

بررسی اثر فاصله ورق پوششی ضربدری تا دیوار برشی فولادی و ورق های اتصال دهنده آن تحت بار لرزه ای

داریا دهقان فرد^۱، محمود سراجی^{۲*}، محمدرضا فرودی جهرمی^۳

۱- گروه مهندسی عمران، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

۲- گروه مهندسی عمران، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

۳- گروه مهندسی عمران، واحد دشتستان، دانشگاه آزاد اسلامی، دشتستان، ایران

چکیده

مطالعات گسترده‌ای که در زمینه‌ی دیوارهای برشی فولادی انجام گرفته، نشان دهنده‌ی سختی اولیه، مقاومت، شکل پذیری و جذب انرژی بالای این سیستم تحت بار چرخه‌ای است. این ویژگی آن‌ها را برای مقاومت در برابر بارهای لرزه‌ای مناسب می‌کند. دیوارهای لرزه‌ای هم برای طراحی سازه‌های جدید و هم برای بهسازی سازه‌های موجود استفاده می‌شوند. اتصالات تیر و ستون در این دیوارها می‌تواند ساده و یا خمشی باشد. اساس ایده‌ی دیوار برشی فولادی نازک بهره‌گیری از میدان کشش قطری است که پس از کمانش ورق فولادی ایجاد می‌شود و این دیوارها به صورت سخت شده و سخت نشده استفاده می‌شوند. این تحقیق در دو بخش مورد بررسی قرار گرفته است که پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق، فاصله ورق‌ها تا دیوار برشی و تعداد سخت کننده‌های اتصال ورق ضربدری به ورق دیوار برشی می‌باشند. جهت بررسی مطالعات پارامتری مدل قاب با دیوار برشی فولادی و ورق‌های تقویتی ضربدری در نرم افزار اجزا محدود ABAQUS مدل سازی شدند سپس نتایج حاصل از تحلیل با هم مقایسه شده اند که در ادامه به بخشی از آن اشاره شده است. با افزایش ۱٫۵ برابر تعدادسخت کننده‌ها، سختی ۷۱٪ و مقاومت ۵۱٪ کاهش یافته است. با کاهش ۵۰٪ تعداد سخت کننده‌ها، مقاومت برشی ۱۳٪ کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش ۵۰٪ فاصله سخت کننده‌ها، مقاومت برشی نیز ۵۹٪ کاهش پیدا می‌کند.

کلمات کلیدی: دیوار برشی فولادی، بار جانبی، ورق ضربدری، شکل پذیری، تحلیل غیر خطی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
doi:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
10.22065/jsce.2018.97161.1333	۱۳۹۸/۰۶/۱۰	۱۳۹۶/۱۲/۱۶	۱۳۹۶/۱۲/۱۶	۱۳۹۶/۱۱/۰۶	۱۳۹۶/۰۷/۰۱
https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2018.97161.1333					
محمود سراجی			*نویسنده مسئول:		
mseraji86@gmail.com			پست الکترونیکی:		

Investigation on crossing sheeting distance to steel shear wall and its stiffeners under seismic load

Daryia Dehghanfard¹, Mahmood Seraji^{*2}, Mohammad Reza Forudi²

Department of Civil Engineering, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

² Department of Civil Engineering, Dashtestan Branch, Islamic Azad University, Dashtestan, Iran

ABSTRACT

The extensive studies in the field of steel shear walls indicate the initial stiffness, strength, ductility and high energy absorption of this system under cyclic load. These sorts of features obviously show this system is suitable for resisting to seismic loads. Seismic walls are used to design new structures as well as to improve exist structures. The connections of the beams and the columns in these walls could be simple or moment resisting. The basic idea of a thin steel shear wall is the use of a diagonal tension field that is formed after buckling of a steel plate and these shear wall are used in two types of stiffened and unstiffened. The parameters investigated in this research are consist of the distance of the cross sheet to the shear wall and the number of cross sheet stiffeners to the plate of the shear wall. The model was simulated in ABAQUS finite element software to examine the parametric studies of the frame with steel shear walls and cross sheet. Then, the results of the analysis were compared together. According to some of results, by increasing the number of stiffeners between plates and walls by 1.5 times, the stiffness and strength of the frame is reduced by 71% and 51% respectively. Reduction the number of stiffeners by 50% results in decrease of shear strength by 13%. Moreover, decreasing the stiffeners distance by 50% leads to reduction of shear strength by 59%.

ARTICLE INFO

Receive Date: 23 September 2017

Revise Date: 26 January 2018

Accept Date: 07 March 2018

Keywords:

Steel shear wall;

Lateral load;

Cross sheet;

Ductility;

Nonlinear analysis

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.97161.1333

*Corresponding author: Mahmood Seraji

Email address: mseraji86@gmail.com

۱- مقدمه

با توجه به اینکه ورق های فولادی دارای مقاومت بالایی هستند، مقاومت پس کمانش آن باعث نازک شدن ضخامت ورق می شود. برای جلوگیری از کمانش ورق می توان به جای استفاده از ورق های ضخیم تر که غیر اقتصادی است، از سخت کننده استفاده کرد. نگاه برخی طراحان سازه این است که برای افزایش ظرفیت کمانشی دیوارهای برشی از سخت کننده های زیادی استفاده شود؛ این در حالی است که اگر دیوارهای تقویت نشده گذاشته شوند و به آن ها اجازه ی کمانش داده شود به واسطه ی پس کمانشی، جذب انرژی آن ها افزایش چشمگیری پیدا می کند. هم چنین فولاد با تنش تسلیم پایین در شرایط لرزه ای شدید رفتار بهتری نسبت به فولادهای ساختمانی معمول از خود نشان می دهد.

تنش های کششی ورق، خمش قابل توجهی در ستون های اطراف ایجاد می کند و این ستون ها باید مقاومت و سختی کافی برای تحمل این نیروها را داشته باشند. البته می توان از روش هایی مانند استفاده از ورق های نیمه نگهداری شده در لبه ها (که در آن ورق به ستون متصل نمی شود) برای حل این مشکل استفاده کرد که این امر باعث کاهش زیاد سختی و مقاومت دیوار می شود. در تیرهای میانی، تنش های ناشی از ورق بالا و پایین نسبت به یکدیگر در حال تعادل هستند، با این وجود این تیرها باید نیروی فشاری قابل توجهی را که از ستون ها به آن ها وارد می شوند، متحمل شوند.

از مزایای این سیستم می توان به موارد زیر اشاره کرد [۱]:

- صرفه جویی در مصرف فولاد تا حدود ۵۰ درصد در مقایسه با سیستم های قاب خمشی؛
- سادگی سیستم فوق از نظر اجرایی و امکان ساخت آن در کارخانه و نصب در محل؛
- یکسان بودن دقت انجام کار با دقت سازه های فولادی و هم جنس بودن با قاب های فولادی؛
- شکل پذیری، مقاومت، سختی و جذب انرژی بالا؛
- امکان مقاوم سازی سازه های ضعیف و آسیب دیده و افزایش فضای مفید در طبقات ساختمانی؛

یکی از دلایلی که از این سیستم در ساختمان ها زیاد استفاده نمی شود این است که در این سیستم نیروی ورق به صورت گسترده به تیر و ستون اطرافش وارد می شود و در نتیجه لازم است که این المان ها مقاومت و سختی مورد نیاز را برای مهار این نیرو داشته باشند. در ساختمان های کوتاه تر این نیرو می تواند در طراحی المان های مرزی بسیار قابل توجه و تعیین کننده باشد، اما در ساختمان های بلند نقش کم رنگ تری خواهد داشت. مسئله ی دیگر این است که سیستم دیوار فولادی حتی زمانی که از ورق های نازک هم استفاده شود، دارای سختی بالایی است که این سختی می تواند بیش از سختی مورد نیاز در ساختمان های کوتاه باشد. به طور کلی سهم جذب نیروی جانبی دیوار برشی فولادی از طبقه ی یک تا تراز بالای دیوار کاهش و سهم قاب افزایش می یابد. در طبقات پایین به دلیل استفاده ی بهتر از ظرفیت میدان کشش قطری دیوار، سهم بیشتری از نیروی جانبی را تحمل می کند. در سازه با ارتفاع کم تر که نیروی جانبی کم تری را تحمل می کند، سهم جذب نیروی افقی دیوار نسبت به سازه ی بلندتر کم تر و سهم قاب بیشتر می باشد. بنابراین هرچه نیروی جانبی سازه بیشتر باشد، دیوار برشی فولادی عملکرد بهتر و اقتصادی تری از خود نشان می دهد [۲].

واگنر [۳]، اولین محقق بود که از میدان های کشش کامل و یکنواخت برای تعیین مقاومت پانل با جان بسیار نازک و بال صلب استفاده کرد و نتیجه گرفت که کمانش برشی یک صفحه ی آلومینیومی نازک که دارای تکیه گاه کافی در لبه هایش است، معادل شکست آن نیست.

توریورن و همکاران [۴]، یک روش تحلیل ساده را برای ارزیابی مقاومت برشی دیوارهای فولادی با ورق نازک تقویت نشده را توسعه داده و مدل نواری را برای نشان دادن عمل میدان کشش یک دیوار فولادی نازک تحت بارهای برشی را معرفی کردند. آن ها هم چنین روابطی برای تعیین زاویه ی میدان کشش پیشنهاد دادند و دقت آن را با چند آزمایش کنترل کردند.

تیمبر و کولاک [۵]، یک دیوار برشی بزرگ مقیاس را مطالعه کردند. حلقه‌های هیستریزیس به دست آمده از آزمایش جذب انرژی مناسبی حاصل شد. هم‌چنین مدل چند نواری استفاده شده برای پیش‌بینی نتایج، برای تعیین مقاومت نهایی دیوار و پوش پاسخ چرخه‌ای دقت مناسبی داشت.

