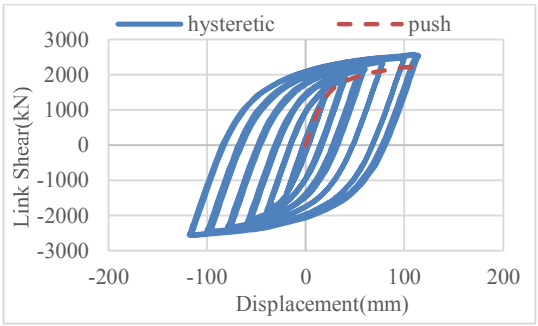
شکل ۱۱- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل SPVL -2 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



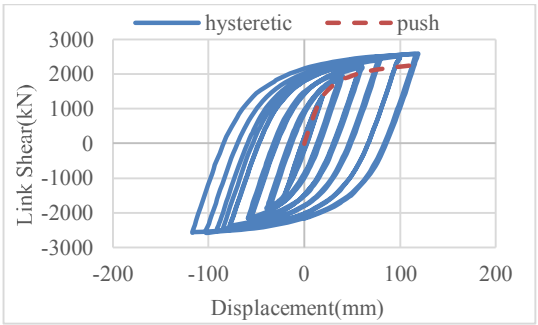
شکل ۱۲- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل SPVL -3 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



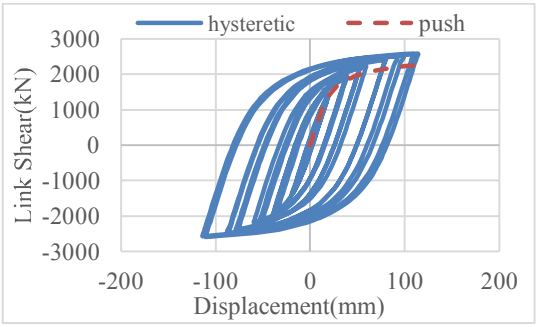
شکل ۱۳- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل SPVL -4 بر اساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آر



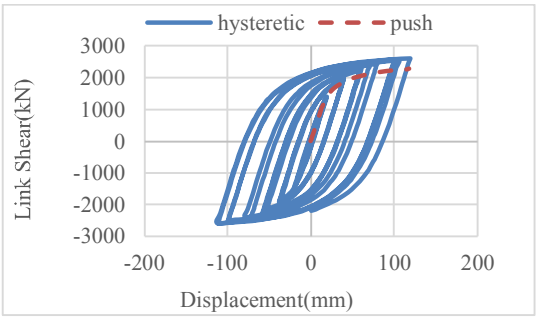
شکل ۱۴- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -1 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



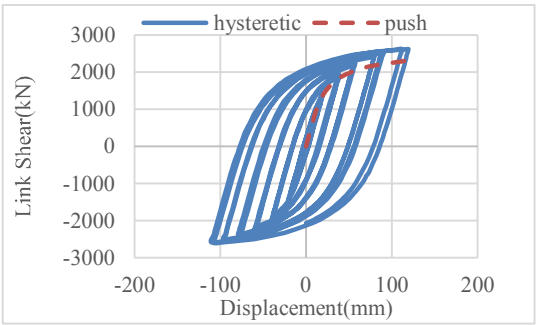
شکل ۱۵- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -2 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



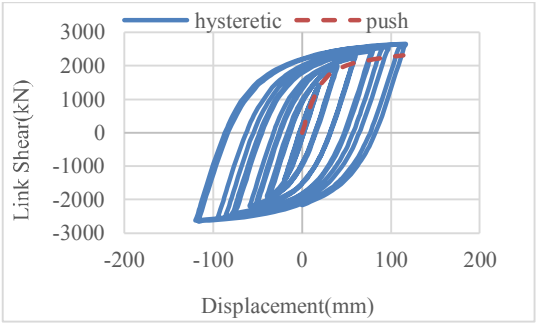
شکل ۱۶- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -3 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



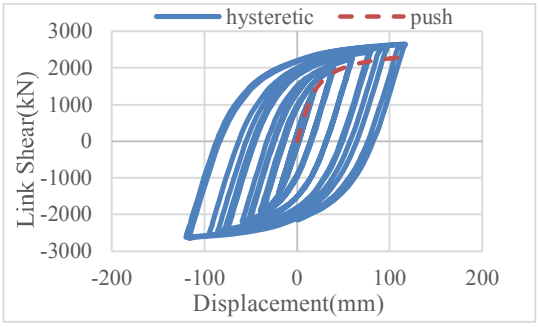
شکل ۱۷- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -4 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش آور



