

چکیده

ورق در دیوارهای برشی فولادی دارای توانایی بالایی در جذب انرژی زلزله است. مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که علت خرابی و ضعف تعدادی از این نوع دیوارها، زیپ‌شدگی ورق از گوشه و لبه‌ی ورق واسط می‌باشد. برای جلوگیری از زیپ‌شدگی در این تحقیق، از چهار سخت‌کننده در گوشه‌های ورق فولادی استفاده شده است. با نرم‌افزار ANSYS 15.0، مدل دیوار برشی فولادی مستطیل شکل و ۲۴ مدل دیوار برشی فولادی مربع شکل به صورت قاب یک طبقه‌ی یک دهانه، مدل‌سازی شده است. تمام نمونه‌ها تحت دررفت ۱۵ درصد قرار دارد، که به صورت تدریجی به نمونه‌ها اعمال می‌شود. در این تحقیق برای طراحی پانل برشی از تئوری اندرکنش ورق و قاب استفاده شده است. شکل سخت‌کننده‌ها، مستطیل شکل می‌باشد. ضخامت دیوارهای برشی فولادی شامل ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۷ و ۰/۰۱ متر می‌باشد. برای پیدا کردن ابعاد بهینه‌ی ارتفاع و ضخامت سخت‌کننده‌ها، ۵۵۷ بار سعی و خطا در نرم‌افزار انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد با قرار دادن سخت‌کننده‌های یاد شده می‌توان از زیپ‌شدگی ورق جلوگیری کرد. با توجه به مقادیر تنش فون میسز در دیوار برشی فولادی مستطیل شکل و مربع شکل، بهینه‌ترین حالت برای طول سخت‌کننده به ترتیب ۸/۵ درصد و ۶ درصد طول ورق فولادی می‌باشد که به‌طور میانگین می‌توان طول سخت‌کننده را ۷ درصد طول ورق فولادی در نظر گرفت. در این تحقیق ابعاد سخت‌کننده‌ها در دیوار برشی فولادی مربع شکل کمتر از مستطیل شکل به دست آمده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد با افزایش ضخامت ورق فولادی، به دلیل بزرگ شدن ابعاد سخت‌کننده‌ها تنش فون میسز در گوشه‌های ورق کاهش می‌یابد. در دیوار برشی فولادی مربع شکل موج‌ها به صورت قطری ایجاد می‌شوند که حالت بحرانی‌تری نسبت به دیوار برشی فولادی مستطیل شکل است.

کلمات کلیدی: دیوار برشی فولادی^۱، سخت‌کننده^۲، میدان پس‌کمانش^۳،

زیپ‌شدگی^۴

مطالعه‌ی پدیده‌ی زیپ‌شدن ورق در تغییر شکل‌های بزرگ پانل‌های برشی فولادی مستطیل و مربع شکل

ملیکا پیروان

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران زلزله، مؤسسه‌ی آموزش عالی

صدرالمتألهین (صدرا)

سعید صبوری (نویسنده مسئول)

استاد دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و

مؤسسه‌ی آموزش عالی صدرالمتألهین (صدرا)،

sabouri@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

ناحیه‌ی پس‌کمانش شده سپس وارد ناحیه پلاستیک می‌شود. در ناحیه‌ی پس‌کمانش موج‌هایی در ورق پدیدار می‌شود که از هر یک از گوشه‌های ورق، موجی می‌گذرد. موج‌های ایجاد شده در ورق دارای خمیدگی بالایی در گوشه‌ها می‌باشد. شکست گوشه‌ی ورق واسط، خمیدگی شدید موج ورق در گوشه و نیز خستگی ورق به علت بارگذاری دوره‌ای باعث ضعف زیادی در گوشه‌ها

دیوارهای برشی فولادی، سازه‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی هستند. این سیستم مقاوم جانبی، دارای توان جذب بالای انرژی در زلزله می‌باشد و به همین علت استفاده از آن در ساختمان‌ها افزایش یافته است. در دیوارهای برشی فولادی اتصال مستقیم ورق به قاب اجرایی نبوده، از همین رو از ورق واسط برای اتصال استفاده می‌شود. ورق دیوارهای برشی فولادی بدون سخت‌کننده ابتدا وارد

تحقیق دیوارهای برشی فولادی مستطیل شکل و مربع شکل با سخت کننده‌های گوشه‌ی ورق، مورد بررسی قرار گرفته است.