صبوری قمی و رابرتز [۶]، مطالعه‌ای را بر روی ۱۶ پانل برشی سخت نشده که در وسط آن دارای سوراخ دایره‌ای بود، انجام دادند. همه‌ی پانل‌ها حلقه‌های هیستریزیس S شکل پایدار و هم‌چنین شکل‌پذیری مناسبی از خود نشان دادند و بر اساس نتایج بدست آمده، پیشنهاد دادند که مقاومت و سختی پانل‌های دارای گشودگی را می‌توان با ضریب مربوط به دیوار بدون گشودگی در ضریب $(1 - D/d)$ به دست آورد که در آن D قطر گشودگی و d عرض پانل است. از آن جایی که در این آزمایش گشودگی در وسط پانل و درست در میان میدان کشش قطری قرار می‌گرفت، انتظار می‌رود چنین تخمینی برای سایر محل‌های قرارگیری گشودگی محافظه کارانه باشد.

ناکاشیما [۷]، آزمایشاتی را در ارتباط با رفتار چرخه‌ای دیوار برشی از جنس فولاد با حد تسلیم پایین انجام دادند. عموماً نقطه‌ی تسلیم رایج فولاد با تسلیم پایین حدوداً نصف فولاد A36 و کرنش نهایی آن بیش از دو برابر فولاد A36 می‌باشد. از خصوصیات این فولاد قابلیت جذب انرژی بالای آن می‌باشد. آزمایشات نیز این مطلب را تایید می‌کنند که استفاده از فولاد با حد تسلیم پایین در دیوار برشی منجر به منحنی‌های هیستریزیس بسیار منظم و پایداری می‌گردد.

الغالی [۸]، رفتار دیوارهای فولادی با جوش و بولت را به صورت آزمایشگاهی بررسی کرده و یک مدل تحلیلی برای تعیین رفتار این دیوارها ارائه کرد. وی نشان داد که یک دیوار برشی با بولت، به واسطه‌ی لغزش و تغییر شکل‌های موضعی در اتصال می‌تواند سختی کم‌تری داشته باشد و تسلیم اولیه در بار کمتری اتفاق بیفتد. ستون‌های متصل به دیوار باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که پیش از رسیدن صفحه به تمام ظرفیتش و تسلیم میدان کشش قطری، تسلیم و یا کمانش نکند.

کوراتا و همکاران [۹]، دو نمونه دیوار برشی فولادی با و بدون مهاربند کششی با مقیاس ۱:۲ مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌ها به یک قاب موجود در آزمایشگاه اضافه شدند و هدف از آزمایش آن‌ها، مقاوم‌سازی یک سازه‌ی موجود نسبت به بار جانبی بوده است.

صبوری قمی و سجادی [۱۰]، رفتار دو دیوار برشی فولادی یک طبقه‌ی مشابه را هم با سخت کننده و بدون سخت کننده به صورت آزمایشگاهی و تئوری بررسی کردند. نتایج نشان داد که وجود سخت کننده‌ها باعث بهبود رفتار دیوارها می‌شوند و شاهد کاهش ۲۵ درصدی جابجایی تسلیم و هم‌چنین افزایش ۲۶ درصدی ظرفیت جذب انرژی و ۵۱ درصدی سختی برشی بودند، درحالی‌که اثر سخت کننده‌ها بر روی مقاومت برشی صفحه کم‌تر بود. هم‌چنین مشاهده شد که تئوری اندرکنش قاب و صفحه می‌تواند به خوبی رفتار دیوار را پیش‌بینی کند.

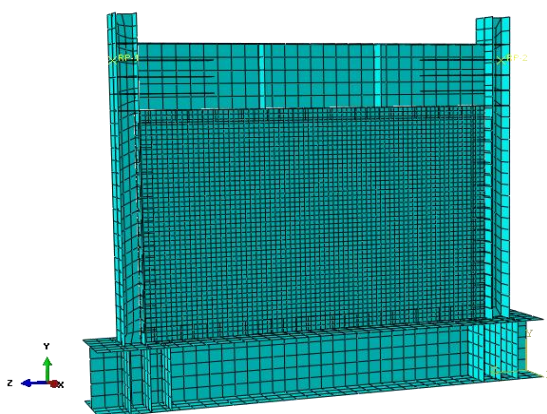
سیستم دیوار برشی فولادی به عنوان یکی از سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی در مناطق با پتانسیل بالای لرزه خیزی به ویژه در ساختمانهای بلند مورد استفاده طراحان سازه قرار گرفته است. یکی از عمده کاربردهای این سیستم دیوار برشی فولادی، استفاده آن در مقاوم سازی ساختمان های آسیب دیده است. برخی از ویژگی ها و مزایای استفاده از این نوع دیوارها می توان به مواردی از جمله: شکل پذیری بالا، قابلیت جذب انرژی زیاد، دارا بودن سختی قابل توجه برای کاهش دررفت در سازه ها اشاره نمود. دیوار برشی فولادی تقویت شده از سخت کننده های قائم، افقی و یا هر دو تشکیل شده است. راه حل موثر و عملی برای بهبود پایداری کمانشی و جلوگیری از کمانش الاستیک زودرس ورق فولادی افزایش ضخامت ورق و یا استفاده از سخت کننده های افقی و قائم برای ایجاد کمانش ورق های فولادی در زیر صفحات می باشد. تحقیقات آزمایشگاهی محدودی بر روی دیوارهای برشی فولادی تقویت شده دارای بازو صورت گرفته است که از مهمترین آنها می توان به آزمایشهای تاکاهاشی و صبوری و قمی اشاره کرد [۱۱].

تحقیقات آزمایشگاهی زیادی بر روی دیوارهای برشی فولادی بدون سخت کننده انجام گرفته است که از مهمترین آنها میتوان به آزمایش های آستانه اصل و ژائو [۱۲]، صبوری و قلهکی [۱۳]، ویان و برونو [۱۴]، چوی و پارک و علوی و ناطقی اشاره کرد. در این آزمایشها عمدتاً به بررسی رفتار المانهای دیوار برشی فولادی با ورق نازک پرداخته شده و در این بین با توجه به آزمایشهای تربرون و مونتگومری مدل تحلیلی میله ای و با توجه به آزمایشهای رابرتز و صبوری مدل تحلیلی اندرکنش قاب و ورق استخراج شده است [۱۵]. در این تحقیق به

بررسی میزان تاثیر ورق های اضافه شده به دیوار برشی فولادی در برابر بارهای لرزه ای پرداخته شده است لذا در ابتدا مدلی برای صحت سنجی نرم افزار در نظر گرفته می شود. در ادامه با استفاده از ابعاد مدل آزمایشگاهی صبوری قمی و سجادی به صحت سنجی مدل پرداخته شده است. مدل دیواربرشی بدون ورق تقویتی (PB) با مدل‌های دیگر مقایسه می شود. قاب در پای سازه در سه جهت اصلی مقید شده است که گوشه ی بالای قاب محل اعمال بار لرزه ای می باشد. پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق شامل: فاصله تسمه ضربدري از ورق دیوار برشی (d)، تعداد سخت کننده بین تسمه ضربدري و ورق دیوار برشی (N) می باشد. بارگذاری وارده به مدل بارهای تناوبی می باشد. هرچند تقریباً تمامی مدل‌های این تحقیق تحت بارگذاری مونوتونیک بررسی شده‌اند، ولی سعی شده است رفتار چرخه‌ای مدل‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته تا در نهایت بتوان جذب انرژی آن‌ها را نیز با یکدیگر مقایسه نمود.

۲- مشخصات مدل

در این تحقیق برای بررسی میزان تاثیر ورق های اضافه شده به دیوار برشی فولادی در برابر بارهای لرزه ای ابتدا مدلی برای صحت سنجی نرم افزار در نظر گرفته می شود. در مرحله بعدی با استفاده از ابعاد مدل آزمایشگاهی صبوری قمی و سجادی (۱۳۸۹) به صحت سنجی مدل پرداخته می شود. مدل دیواربرشی بدون ورق تقویتی (PB) با مدل‌های دیگر مقایسه می شود. ابعاد و مشخصات مدل آزمایشگاهی به صورت کامل و در قسمت صحت سنجی آمده است. قاب در پای سازه در سه جهت اصلی مقید شده است که گوشه ی بالایی قاب محل اعمال بار لرزه ای می باشد.



شکل ۱: مدل دیوار برشی فولادی در نرم افزار اباکوس

برای مدل سازی فولاد های بکار رفته در مدل عددی از المان shell استفاده شده است که ضخامت این المان در قسمت های مختلف مدل متفاوت است.

در شکل (۱) دیوار برشی فولادی شبیه سازی شده در نرم افزار اجزا محدود به همراه مش بندی نشان داده شده است.

در جدول ۱ مشخصات فولاد بکار رفته در مدل قاب با دیوار برشی نشان داده شده است. این مصالح برای اعضای تیر و ستون، دیوار برشی و سخت کننده ها متفاوت می باشد که تمامی اعضا به هم جوش شده اند.