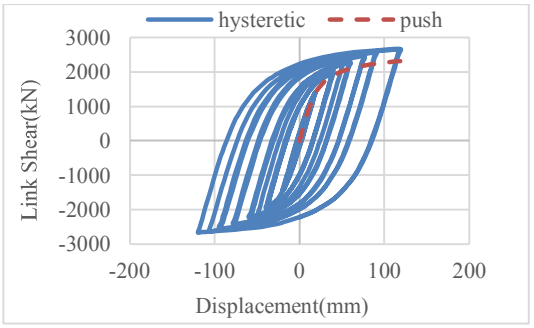
شکل ۱۸- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -5 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش آور



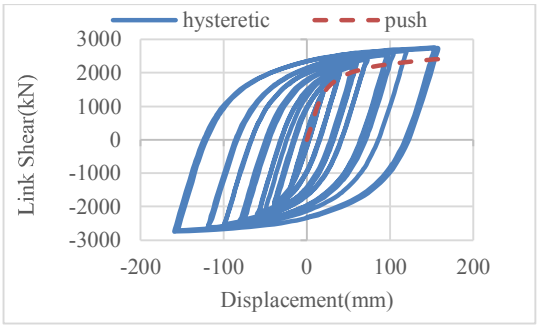
شکل ۱۹- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -6 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش آور



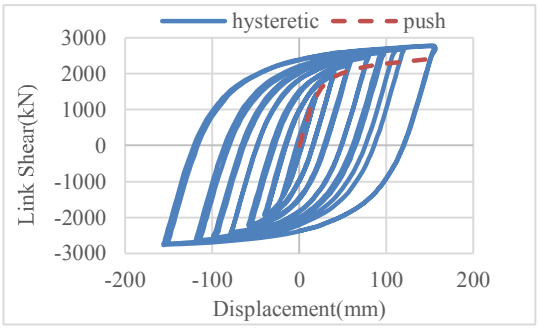
شکل ۲۰- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -7 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



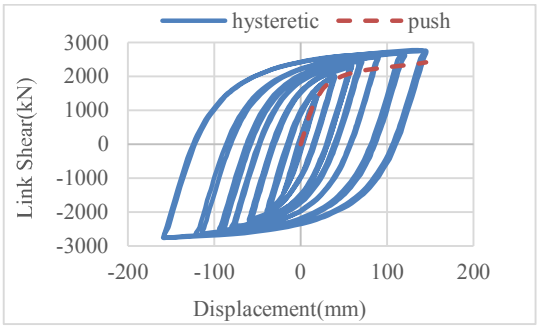
شکل ۲۱- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -8 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



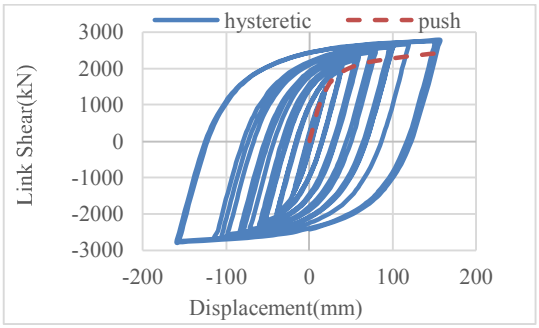
شکل ۲۲- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -9 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



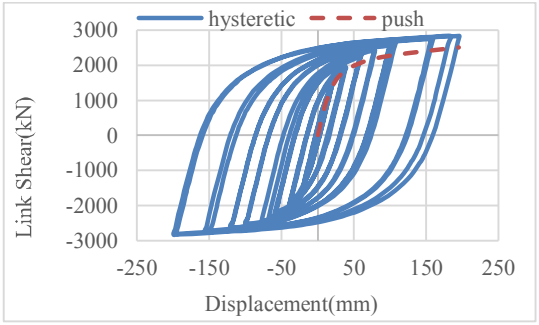
شکل ۲۳- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -10 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