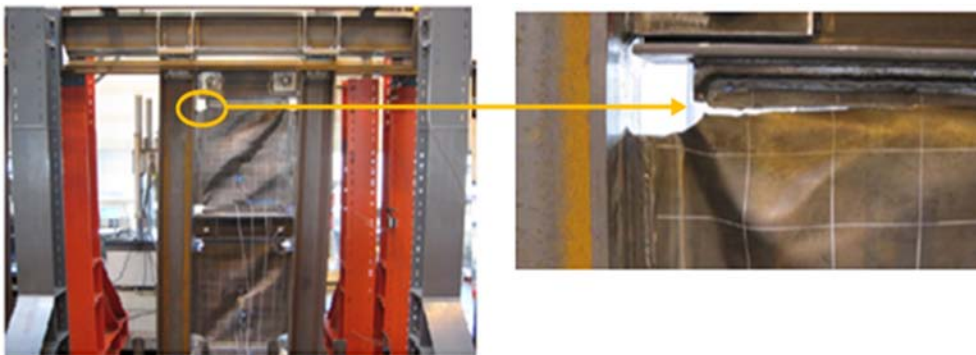
۲- مشخصات هندسی نمونه‌ها

در این تحقیق ۲۴ مدل دیوار برشی فولادی مستطیل شکل و ۲۴ مدل دیوار برشی فولادی مربع شکل، با چهار سخت کننده در گوشه‌های ورق مدل شده است. در تمامی نمونه‌ها مشخصات زیر ثابت می‌باشد:

۱. از آنجایی که ممکن است اجرای نمونه‌های دارای سخت کننده دوطرفه در همه‌ی سازه‌ها وجود نداشته باشد، در طراحی سخت کننده‌های نمونه‌های دیوار برشی فولادی این تحقیق، از سخت کننده‌های یک طرفه که حالت بحرانی تری نسبت به سخت کننده‌های دوطرفه دارد استفاده شده است.
۲. سخت کننده‌ها در چهار گوشه‌ی ورق قرار دارد (شکل ۲).
۳. نمونه‌ها به صورت قاب یک طبقه یک دهانه مدل سازی شده.
۴. نمونه‌های مورد استفاده در این تحقیق در مقیاس کامل در نظر گرفته می‌شود.
۵. ورق در تمام نمونه‌ها دارای چهار حالت با ضخامت‌های ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۷ و ۰/۰۱ متر است.
۶. تیر و ستون‌های اطراف ورق کاملاً صلب در نظر گرفته شده و اتصال تیر به ستون مفصلی است تا فقط ورق در برابر نیروی جانبی مقاومت کند.
۷. ارتفاع و عرض در دیوار برشی فولادی مستطیل شکل به ترتیب ۳ و ۶ متر می‌باشد.

شده و می‌تواند عامل پارگی ورق از ورق واسط باشد. پارگی ورق از گوشه‌ها آغاز و با افزایش بار در لبه‌ی ورق واسط پیش می‌رود که به این پدیده زیپ شدگی می‌گویند (شکل ۱). زیپ شدگی معمولاً به سرعت گسترش می‌یابد و باعث خرابی نمونه می‌گردد [۱]. پدیده‌ی زیپ شدگی در دیوارهای برشی با ورق نازک که در آنها حالت پس کمانش رخ می‌دهد، ایجاد می‌شود. این پدیده در بیشتر آزمایش‌ها و مطالعات انجام شده [۱-۱۳] گزارش شده است. برای بهبود ضعف گوشه‌ی ورق، تحقیقی آزمایشگاهی توسط صبوری و سجادی انجام شده که در آن با استفاده از چهار سخت کننده‌ی گوشه‌ای راه حلی برای کنترل زیپ شدن ورق ارائه شده است [۱]. همچنین برای بررسی تأثیر اتصال ورق به قاب تحقیقی در دانشگاه آلبرتا انجام شده است [۵]. در تحقیق یاد شده از چهار نوع اتصال ورق به تیر و ستون پیرامون استفاده شده است. در اتصال اول، ورق مستقیم به تیر و ستون متصل شده و در اتصال دوم، ورق به وسیله‌ی ورق واسط به تیر و ستون متصل شده است. در اتصال سوم، ورق به ستون مستقیم و به تیر به وسیله‌ی ورق واسط متصل شده است. در اتصال چهارم، ورق به وسیله‌ی ورق واسط به تیر و ستون متصل شده است. در اتصال دوم و چهارم، در اتصال گوشه دو ورق واسط افقی و قائم، بریدگی ایجاد شده تا تمرکز تنش در گوشه‌ها کمتر شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در چهار اتصال به علت عبور موج پس کمانش از گوشه‌ها تمرکز تنش در گوشه‌ها بالا رفته و باعث شده پارگی ورق از گوشه‌ها شروع شود [۵].