جدول ۱: مشخصات فولاد های مصرفی در قاب با دیوار برشی [۱۰]

عضو	مقاومت تسلیم (MPa)	مقاومت نهایی (MPa)	مدول الاستیسیته (GPa)	نسبت پواسون
تیر و ستون	۴۱۴,۹	۵۵۱,۸	۲۱۰	۰,۳
دیوار برشی و ورق های ضربدری	۱۹۲,۴	۲۷۷۲,۲	۲۱۰	۰,۳
سخت کننده	۲۵۸,۳	۳۹۰,۴	۲۱۰	۰,۳

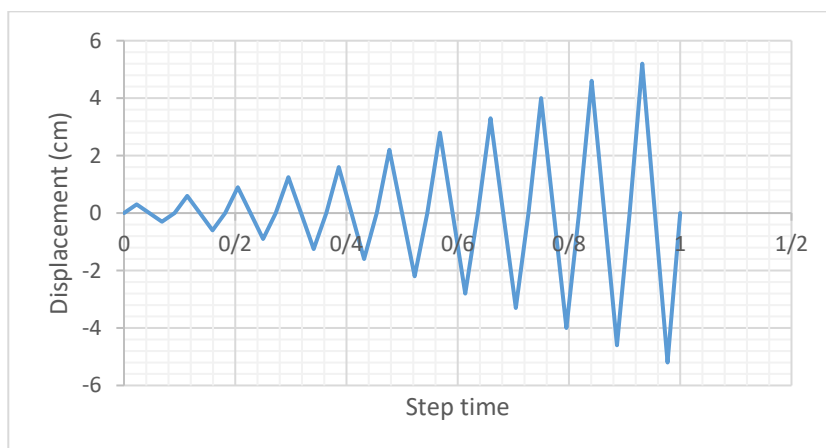
جدول (۲): شماره و مشخصات نمونه های مورد بررسی در نرم افزار و تحلیل پارامتریک نمونه ها

مدل	d (cm)	N
PB	-	-
PBd2.5n10	2.5	10
PBd7.5n10	7.5	10
PBd0n10	0	0
PBd5n5	5	5
PBd5n15	5	15

در جدول (۲) مدل های مورد بررسی در این پژوهش آورده شده است این نمونه ها برای بررسی نتایج حاصل از تغییر پارامترهای مسئله مورد بررسی می باشد. پارامترهای مورد نظر شامل: فاصله تسمه ضربدری از ورق دیوار برشی (d)، تعداد سخت کننده بین تسمه ضربدری و ورق دیوار برشی (N) می باشد. با توجه به نام گذاری مدل ها هر کدام از آن ها شامل تغییر در هر یک از پارامترها می باشد. نمونه اصلی به نام PB می باشد که مشخصات آن در ابتدای قسمت بعدی و در صحت سنجی مشخص شده است.

۳- بارگذاری

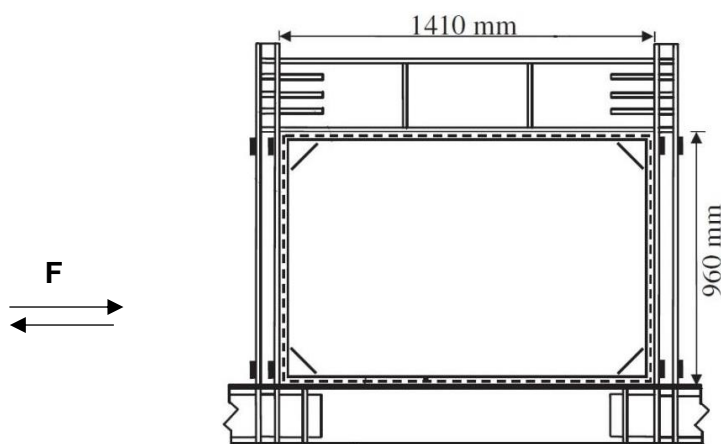
برای بارگذاری از بارهای تناوبی استفاده می شود. بر اساس آیین نامه ANSI/AISC 341-05 که برای به دست آمدن دررفت سازه ها ارائه شده است، استفاده می شود. بارهای دوره ای به گونه ای هستند که در مدت زمانی مشخص به سازه وارد می شوند. این بارها در دو جهت مثبت و منفی بر سازه وارد می شوند تا بتوان رفتار سازه را در هر دو جهت بررسی کرد. از جمله مهم ترین کاربردهای بارهای تناوبی بدست آوردن منحنی هیستریزس مصالح و اتصالات است. با توجه به این مشخصات می توان رفتار سازه و زمان وقوع شکست را مشخص کرد.



شکل ۲: سیکل بارگذاری به قاب [۱۶]

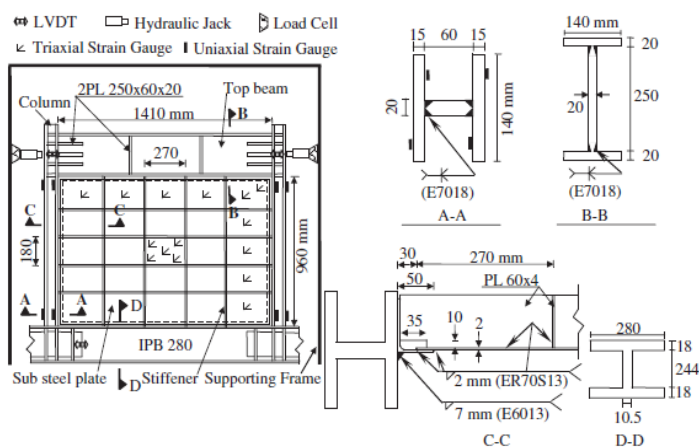
۴- صحت سنجی مدل

هرچند تقریباً تمامی مدل‌های این تحقیق تحت بارگذاری مونوتونیک بررسی شده‌اند، ولی سعی شد رفتار چرخه‌ای مدل‌ها هم بررسی شود تا در نهایت بتوان جذب انرژی آن‌ها را نیز مقایسه نمود. در ابتدا از نمونه‌ی صبوری قمی و سجادی که در سال ۸۹ در دانشگاه خواجه نصیر آزمایش شده است استفاده گردید که در شکل ۳ مدل شماتیک آن مشاهده می‌شود:

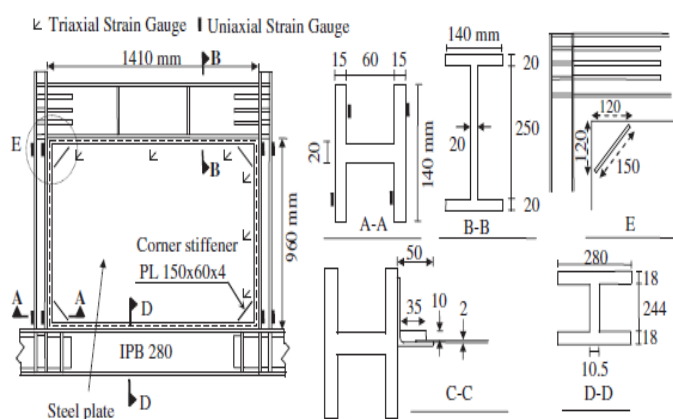


شکل (۳): ابعاد مدل آزمایشگاهی دیوار برشی فولادی [۱۰]

ابعاد ورق در این دیوار $۱۴۱ \times ۹۶ \times ۰/۲$ سانتی‌متر بوده و تحت بارگذاری جانبی چرخه‌ای بر روی تیر بالایی قرار گرفته است. (شکل ۳). برای قاب و ورق از دو نوع فولاد مختلف با تنش تسلیم ۴۱۴۹ و ۱۹۲۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع استفاده شده و اتصال ورق و قاب به کمک یک نبشی و به صورت جوش کامل است. در این آزمایش سه نوع قاب مورد بررسی قرار گرفت. قاب DS-SPSW که در شکل ۴ نشان داده شده است. مدل DS-PSW که همان مدل DS-SPSW می‌باشد ولی با این تفاوت که در ورق دیوار برشی از سخت کننده استفاده نشده است (شکل ۵) و مدل Frame که بدون دیوار برشی می‌باشد. بارگذاری بر اساس آیین نامه ATC-24 مانند شکل ۳ بر قاب وارد می‌شود. مشخصات مصالح مصرفی در جدول (۱) آمده است.

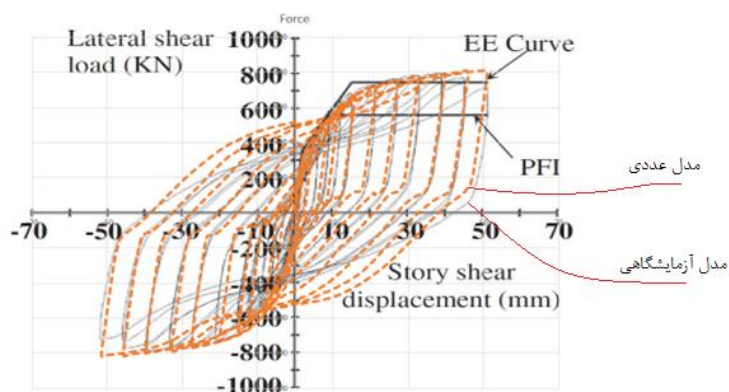


شکل (۴): مشخصات مدل DS-SPSW آزمایشگاهی [۱۰]



شکل (۵): مشخصات مدل DS-PSW آزمایشگاهی [۱۰]

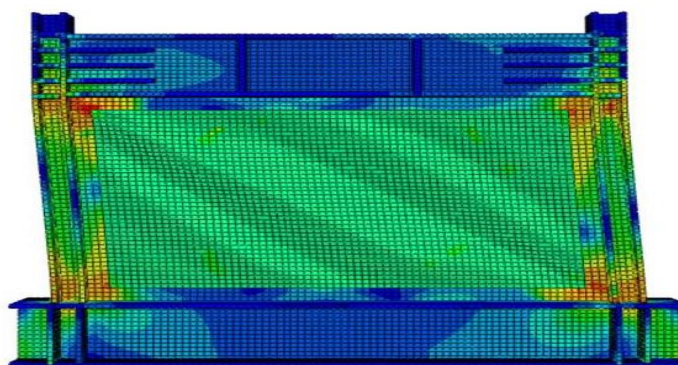
در شکل زیر منحنی نیرو - تغییر مکان این دیوار با نمونه‌ی ساخته شده در نرم افزار مقایسه شده است:



شکل (۶): مقایسه نتایج آزمایشگاهی عددی در نرم افزار آباکوس برای مدل DS-PSW [۱۰]



شکل (۷): نتایج آزمایش نیروهای جانبی بر روی نمونه آزمایشگاهی [۱۰]



شکل (۸): مدل عددی دیوار برشی فولادی در نرم افزار آباکوس همراه با مش بندی و کانتورهای تنش

همان طور که می بینیم سختی دیوار و پوش منحنی ها در نمونه های آزمایشگاهی و عددی یکسان است ولی پینچینگ مدل عددی کم تر از نمونه های آزمایشگاهی است. در جدول ۳ برای نتایج مقاومت، سختی برشی و انرژی جذب شده در قاب بین مدل های آزمایشگاهی و عددی مقایسه ای صورت گرفته و اختلاف این مدل ها نشان داده شده است.