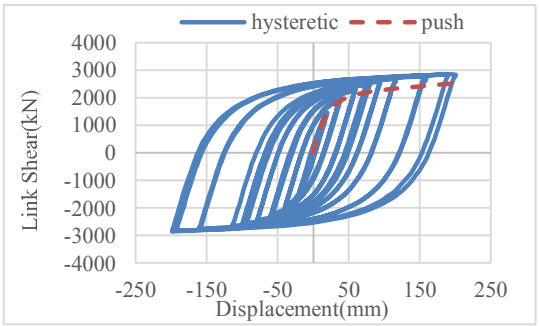
شکل ۲۴- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -11 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



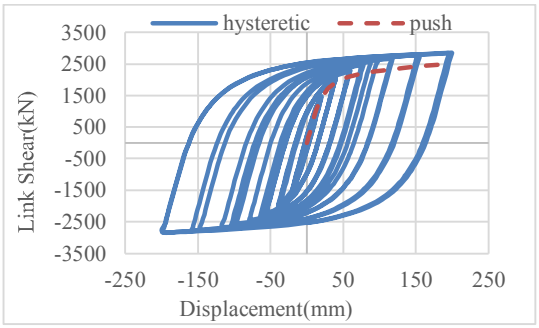
شکل ۲۵- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -12 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



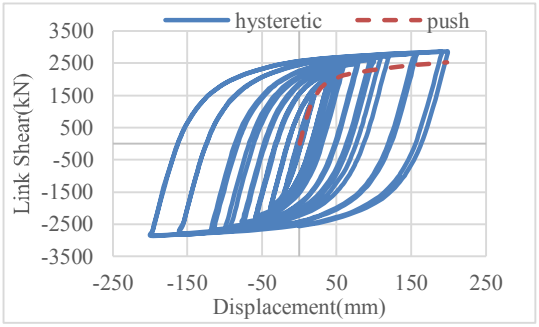
شکل ۲۶- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -13 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



شکل ۲۷- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -14 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور



شکل ۲۸- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -15 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور.



شکل ۲۹- منحنی برش پایه- تغییر مکان مدل 2SPVL -16 براساس بارگذاری چرخه‌ای و پوش‌آور

در مدل اصلی (Numerical Model) که مورد تحلیل قرار گرفت، مساحت زیر نمودار برابر ۲۰۳۶۱۶۹ کیلونیوتن–میلیمتر که برابر با میزان جذب انرژی (ژول) و مقاومت نهایی برابر ۸۳۵ کیلونیوتن و میزان شکل‌پذیری برابر ۱۱۷/۰۴ میلیمتر می‌باشد. برای مدل‌های مورد تحلیل با توجه به ضخامت ورق‌های فولادی و سیکل بارگذاری، در نهایت مقادیر ماکزیمم مقاومت برشی، جذب انرژی و شکل‌پذیری بر اساس رفتار هیسترزیس حاصل ازعملکرد چرخه‌ای برای مدل‌های مورد تحلیل در مقایسه با مدل اصلی در جدول [۲] ارائه شده است.

جدول ۲ – مقادیر ماکزیمم مقاومت برشی، جذب انرژی و شکل‌پذیری بر اساس منحنی هیسترزیس مدل‌ها در مقایسه با مدل اصلی