در این تحقیق برای حل مشکل سعی شده است تا موج پس کمانش از گوشه‌های ورق دور شود. از همین رو در این



شکل (۱): زیپ شدگی ورق فولادی

۸. ارتفاع و عرض در دیوار برشی فولادی مربع شکل به ترتیب ۳ و ۳ متر می‌باشد.

در نمونه‌ها با گام‌های افزایش ۱ درصد، طول سخت‌کننده‌ها از ۵ درصد تا ۱۰ درصد طول ورق دیوار برشی فولادی می‌باشد. ضخامت سخت‌کننده‌ها از ۲ تا ۳ برابر ضخامت ورق دیوار برشی فولادی در نظر گرفته شده است. فرمت‌های نام‌گذاری برای نمونه‌های دیوار برشی فولادی مستطیل شکل و نمونه‌های مربع شکل به ترتیب به این صورت می‌باشد:

- (درصد طول سخت‌کننده - ضخامت سخت‌کننده - R - ضخامت ورق) - S -
 در نام این نمونه‌ها، ضخامت ورق و سخت‌کننده‌ها به متر آورده شده است و R به معنای مستطیل، S به معنای مربع که به ترتیب نشان‌دهنده‌ی دیوار برشی فولادی مستطیل شکل و دیوار برشی فولادی مربع شکل است. مشخصات هندسی نمونه‌های دیوار برشی فولادی مستطیل شکل و نمونه‌های مربع شکل به ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است (پارامتر x استفاده شده در جداول در شکل (۲) نشان داده شده است).

جدول (۱): مشخصات هندسی نمونه‌های دیوار برشی فولادی مستطیل شکل

x	طول سخت‌کننده (متر)	درصد طول سخت‌کننده	x	طول سخت‌کننده (متر)	درصد طول سخت‌کننده
۰/۳	۰/۳۹۵	۵٪	۰/۳۶	۰/۴۸	۶٪
ارتفاع سخت‌کننده (متر)		نام نمونه		ارتفاع سخت‌کننده (متر)	
۰/۰۸		۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۶-۵٪		۰/۱	
۰/۰۸		۰/۰۰۵-R-۰/۰۱-۵٪		۰/۱	
۰/۰۷		۰/۰۰۷-R-۰/۰۱۴-۵٪		۰/۱	
۰/۰۶		۰/۰۱-R-۰/۰۲-۵٪		۰/۰۸	

(ب)

(الف)

x	طول سخت‌کننده (متر)	درصد طول سخت‌کننده	x	طول سخت‌کننده (متر)	درصد طول سخت‌کننده
۰/۴۲	۰/۵۶۵	۷٪	۰/۴۸	۰/۶۵	۸٪
ارتفاع سخت‌کننده (متر)		نام نمونه		ارتفاع سخت‌کننده (متر)	
۰/۰۸		۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۷٪		۰/۱۲	
۰/۰۸		۰/۰۰۵-R-۰/۰۱۵-۷٪		۰/۱۲	
۰/۰۷		۰/۰۰۷-R-۰/۰۲۱-۷٪		۰/۱	
۰/۰۶		۰/۰۱-R-۰/۰۳-۷٪		۰/۱	