جدول ۳: مقایسه نتایج آزمایشگاهی و مدل آباکوس [۱۰]

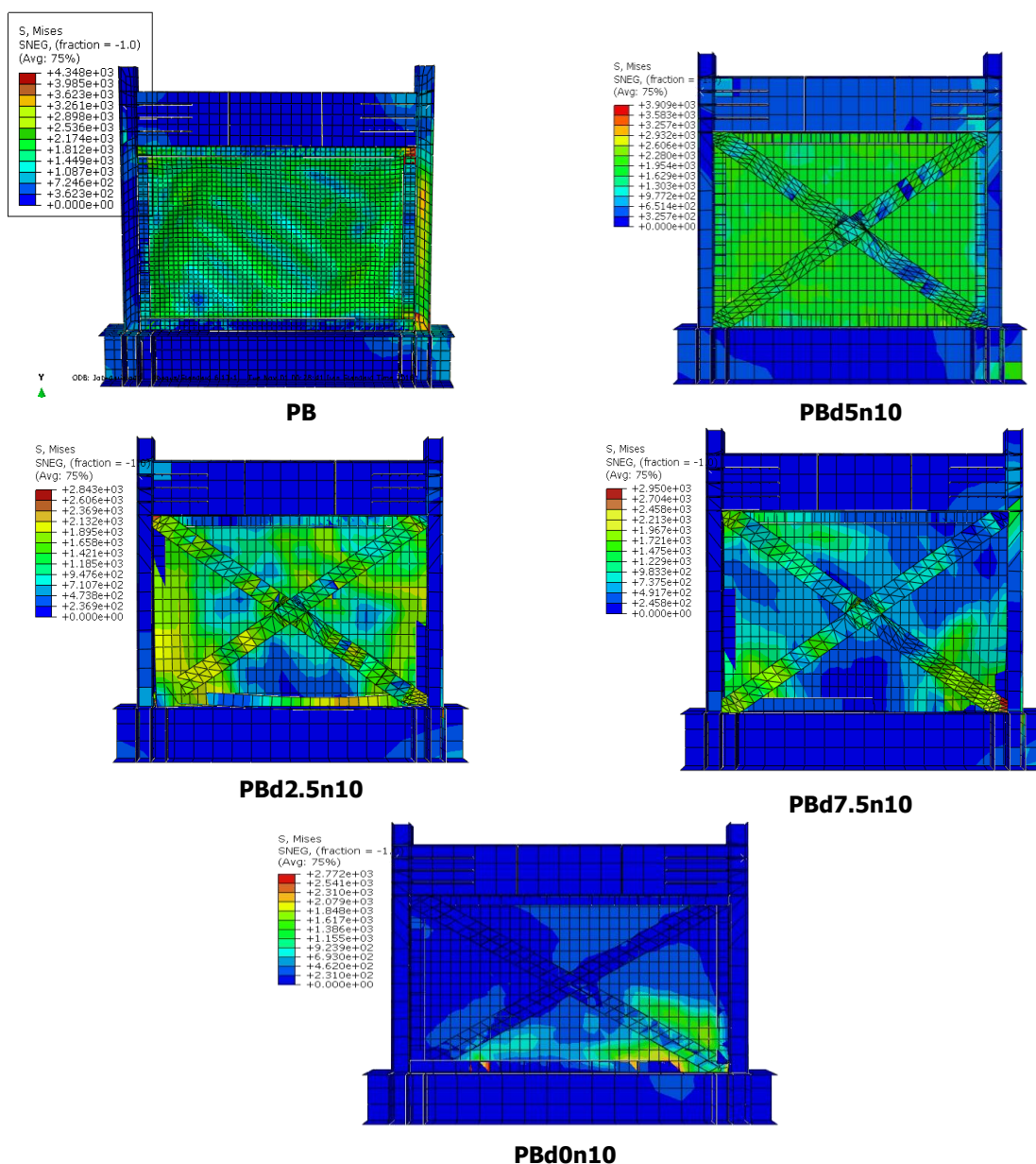
مدل	سختی برشی Ku (KN/m)	مقاومت برشی Fpu (kN)	تغییر مکان برشی (mm)	انرژی انرژ (kN.m)
DS-SPSW-0%:PFI	260385.4	616.65	59.8	0
DS-SPSW-0%:EE	252228.9	791.54	59.8	87.82
DS-PSW-0%:PFI	181298.8	574.68	49.8	0
DS-PSW-0%:EE	175762.4	769.54	49.8	61.77
DS-PSW (Abaqus)	196095	803.054	51.47855	65.20
(DS-PSW (Abaqus)/DS-PSW-0%:EE)	1.1157	1.0436	1.0337	1.0556
%(DS-PSW (Abaqus)/DS-PSW-%:EE)	11.57	4.36	3.37	5.56

با توجه به نتایج حاصل برای مدل DS-PSW اختلاف مقاومت برشی، سختی برشی، تغییرمکان برشی و اتلاف انرژی در قاب بین مدل آباکوس و آزمایشگاهی به ترتیب ۴،۳۶، ۱۱،۵۷ و ۳،۳۷ و ۵،۵۶ درصد می باشد که در حد قابل قبولی برای شبیه سازی عددی می باشد.

۵- خروجی های حاصل از تحلیل

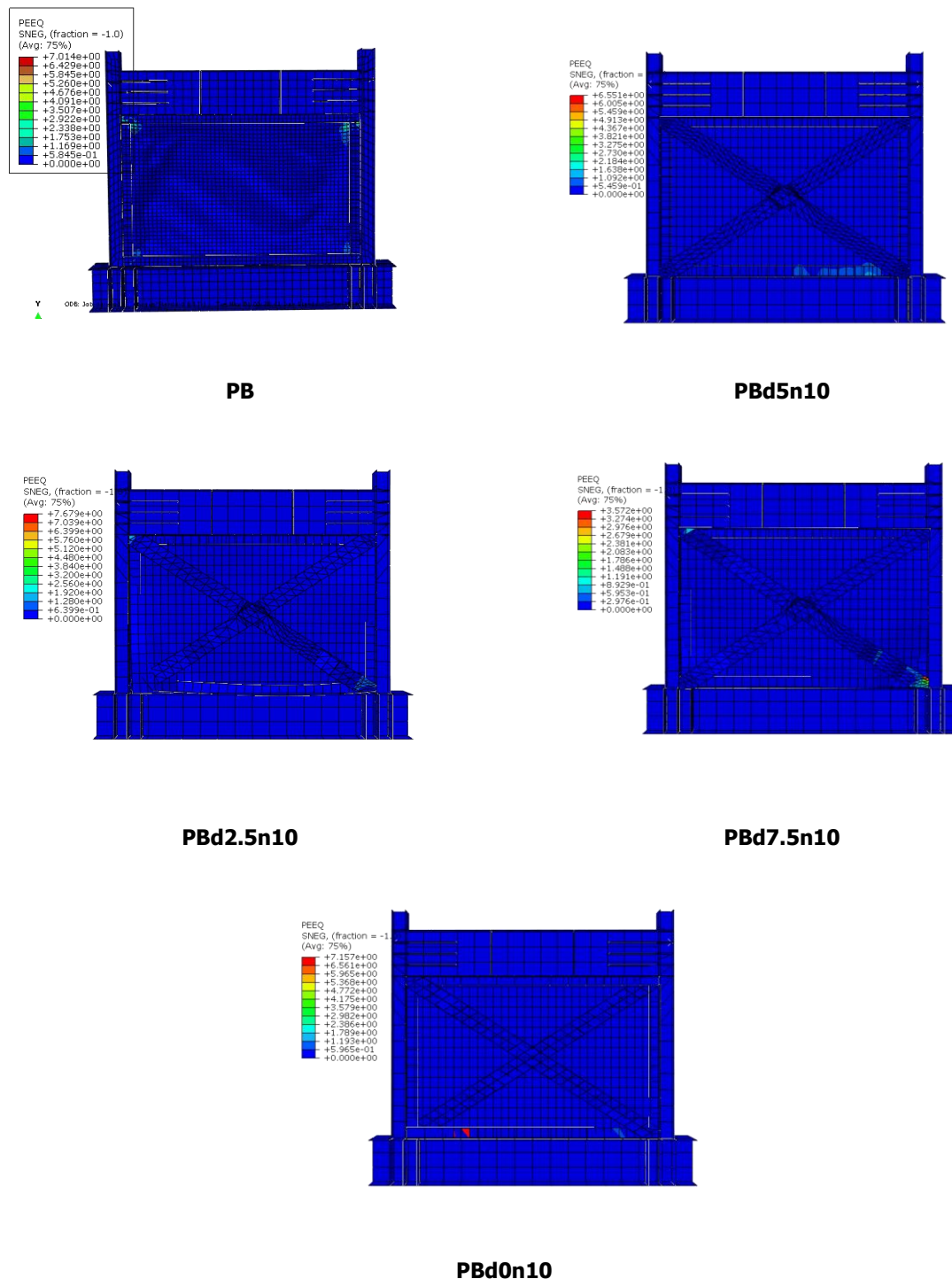
۵-۱- نتایج تغییرات فاصله ورق ضربه‌ری از دیوار