نام مدل	مقاومت نهایی (kN)	درصد اختلاف بار نهایی نسبت به مدل اصلی	جذب انرژی (kJ)	درصد اختلاف جذب انرژی نسبت به مدل اصلی	شکل‌پذیری (mm)	درصد اختلاف شکل‌پذیری نسبت به مدل اصلی
SPVL-1	1669/05	۹۹/۸۹	4116/12	۱۰۲/۱۵	۱۱۹	۱/۶۷
SPVL-2	1681/50	۱۰۱/۳۸	4143/48	۱۰۳/۴۹	119/94	۲/۴۸
SPVL-3	1741/12	۱۰۸/۵۲	5907/00	۱۹۰/۱۰	159/08	۳۵/۹۲
SPVL-4	1711/27	۱۰۴/۹۴	7971/40	۲۹۱/۴۹	199/47	۷۰/۴۳
2 SPVL-1	2566/20	۲۰۷/۳۳	5829/09	۱۸۶/۲۸	117/74	۰/۶۰
2 SPVL-2	2564/60	۲۰۷/۱۴	5790/12	۱۸۴/۳۶	117/13	۰/۰۸
2 SPVL-3	2577/90	۲۰۸/۷۳	5701/16	۱۷۹/۹۹	114/90	-۱/۸۳
2 SPVL-4	2612/40	۲۱۲/۸۶	5903/25	۱۸۹/۹۲	119/08	۱/۷۴
2 SPVL-5	2611/30	۲۱۲/۷۳	5723/78	۱۸۱/۱۱	117/64	۰/۵۱
2 SPVL-6	2653/70	۲۱۷/۸۱	5859/55	۱۸۷/۷۷	119/72	۲/۲۹
2 SPVL-7	2660/66	۲۱۸/۶۴	5954/95	۱۹۲/۴۶	119/95	۲/۴۹
2 SPVL-8	2668/70	۲۱۹/۶۰	5915/91	۱۹۰/۵۴	119/10	۱/۷۶
2 SPVL-9	2744/70	۲۲۸/۷۱	8389/38	۳۱۲/۰۲	158/17	۳۵/۱۴
2SPVL-10	2763/42	۲۳۰/۹۵	8585/17	۳۲۱/۶۳	156/04	۳۳/۳۲
2 SPVL-11	2769/70	۲۳۱/۷۰	8414/61	۳۱۳/۲۶	159/23	۳۶/۰۵
2 SPVL-12	2781/90	۲۳۳/۱۶	8515/99	۳۱۸/۲۴	159/38	۳۶/۱۸
2 SPVL-13	2832/12	۲۳۹/۱۸	11795/76	۴۷۹/۳۱	199/13	۷۰/۱۴
2 SPVL-14	2845/90	۲۴۰/۸۳	12042/41	۴۹۱/۴۲	198/95	۶۹/۹۸
2 SPVL-15	2849/36	۲۴۱/۲۴	12080/24	۴۹۳/۲۸	198/70	۶۹/۷۷
2 SPVL-16	2858/90	۲۴۲/۳۸	12237/03	۵۰۰/۹۸	198/80	۶۹/۸۶

مساحت منحنی هیسترزیس حاصل از بارگذاری چرخه‌ای نشان دهنده‌ی میزان جذب انرژی برای مدل می‌باشد. در شکل (۳۰) میزان جذب انرژی برای مدل‌ها در مقایسه با مدل اصلی (Numerical Model) ارائه شده است.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل نشان می‌دهد مکانیابی مناسب ورق‌های فولادی باعث مشارکت آن‌ها در تشکیل مفاصل پلاستیک علاوه بر تیر پیوند، در نتیجه تاثیر مثبت و قابل توجهی در بهبود عملکرد مهاربند واگرا دارد.

وجود ورق‌های فولادی باعث جلوگیری از کمانش عضو مهاربندی و اعضای تیر و ستون می‌گردد.

با وجود اعمال ورق‌های فولادی همچنان سیستم مهاربندی واگرا، دارای قابلیت ایجاد بازشو به لحاظ معماری می باشد.

همه مدل‌های مورد تحلیل دارای رفتار هیسترزیس پایدار بدون افت مقاومت و سختی در طول چرخه‌ی بارگذاری می‌باشند.

برای هر دو مدل SPVL و 2SPVL نتایج نشان می‌دهد که عملکرد ورق‌های فولادی برای هر دو ضخامت ۵ و ۸ میلیمتر تاثیر مشابهی در عملکرد مهاربند واگرا با توجه به مقاومت برشی و سختی خواهد داشت.

میانگین اختلاف انرژی برای مدل‌های گروه SPVL برابر ۱۷۱/۸۱ درصد و برای مدل‌های گروه 2SPVL برابر ۲۹۵/۱۶ درصد می‌باشد.

نتایج مقایسه حاصل از آنالیز پوش اور حاصل از بارگذاری مونوتونیک برای مدل‌ها، با پوش اور حاصل از بارگذاری هیسترزیس نشان از روند درست تحلیل و وجود اثر بواشینگر در مدل فولادی می‌باشد.

برای مدل 2SPVL-3 با توجه به سیکل جابجایی پروتکل ATC-24 که همسو با مدل اصلی می‌باشد، میزان شکل‌پذیری در این مدل در مقایسه با مدل اصلی دارای کاهش اندکی می‌باشد. میزان شکل‌پذیری سایر مدل‌ها، در مقایسه با مدل اصلی افزایش یافته است.