(ت)

(پ)

x	طول سخت‌کننده (متر)	درصد طول سخت‌کننده	x	طول سخت‌کننده (متر)	درصد طول سخت‌کننده
۰/۵۴	۰/۷۳۵	۹٪	۰/۶	۰/۸۲	۱۰٪
ارتفاع سخت‌کننده (متر)		نام نمونه		ارتفاع سخت‌کننده (متر)	
۰/۱۴		۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۹٪		۰/۱۵	
۰/۱۴		۰/۰۰۵-R-۰/۰۱۵-۹٪		۰/۱۵	
۰/۱۳		۰/۰۰۷-R-۰/۰۲۱-۹٪		۰/۱۵	
۰/۱۳		۰/۰۱-R-۰/۰۳-۹٪		۰/۱۳	

(ج)

(ث)

جدول (۲): مشخصات هندسی نمونه‌های دیوار برشی فولادی مربع شکل

x	طول سخت کننده (متر)	درصد طول سخت کننده	x	طول سخت کننده (متر)	درصد طول سخت کننده
۰/۱۵	۰/۱۸	۵٪	۰/۱۸	۰/۲۲۵	۶٪
ارتفاع سخت کننده (متر)		ارتفاع سخت کننده (متر)		نام نمونه	
۰/۰۴		۰/۰۶		۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۵٪	
۰/۰۴		۰/۰۶		۰/۰۰۵-S-۰/۰۱۵-۵٪	
۰/۰۴		۰/۰۶		۰/۰۰۷-S-۰/۰۲۱-۵٪	
۰/۰۳		۰/۰۴		۰/۰۰۱-S-۰/۰۰۲-۵٪	

(ب)

(الف)

x	طول سخت کننده (متر)	درصد طول سخت کننده	x	طول سخت کننده (متر)	درصد طول سخت کننده
۰/۲۱	۰/۲۷	۷٪	۰/۲۴	۰/۳۱	۸٪
ارتفاع سخت کننده (متر)		ارتفاع سخت کننده (متر)		نام نمونه	
۰/۰۸		۰/۱۱		۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۸٪	
۰/۰۷		۰/۱		۰/۰۰۵-S-۰/۰۱-۸٪	
۰/۰۷		۰/۱		۰/۰۰۷-S-۰/۰۱۴-۸٪	
۰/۰۷		۰/۱		۰/۰۰۱-S-۰/۰۰۲-۸٪	

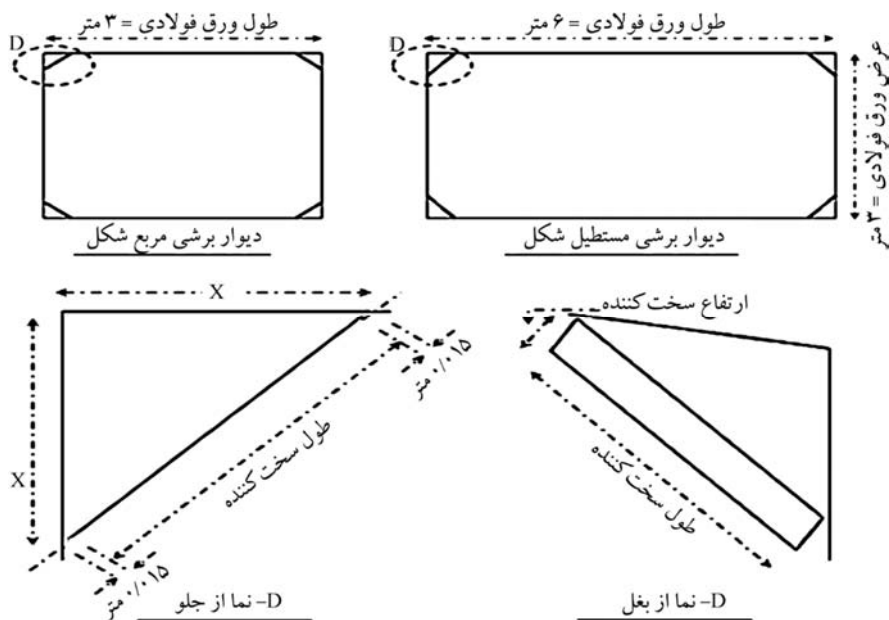
(ب)