یکی از عوامل مهم در تغییرات پارامترهای ورق ضربه‌ری فاصله تا دیوار فولادی می باشد. در این قسمت با تغییرات فاصله ورق ضربه‌ری با اندازه های ۲،۵، ۵ و ۷،۵ سانتی متر و همچنین چسباندن ورق های ضربه‌ری به ورق دیواربرشی، بررسی هایی برای رفتار قاب صورت گرفته شده است و نتایج با مدل بدون ورق ضربه‌ری مقایسه شده است. مقایسه های صورت گرفته با مدل های PB و PT می باشد. در ادامه به بررسی کانتور تنش های مایزس، کرنش های پلاستیک و کانتورهای کماتش در مدل ها پرداخته می شود



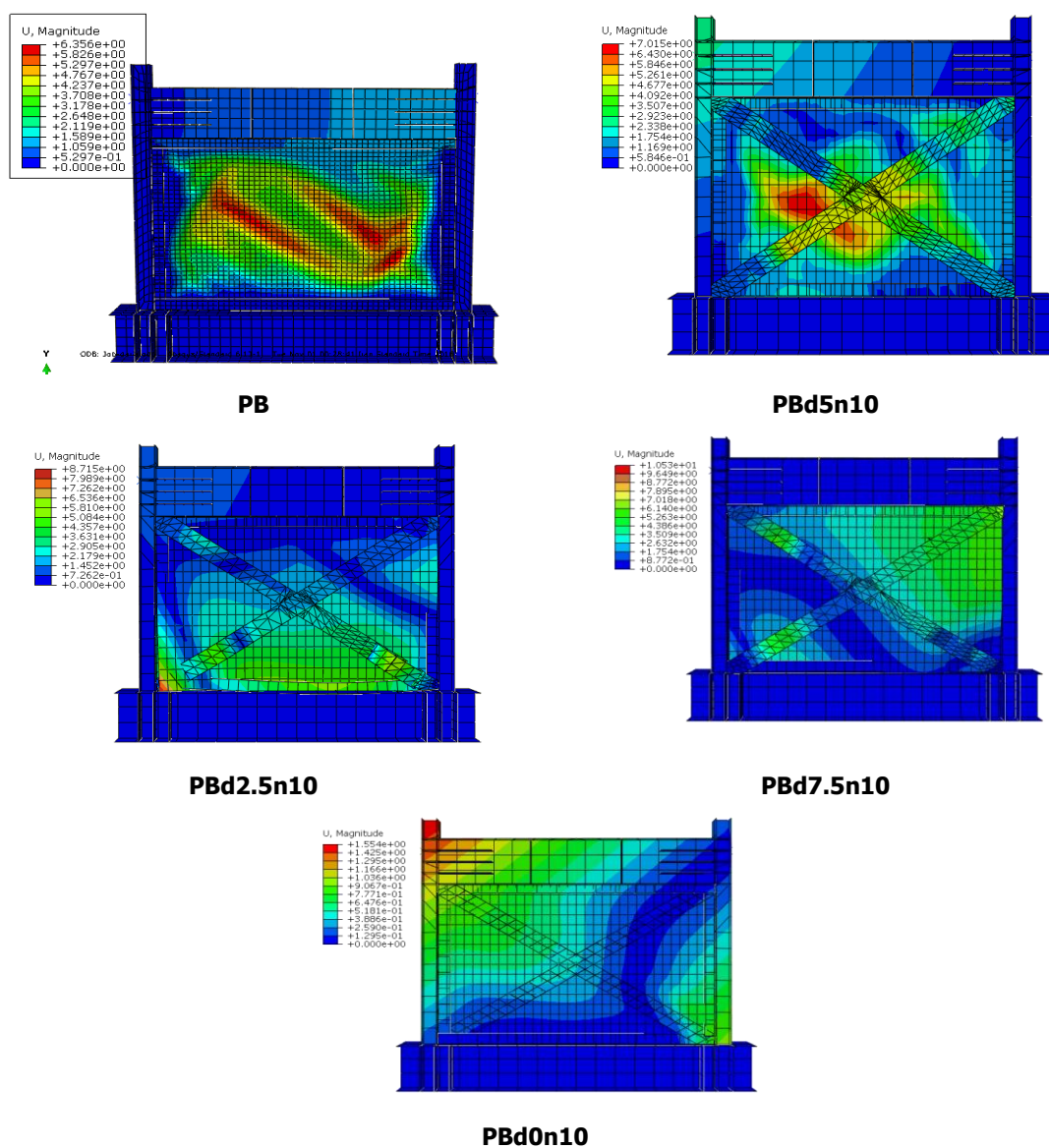
شکل (۹): کانتور تنش های موجود در مدل های پارامتریک در اثر تغییر فاصله ورق

در شکل ۹ می توان توزیع تنش در مدل های مختلف را مورد بررسی قرار داد. مشاهده می شود که با افزایش فاصله به تدریج کانتور تنش ها کم رنگ تر شده و توزیع تنش در ورق کاهش می یابد.



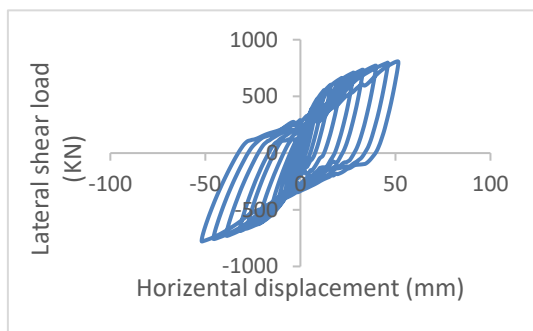
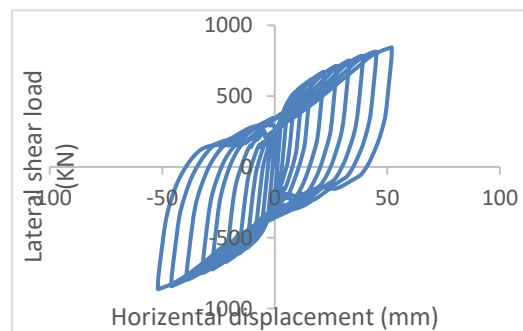
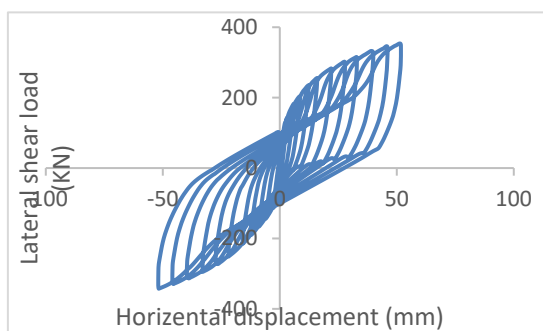
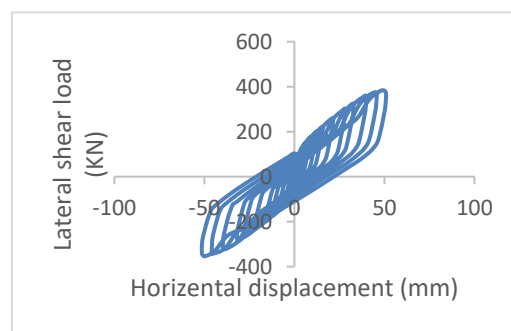
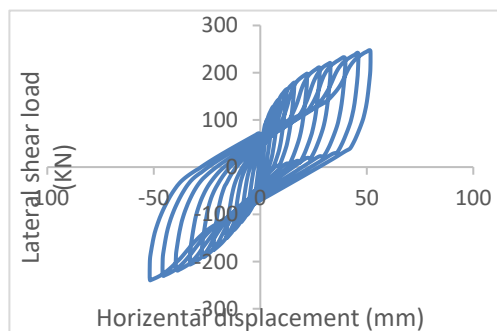
شکل (۱۰): کانتور کرنش پلاستیک تشکیل شده در مدل های پارامتریک در اثر تغییر فاصله ورق

در شکل ۱۰ کرنش پلاستیک در گوشه های ورق دیوار برشی اتفاق می افتد که این امر با افزایش فاصله ورق ناحیه بیشتری به خود در گوشه دیوار می گیرد.



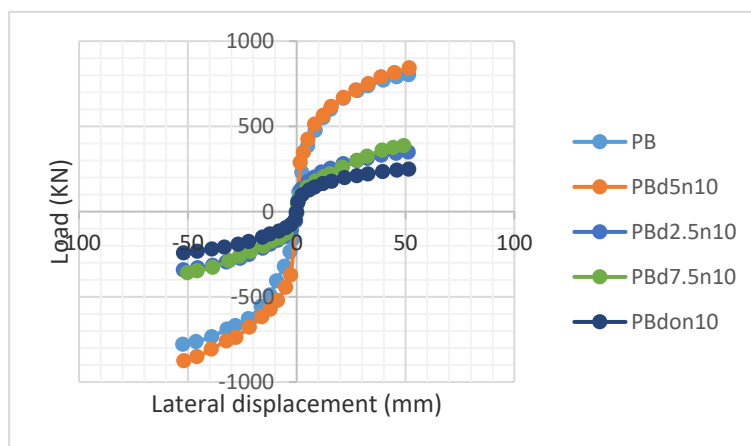
شکل (۱۱): کانتور جابجایی کلی و کمانش ورق مدل های پارامتریک در اثر تغییر فاصله ورق

با توجه به شکل (۱۱) با افزایش فاصله امکان کمانش در ورق کمتر شده و کانتورهای جابجایی کم رنگ تر می باشند و این به دلیل افزایش ممان اینرسی مقطع دیوار برشی فولادی می باشد. برای بررسی بارهای رفت و برگشتی و میزان برش ایجاد شده در قاب شکلهای هیستریزس از جمله مهم ترین خروجی هایی می توانند باشند که رفتار قاب را به درستی نشان می دهند.