تمامی مدل‌ها دارای افزایش قابل توجه مقاومت برشی تیر پیوند در مقایسه با مدل اصلی می‌باشند.

بیشترین میزان جذب انرژی در مدل‌های گروه SPVL، در مقایسه با مدل اصلی برای مدل SPVL-4 برابر ۲۹۱/۴۹ درصد و برای مدل‌های گروه 2SPVL، شامل مدل 2SPVL-16 برابر ۵۰۰/۹۸ درصد در مقایسه با مدل اصلی می‌باشد.

نتایج تحلیل در مدل‌های گروه 2SPVL نشان می‌دهد افزایش ضخامت ورق‌های فولادی در ناحیه‌ی تحتانی تیر پیوند، تاثیر قابل توجهی در عملکرد تیر پیوند در مقایسه با ورق‌های تحتانی تیر خارج از پیوند در عملکرد برشی و شکل‌پذیری مدل دارد.

با توجه به افزایش قابل توجه مقاومت برشی در تمامی مدل‌های مورد تحلیل و افزایش میزان شکل‌پذیری در مدل‌ها، در نهایت میزان جذب انرژی در تمامی مدل‌های مورد مطالعه در مقایسه با مدل اصلی دارای افزایش قابل توجهی می‌باشد.

منابع

[۱]- مقدم. حسن، مهندسی زلزله مبانی و کاربرد، ۱۳۸۷.

[2]- Roeder CW, Popov EP. Eccentrically braced steel frames for earthquakes. Journal of the Structural Division 1978; 104(3):391–412

[3]- J.o. Malley, E, P, Popov "Design Considerations for Shear Links in Eccentrically Braced Frames", Earthquake Engineering Research Center, Report to the National Science Foundation, 1983.

[4]- AISC, "Load and resistance factor design", American Institute of steel construction, Manual of Steel Construction, 2002.

[5] Michael D. Engelhardt, Design of Seismic-Resistant Steel Building, University of Texas at Austin with the support of the American Institute of Steel Construction Version1, 2007.

[6]- Arce,G, Okazaki,T.and Engelhardt,M. D. "Experimental Behavior of Shear and Flexural Yielding Links of ASTM A992 Steel". Proceedings of the 4th Intl, (2003).

[7]- Berman J, Okazaki T, Hauksdottir H, Reduced Link Sections for Improving the Ductility of Eccentrically Braced Frame Link-to-Column Connections, JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING CASCE, 2010.

[8]- Berman, JW. Bruneau, M "Experimental and Analytical Investigation of Tubular Links for Eccentrically Braced Frames". Engineering Structures, Vol.29. No.8, 2007, pp 1929–1938.

[9]- SIMULIA, ABAQUS/CAE 2016.HF2, Dassault Systemes, 2016

[10]- ASTM. Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products, A370-03a. ASTM International; 2003

[11]- ATC, 1992, Guidelines for seismic testing of components of steel structures report-24. Applied Technology Council

Numerical Analysis of Performance of Eccentric Braced Frames Equipped with the Steel Plate in the area Under the link beam and the beam out of the link

Hamid Sattarian Karajabad
Master student of civil Engineering - earthquake, Faculty of Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran
Ahmad Maleki
Assistant professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran
maleki_civil@yahoo.com

Abstract:
Country of Iran due to the existence of numerous faults and stresses by the borders of the shell,has been witnessing the occurrence of many earthquakes throughout the year. Thus providing resistant systems for structural stability against lateral forces of the main concerns of civil engineering in the country. The lateral resistant systems, Eccentrically Brace frame model, which relying on the rotation of link beam causes the absorption of structural earthquake force, while the excessive rotation of the link beam region can weaken the structural performance level, and makes some significant cracks in the concrete slab. In the present study, a new model of eccentrically brace system equipped with a steel plate in the lower link beam, and the beam out of the links provided. Numerical modeling in Abaqus software and protocol load is applied based on the ATC-24. The results show that the optimal positioning of steel plates and insert its plates in the lower link beam and the beam out of the links cause improve the shear performance of the bracing system in the development plastic hinges And increased shear strength and ductility of the bracing model. Finally, the energy absorption by the models has a significant performance in comparison with the current model.

Keywords: Eccentric Braced, steel plate, link beam, Plastic hinge, Shear strength