(پ)

x	طول سخت کننده (متر)	درصد طول سخت کننده	x	طول سخت کننده (متر)	درصد طول سخت کننده
۰/۲۷	۰/۲۵	۹٪	۰/۳	۰/۳۹۵	۱۰٪
ارتفاع سخت کننده (متر)		ارتفاع سخت کننده (متر)		نام نمونه	
۰/۱۱		۰/۱۱		۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۱۰٪	
۰/۱		۰/۱		۰/۰۰۵-S-۰/۰۱-۱۰٪	
۰/۱		۰/۱		۰/۰۰۷-S-۰/۰۱۴-۱۰٪	
۰/۱		۰/۱		۰/۰۰۱-S-۰/۰۰۲-۱۰٪	

(ج)

(ث)



شکل (۲): نمای کلی نمونه‌ها

بارگذاری دوره‌ای باعث ضعف زیادی در گوشه‌ها شده و عامل پارگی ورق از گوشه‌ها می‌باشد. پارگی ورق از گوشه‌ها آغاز شده و با افزایش بار در لبه‌ی افقی و قائم ورق، پیش می‌رود که به آن زیپ‌شدگی می‌گویند. زیپ‌شدگی معمولاً به‌سرعت گسترش می‌یابد و باعث خرابی نمونه می‌گردد. در این تحقیق برای حل مشکل سعی شده تا موج پس کمانش ورق از گوشه‌ها دور شود؛ از همین رو در چهار گوشه‌ی ورق از سخت‌کننده استفاده شده است.

طول سخت‌کننده‌ها از ۵ درصد طول ورق دیوار برشی فولادی شروع شده است. در مرحله‌ی اول تحلیل طول سخت‌کننده‌ها از ۵ تا ۲۵ درصد طول ورق دیوار برشی فولادی با گام‌های افزایشی ۱ درصد در نظر گرفته شده است. مقدار ضخامت سخت‌کننده‌ها دو برابر ضخامت ورق دیوار برشی فولادی می‌باشد. ارتفاع سخت‌کننده‌ها از ۰/۰۱ متر شروع می‌شود و با گام‌های افزایشی ۰/۰۱ متر افزایش می‌یابد تا سخت‌کننده‌های گوشه‌ی ورق بتوانند در برابر موج‌های پس کمانش مقاومت کنند و نگذارند که موج‌های پس کمانش وارد قسمت مثلثی محصور بین ورق و سخت‌کننده‌های گوشه‌ی ورق بشود (شکل ۳-الف). مطابق شکل (۳-ب) در صورت نبود سخت‌کننده، انحنای موج پس کمانش در گوشه‌ی ورق بسیار زیاد بوده و باعث پارگی و زیپ‌شدگی

از بررسی آزمایشگاهی، مشخصات مصالح که از آزمایش کششی به دست می‌آید در جدول (۳) آورده شده است. تمامی نمونه‌ها تحت دریفیت ۱۵ درصد قرار دارد، که به‌صورت تدریجی به نمونه‌ها اعمال می‌شود.

جدول (۳): خصوصیات مکانیکی اعضای نمونه‌ها

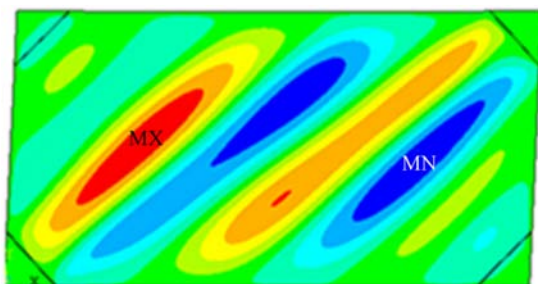
اعضا	تنش جاری شدن (نیوتن بر مترمربع)	تنش نهایی (نیوتن بر مترمربع)	رده فولاد در استاندارد آلمانی DIN
ورق	۱۹۲/۴ E۵	۲۷۷/۲ E۵	ST14
تیر و ستون	۴۱۴/۸ E۵	۵۵۱/۸ E۵	ST52
سخت‌کننده‌ها	۲۵۸/۳ E۵	۳۹۰/۴ E۵	ST37