**PB****PBd5n10****PBd2.5n10****PBd7.5n10****PBd0n10**

شکل (۱۲): شکل هیستریزیس بار-جابجایی برای مدل‌های مختلف تحت تغییر پارامتر فاصله ورق ضربدری

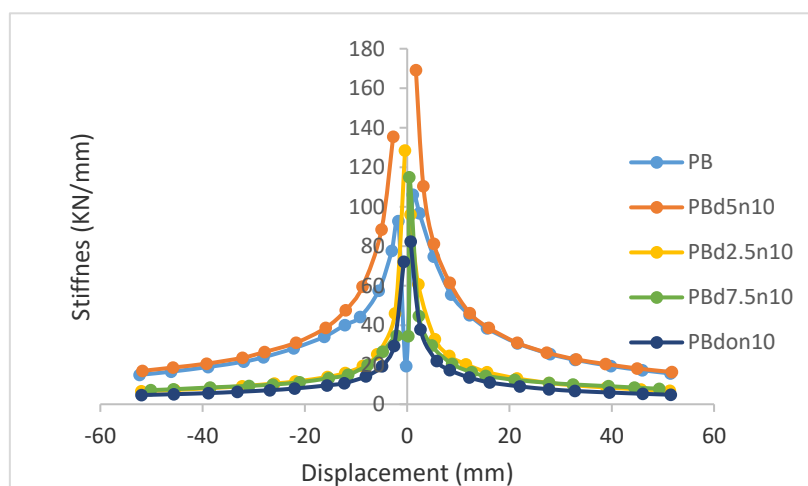
در شکل ۱۲ برای مدل‌های مختلف تحت تغییرات فاصله ورق ضربدری تقویتی ورق فولادی دیوار برشی، شکل هیستریزیس بار جابجایی نشان داده شده است. با استفاده از شکل هیستریزیس می‌توان شکل پوش آور مدل‌های مختلف را رسم نمود که در شکل ۱۳ برای مدل‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱۳: شکل پوش بار جابجایی برای پارامترهای تغییر فاصله ورق ضربدری دیوار برشی فولادی

با افزایش و کاهش فاصله ورق ضربدری از دیوار فولادی برشی مشاهده می‌شود که در هر دو حالت مقاومت نهایی قاب کاهش می‌یابد. در نتیجه بهترین فاصله برای ورق‌های ضربدری همان هم سطح با لبه‌ی تیرهای قاب می‌باشد که برابر ۵ سانتی‌متر است زیرا که در این حالت اتصال ورق ضربدری به قاب محکم‌تر شده و عملکرد بهتری خواهد داشت.

در شکل ۱۴ شکل زوال سختی قاب در طول بارگذاری نشان داده شده است. این میزان سختی با تقسیم نمودن برش پایه بر جابجایی بدست می‌آید.

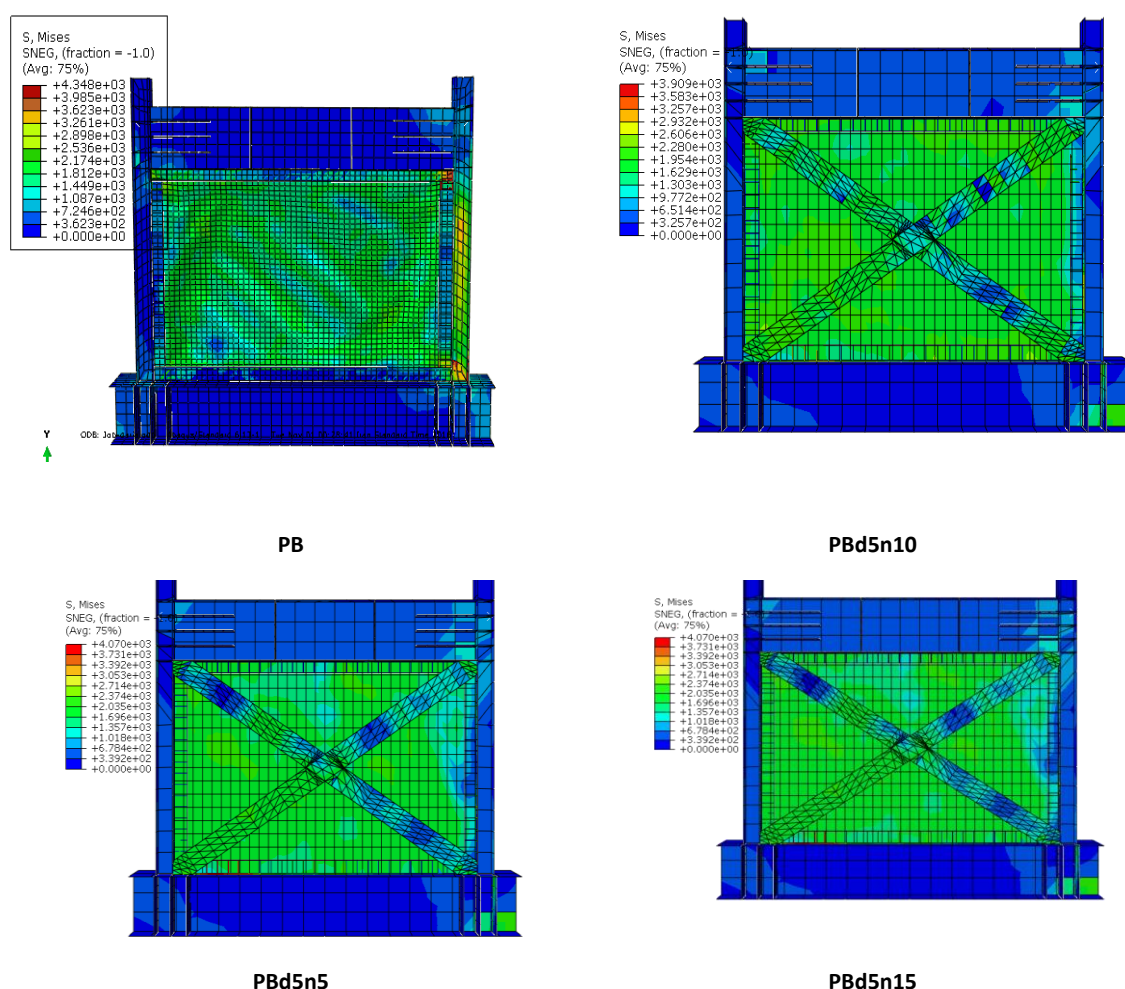


شکل ۱۴: شکل زوال سختی مدل‌های تغییر فاصله ورق فولادی ضربدری در طول بارگذاری

با توجه به شکل ۱۴ با افزایش و کاهش فاصله ورق ضربدری از دیوار فولادی برشی ضربدری، سختی قاب کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله، افزایش طول نسبت به ضخامت، لاغری افزایش یافته که باعث کاهش مقاومت و سختی و افزایش کمانش می‌شود همچنین کاهش فاصله، سبب کاهش صلیبیت در نتیجه کاهش مقاومت و سختی و افزایش کمانش می‌شود.

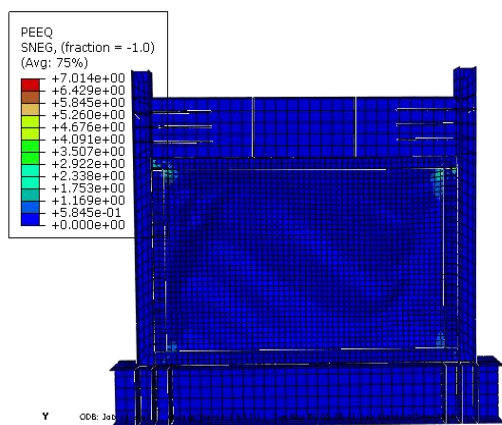
۱-۵- نتایج تغییرات تعداد سخت کننده ها بین ورق های ضربدری و دیوار فولادی

یکی از عوامل مهم در تغییرات پارامترهای ورق ضربدری تعداد سخت کننده و نقاط اتصال ورق ضربدری به دیوار برشی می‌باشد. در این قسمت با تغییرات تعداد سخت کننده های ورق ضربدری با تعداد ۵، ۱۰ و ۱۵ عدد بررسی هایی برای رفتار قاب صورت گرفته شده است و نتایج با مدل بدون ورق ضربدری مقایسه شده است. در ادامه به بررسی کانتور تنش های مایزس، کرنش های پلاستیک و کانتورهای کمانش در مدل ها پرداخته می‌شود.