۳- طراحی نمونه‌ها

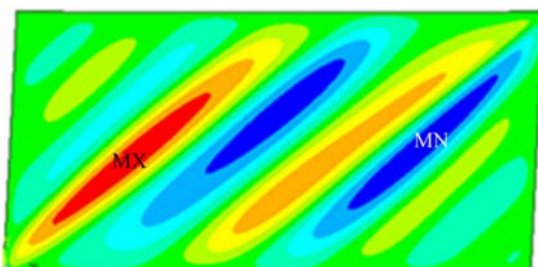
برای طراحی ورق تمام نمونه‌های استفاده شده در این تحقیق از تئوری اندرکنش ورق و قاب^۵ استفاده شده است [۲]. تیر و ستون‌های اطراف دیوارهای برشی فولادی کاملاً صلب در نظر گرفته شده است. اتصال تیر به ستون مفصلی می‌باشد تا صرفاً ورق در برابر نیروی جانبی مشارکت کند. سختی قاب به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شود که همراه با ورق کمانه نکند و تغییر شکل آن ناچیز باشد. در نتیجه، دیگر نیازی به طراحی تیر و ستون‌های اطراف دیوارهای برشی فولادی نبوده است. بنابراین برای مدل‌سازی قاب محیطی فولادی پانل، در اتصال مفصلی از المان‌های Beam188 استفاده گردیده است، دلیل عمده استفاده از این المان برای صلب در نظر گرفتن تیر و ستون می‌باشد.

۴- محاسبه ابعاد سخت‌کننده

ورق دیوارهای برشی فولادی بدون سخت‌کننده ابتدا وارد ناحیه پس کمانش و سپس وارد ناحیه پلاستیک می‌شود. در این ناحیه موج‌هایی در ورق پدیدار می‌شود که از هر یک از گوشه‌های ورق موجی می‌گذرد. موج‌های ایجاد شده در ورق دارای تغییر-شکل‌های بزرگ هستند و موج‌های عبور کرده از گوشه‌ی ورق دارای خمیدگی بالایی در گوشه می‌باشد. شکست گوشه ورق، خمیدگی شدید موج ورق در گوشه و خستگی ورق به علت



(الف) با سخت‌کننده



(ب) بدون سخت‌کننده

شکل (۳): نحوه قرارگیری موج‌های پس کمانش

همانند مهاربندها عمل می‌کنند و در باربری سیستم شرکت می‌کنند. در واقع هدف اصلی استفاده از سخت‌کننده‌ها باربری نیست بلکه جلوگیری از زیپ‌شدگی ورق فولادی می‌باشد. در مرحله‌ی دوم تحلیل، با بررسی نتایج خروجی به‌دست‌آمده از مرحله‌ی اول، طول سخت‌کننده‌های گوشه‌ی ورق از ۵ درصد تا ۱۰ درصد طول ورق دیوار برشی فولادی در نظر گرفته شده است، کاهش طول سخت‌کننده‌ها به دلایل زیر صورت گرفته است:

۱. کماتش سخت‌کننده‌ها به دلیل بزرگی ابعاد
۲. غیراقتصادی بودن از نظر استفاده‌ی مصالح
۳. کفایت سخت‌کننده‌ها در طول‌های کوچک

با توجه به اینکه ارتفاع زیاد سخت‌کننده‌ها مشکل اجرایی ایجاد می‌کند، بنابراین در مرحله‌ی سوم تحلیل، ارتفاع سخت‌کننده‌ها کاهش داده شد. بدین منظور سخت‌کننده‌های با ارتفاع بیش از ۰/۱ متر انتخاب شد. ضخامت این سخت‌کننده‌ها از ۲ تا ۳/۵، برابر ضخامت ورق، افزایش داده شده است؛ و به موازات آن ارتفاع سخت‌کننده‌ها از ۰/۱ متر با گام‌های افزایشی ۰/۰۱ متر افزایش یافت تا سخت‌کننده‌های گوشه‌ی ورق بتواند در برابر موج‌های پس‌کمانش مقاومت کند.