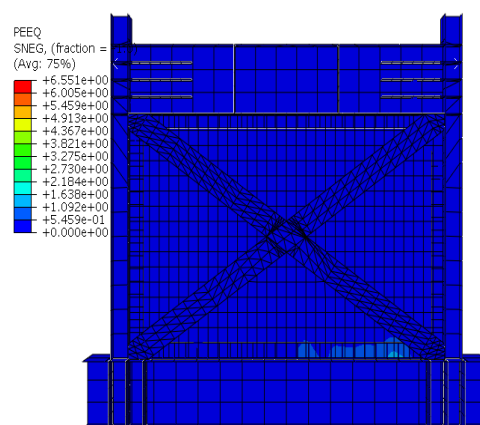


شکل ۱۵: کانتور تنش های موجود در مدل های پارامتریک در اثر تغییر تعداد سخت کننده ورق

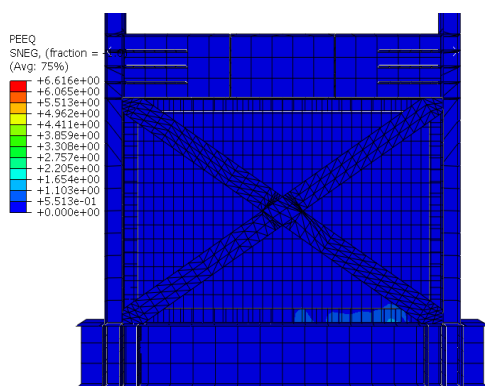
در شکل ۱۵ می‌توان توزیع تنش در مدل های مختلف را مورد بررسی قرار داد. مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد سخت کننده به تدریج کانتور تنش ها کمرنگ تر شده و توزیع تنش در ورق کاهش می‌یابد.



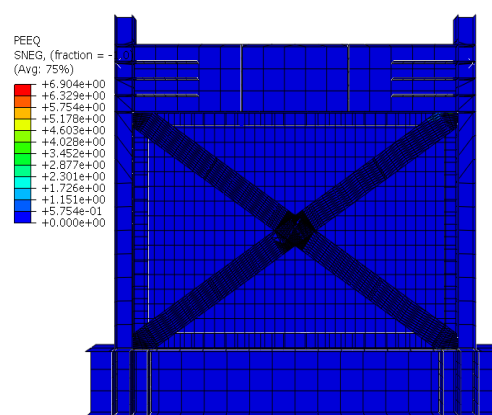
PB



PBd5n10



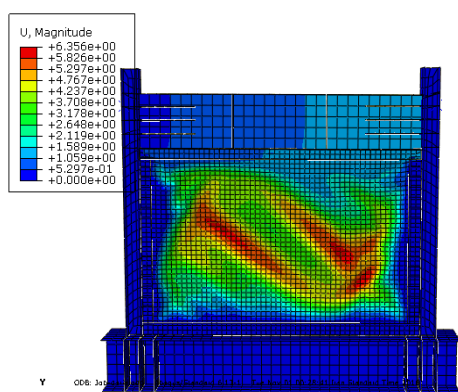
PBd5n5



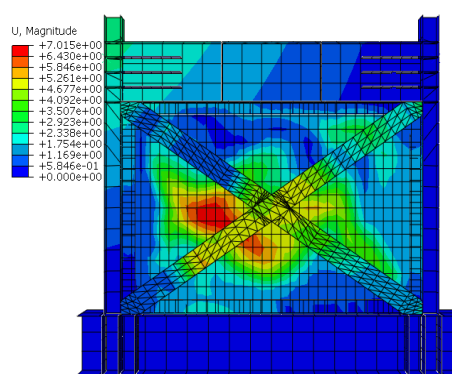
PBd5n15

شکل ۱۶: کانتور کرنش پلاستیک تشکیل شده در مدل های پارامتریک در اثر تغییر تعداد سخت کننده ورق

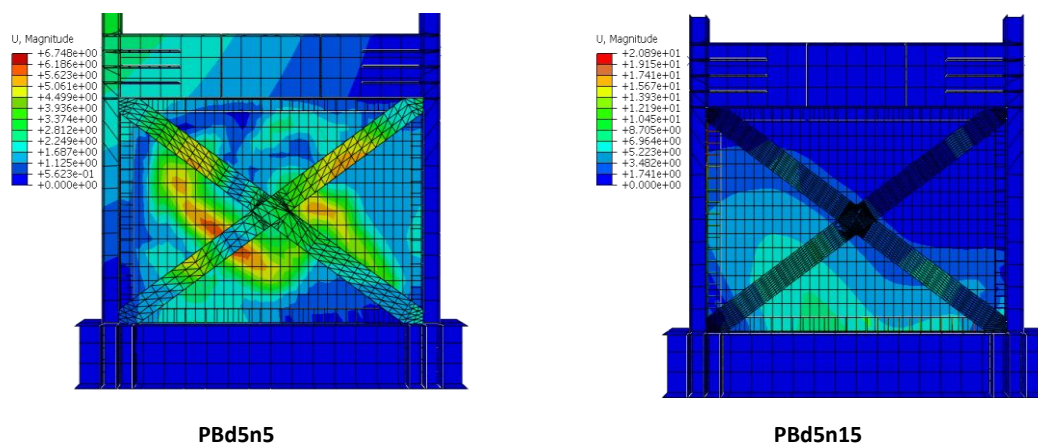
در شکل ۱۶ کرنش پلاستیک در گوشه های ورق دیوار برشی اتفاق می افتد که این امر با افزایش تعداد سخت کننده ورق ناحیه کمتری به خود در گوشه دیوار می گیرد.



PB



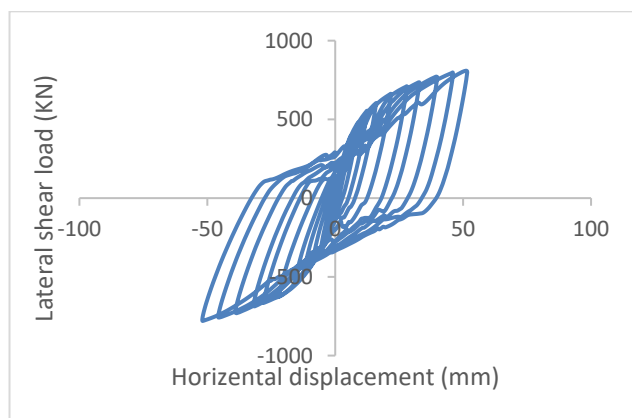
PBd5n10



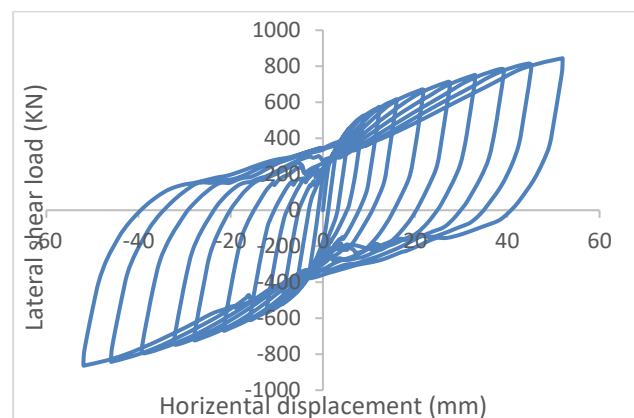
شکل ۱۷: کانتور جابجایی کلی و کمانش ورق مدل های پارامتریک در اثر تغییر تعداد سخت کننده ورق

با توجه به شکل ۱۷ با افزایش تعداد سخت کننده امکان کمانش در ورق کمتر شده و کانتورهای جابجایی کم رنگ تر می باشند و این به دلیل افزایش سختی دیوار برشی فولادی می باشد.

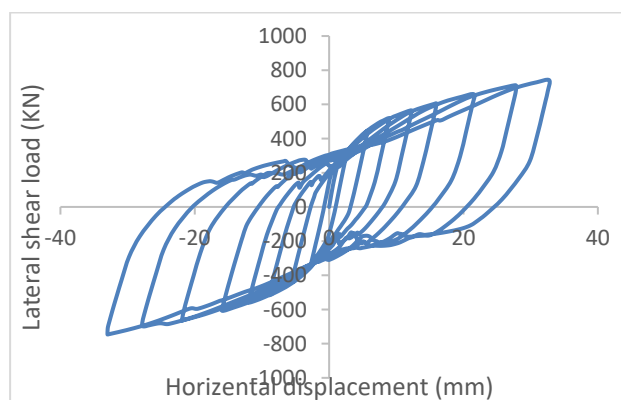
برای بررسی بارهای رفت و برگشتی و میزان برش ایجاد شده در قاب شکل‌های هیستریزس از جمله مهم ترین خروجی هایی می توانند باشند که رفتار قاب را به درستی نشان می دهند.



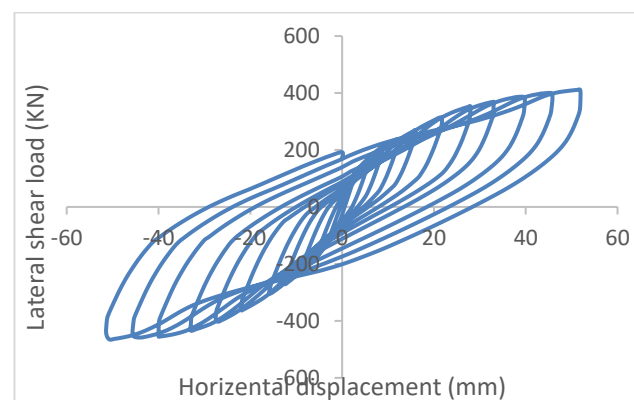
PB



PBd5n10



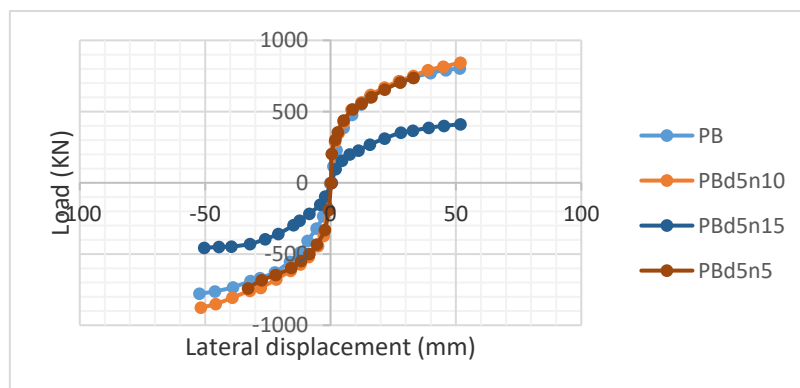
PBd5n5



PBd5n15

شکل ۱۸: هیستریزس بار-جابجایی برای مدل های مختلف تحت تغییر پارامتر تعداد سخت کننده ورق ضربدری