در این تحقیق نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل سوم ملاک انجام کار قرار گرفته است. در سه مرحله تحلیل، ۵۵۷ بار سعی و خطا در نرم‌افزار انجام شد تا ابعاد بهینه برای سخت‌کننده‌ها به‌دست آید.

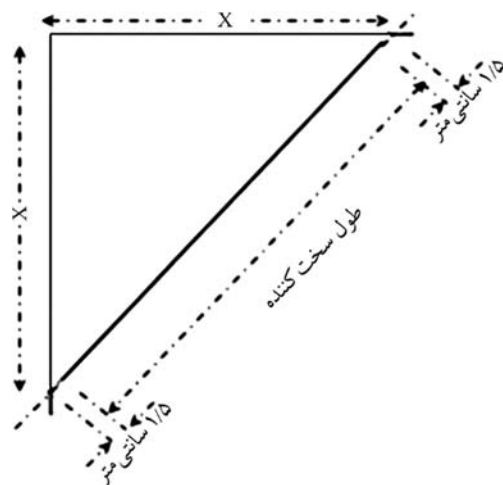
۵- مدل‌سازی نمونه‌ها در نرم‌افزار المان محدود

برای مدل‌سازی نمونه‌ها از نرم‌افزار ANSYS15.0، قاب محیطی فولادی پانل، از المان‌های Beam188 و ورق فولادی و سخت‌کننده‌ها از المان Shell181 استفاده شده است. اتصال تیر به ستون مفصلی در نظر گرفته شده است. در مدل‌سازی قبل از تحلیل، اعوجاج (تغییرشکل) ناچیز در حدود ضخامت ورق، در ورق ایجاد شده است. اثر تغییرشکل‌های هندسی و مصالح با Multi Linear Kinematics در نظر گرفته شده است. همچنین از منحنی تنش-کرنش واقعی مصالح استفاده شده است. در این تحقیق اندازه‌ی مش بندی ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.

در ورق می‌شود. ولی با وجود سخت‌کننده‌های گوشه‌ی ورق، سر موج‌هایی که از گوشه‌های ورق عبور می‌کند از بین می‌رود.

عرض و ضخامت سخت‌کننده به‌اندازه‌ای قوی انتخاب شده که با خود ورق کمانه نکند و موج نتواند باعث انحنای سخت‌کننده شود. مطابق شکل (۴) بین لبه ورق و سخت‌کننده از هر طرف به اندازه‌ی ۰/۱۵ متر فاصله گذاشته شده است. گذاشتن فاصله بین لبه ورق و سخت‌کننده از هر طرف به دلایل زیر صورت گرفته است:

۱. تغییر شکل زیاد ورق در گوشه‌ها باعث کماتش در سخت‌کننده نشود.

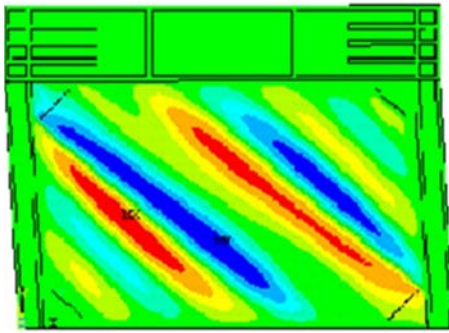


شکل (۴): فاصله سخت‌کننده‌ها از گوشه‌های ورق

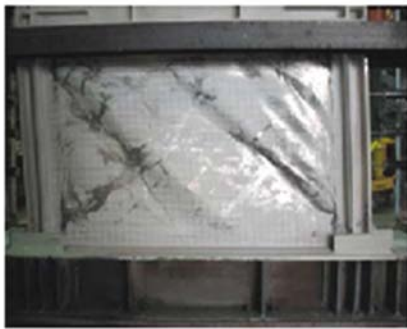
۲. در اتصال مفصلی در صورت متصل کردن سخت‌کننده‌ها به لبه‌های ورق فولادی، باعث می‌شود که تیر و ستون‌ها نتوانند به صورت مفصلی عمل کنند و با این کار اتصال مفصلی تبدیل به اتصال گیردار می‌شود.