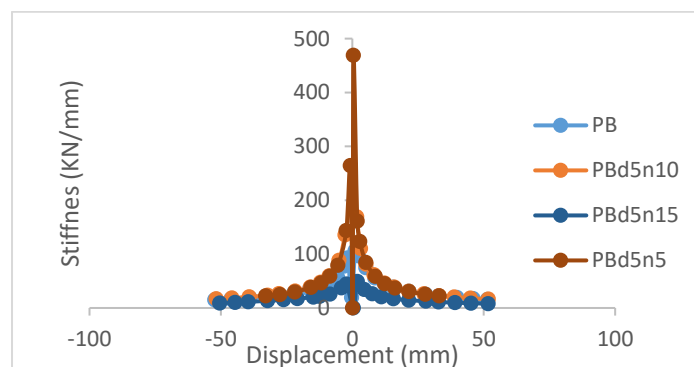
در شکل ۱۸ برای مدل های مختلف تحت تغییرات تعداد سخت کننده ورق ضربدری تقویتی ورق فولادی دیوار برشی، شکل هیستریزس بار جابجایی نشان داده شده است. با استفاده از شکل هیستریزس می توان شکل پوش آور مدل های مختلف را رسم نمود که در شکل ۱۹ برای مدل های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱۹: پوش بار جابجایی برای پارامترهای تغییر تعداد سخت کننده ورق ضربدری دیوار برشی فولادی

با افزایش و کاهش تعداد سخت کننده ورق ضربدری از دیوار فولادی برشی مشاهده می شود که در هر دو حالت مقاومت نهایی قاب کاهش می یابد. ولی این میزان در کاهش برای مدل PBd5n15 بیشتر است، افزایش سخت کننده از یک حدی که بیشتر شود، سبب افزایش تنش برشی بحرانی و کاهش مقاومت می شود.

در شکل ۲۰ شکل زوال سختی قاب در طول بارگذاری نشان داده شده است. این میزان سختی با تقسیم نمودن برش پایه بر جابجایی بدست می آید.



شکل ۲۰: زوال سختی مدل های تغییرات تعداد سخت کننده ورق فولادی ضربدری در طول بارگذاری

با توجه به نمودار ۲۰ با افزایش تعداد سخت کننده ورق های ضربدری، سختی قاب کاهش می یابد ولی با تعداد سخت کننده کمتر این میزان افزایش می یابد. زمانیکه تعداد سخت کننده از یک حدی بیشتر شود ضریب لاغری ورق ضربدری افزایش می یابد و در نتیجه صلبیت و سختی قاب کاهش میابد، و کماتنش افزایش مییابد. از آنجایی که بارهای رفت و برگشتی را به صورت جابجایی وارد می کنیم در نتیجه زمانی که به مقدار کمی جابجایی در ورق ایجاد می شود، ورق دیوار برشی سریع گسیخته میشود این امر بر روی شکل پذیری نیز تاثیر گذاشته و باعث میشود شکل پذیری با سخت کننده های بیشتر نیز کمتر شود و این امر باعث سخت کننده کمتر نیز بر عکس می باشد. از آنجایی که بارهای رفت و برگشتی را بصورت جابجایی وارد می کنیم در نتیجه زمانی که به مقدار کمی جابجایی در ورق ایجاد میشود ورق دیوار برشی سریع گسیخته میشود این امر بر روی شکل پذیری نیز تاثیر گذاشته و باعث میشود شکل پذیری با سخت کننده های بیشتر نیز کمتر می شود و این امر باعث سخت کننده های کمتر نیز نتیجه ای بر عکس خواهد داشت.

۵- نتیجه گیری:

در این تحقیق مدل دیواربرشی بدون ورق ضربدری براساس ابعاد مدل آزمایشگاهی صوری قمی و سجادی مدلسازی گردید، سپس مدل دیواربرشی فولادی با ورق ضربدری که فاصله ورق ضربدری از دیواربرشی ۵ سانتی متر و تعداد سخت کننده آن ۱۰ بوده است مدلسازی گردید. با بررسی تغییر پارامترهای فاصله و تعداد سخت کننده ورق ضربدری، نتایج ذیل حاصل گردید.

- با توجه به نتایج حاصل برای مدل DS-PSW اختلاف مقاومت برشی، سختی برشی، تغییر مکان برشی و اتلاف انرژی در قاب بین مدل آباکوس و آزمایشگاهی به ترتیب ۴،۳۶، ۱۱،۵۷ و ۳،۳۷ و ۵،۵۶ درصد می باشد که در حد قابل قبولی برای شبیه سازی عددی می باشد که بیانگر انطباق نتایج این تحقیق با مدل آزمایشگاهی می باشد.
- با تغییرات فاصله ورق های ضربدری نسبت به دیوار برشی مشاهده میشود که میزان سختی در مدل ها کاهش می یابد. این به این دلیل است که در تغییرات ارتفاع و فاصله این ورق نسبت به صفحه ورق فولادی دیوار برشی، میزان چسبندگی به دیوار و اجزا قاب کم شده در نتیجه میزان تاثیر گذاری ورق های ضربدری کاهش می یابد.
- با توجه به نتایج، مناسب ترین و بهینه ترین فاصله ورق های تقویتی برای دیوار برشی برابر و هم سطح با لبه خارجی تیر قاب نگه دارنده دیوار برشی فولادی می باشد. تغییرات تعداد سخت کننده ها بین ورق ضربدری و ورق دیوار برشی فولادی نتایج جالبی از کاهش سختی در مواقعی که این تعداد سخت کننده افزایش می یابند را نشان می دهد، زمانیکه تعداد سخت کننده از یک حدی بیشتر شود ضریب لاغری ورق ضربدری افزایش مییابد و در نتیجه صلبیت و سختی قاب کاهش مییابد، و کماتش افزایش مییابد. هم چنین جابجایی تسلیم و نهایی افزایش می یابد که این دلیل کاهش سختی است.
- با افزایش ۱،۵ برابر تعداد سخت کننده ها، سختی ۷۱٪ کاهش یافته است. با کاهش ۵۰٪ تعداد سخت کننده ها، مقاومت برشی ۱۳٪ کاهش و با افزایش ۱،۵ برابر تعداد سخت کننده ها مقاومت ۵۱٪ کاهش یافته است. همچنین با کاهش ۵۰٪ فاصله سخت کننده ها، مقاومت برشی نیز ۵۹٪ کاهش یافته است.

مراجع:

- [1] Caccese, V., Elgaaly, M. (1993). " *Experimental Study of Thin Steel-Plate Shear Walls under Cyclic Load*". Journal of Structural Engineering. 119(2), p. 573-587.
- [2] Choi, I., and Park, H. (2008). " *Cyclic test for framed steel plate walls with various infill plate details*". The 14th World Conference on Earthquake Engineering, China.
- [3] Wagner, H. (1931). " *Flat sheet metal girders with very thin webs, Part I-General theories and assumptions*". National Advisory Committee for Aeronautics, Technical Memo.
- [4] Thorburn, L.J., Kulak, G.L., Montgomery, C. (1983). " *Analysis of steel plate shear walls*". Structural Engineering Report No. 107, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada.
- [5] Timler, P.A., & Kulak, G.L. (1983). " *Experimental Study of Steel Plate Shear Walls*". Structural Engineering Report No. 114, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, AB.
- [6] Sabouri-Ghomi, S., Roberts, T. (1992). " *Nonlinear dynamic analysis of steel plate shear walls including shear and bending deformations*". Engineering Structures. 14(5), p. 309-317.

- [7] Nakashima, M.(1995). " *Strain-hardening behavior of shear panels made of low-yield steel. I: Test*". Journal of Structural Engineering. 121(12), p. 1742-1749.
- [8] Elgaaly, M.(1998). " *Thin steel plate shear walls behavior and analysis*"., Thin-Walled Structures. 32(1), p. 151-180.
- [9] Kurata, M., Leon, R. T., DesRoches, R., & Nakashima, M. (2010). " *Steel plate shear wall with tension-bracing for seismic rehabilitation of steel frames*". Journal of Constructional Steel Research, 71, 92-103.
- [10] Sabouri-Ghomi, S., Sajjadi, S.R.A.(2012). " *Experimental and theoretical studies of steel shear walls with and without stiffeners*". Journal of Constructional Steel Research. 75,p. 152-159.
- [11] Sabouri-Ghomi, S., Kharrazi, MHK., Mam-Azizi, S. and Asad Sajjadi, R.(2008). " *Buckling behavior improvement of steel plate shear wall systems*". The structural design of tall and special buildings,17(4):823-37.
- [12] Astaneh-Asl, A. and Zhao, Q. (2000). " *Cyclic tests of steel plate shear walls*". Research Report to Sponsor, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California at Berkeley.
- [13] Sabouri-Ghomi, S. and Gholhaki, M.(2008). " *Ductility of thin steel plate shear walls*". Asian Journal Civil Engineering (BHRC), 9(2), 153-166.
- [14] D. Vian and M. Bruneau. (2004). " *Testing of special LYS steel plate shear walls*". Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 978. Vancouver, Canada: Canadian Association for Earthquake Engineering.
- [15] Alavi E, Nateghi F.(2013). " *Experimental study on diagonally stiffened steel plate shear walls with central perforation*". Journal of Constructional Steel Research 89:9–20.
- [16] American Institute of Steel Construction (AISC) (2005). " *Seismic provisions for structural steel buildings*". (ANSI/AISC 341-05). Chicago, IL., USA.