۳. در اثر بارهای جانبی تیر و ستون‌ها تغییر شکل داده و در صورت متصل کردن سخت‌کننده‌ها به لبه‌های ورق فولادی، باعث می‌شود که تیر و ستون‌ها نتوانند تغییر شکل بدهند در نتیجه یک‌سری از سخت‌کننده‌ها در کشش و مابقی در فشار قرار می‌گیرند و در نهایت باعث شکست سخت‌کننده‌هایی می‌شود که در فشار هستند.

۴. در صورت متصل کردن سخت‌کننده‌ها به لبه‌های ورق فولادی (در صورت نادیده گرفتن ورق فولادی)، سخت‌کننده‌ها



نمونه المان محدودی



نمونه آزمایشگاهی

شکل (۶): مقایسه نحوه تشکیل موج پس کمانش نمونه آزمایشگاهی با نمونه المان محدودی در بار F_{max}

نحوه‌ی تشکیل میدان پس کمانش در نمونه‌ی المان محدود نسبت به نمونه‌ی آزمایشگاهی وجود دارد.

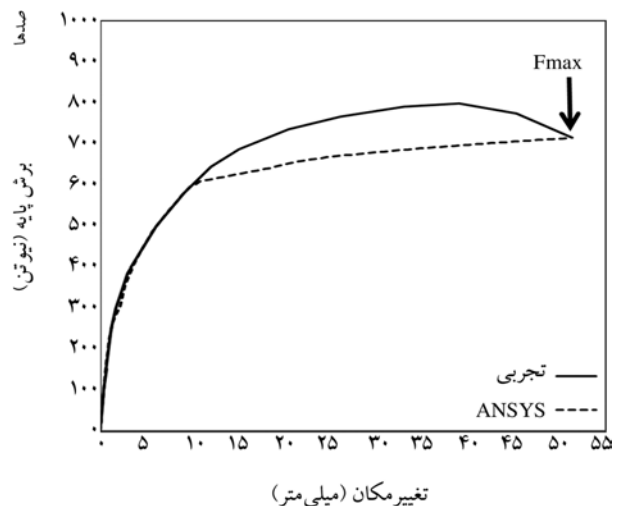
سختی اولیه به دست آمده از روش المان محدود ۱/۹ درصد نسبت به نتایج آزمایشگاهی اختلاف دارد. در مدل المان محدود با استفاده از المان پوسته‌ای پیش‌بینی بالاتری را برای سختی سیستم در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی می‌دهد. این اختلاف در نتایج، به مشکل بودن مدل‌سازی عیوب اولیه در ورق‌ها و ناتوانی در مدل‌سازی تغییر شکل‌های خارج از صفحه‌ی پانل در اعضای قاب و همچنین بزرگ بودن شبکه‌بندی نسبت داده شده است. همچنین در نمونه‌ی یاد شده مقدار بار حاصل از نتایج المان محدود در نقطه‌ی F_{max} (شکل ۵) به مقدار ۰/۱ درصد کاهش نسبت به نتایج آزمایشگاهی تفاوت دارد که قابل صرف نظر کردن است. در منحنی المان محدود، نرم‌شدگی مشاهده نمی‌شود زیرا در حالت آزمایشگاهی از مقدار حداکثر بار قابل تحمل نمونه به بعد، رشد پارگی ورق باعث افت بار می‌شود در حالی که در مدل المان محدود به کار گرفته شده تئوری شکست استفاده نشده است.

بارگذاری با اعمال تغییر مکان به دو سر قاب انجام شده است. مشاهدات گویای آن است که اعمال بار به صورت تغییر مکان، همگرایی بهتری نسبت به اعمال نیرو دارد. همچنین در بیشتر آیین‌نامه‌های معتبر دنیا از الگوی بارگذاری به شیوه‌ی تغییر مکان، برای بررسی رفتار سازه‌های شکل‌پذیر استفاده می‌شود. الگوی بارگذاری اعمال شده به مدل‌های مورد نظر از نوع بارافزون می‌باشد. در بارگذاری بار افزون، تغییر مکان، اعمال شده به دو سر قاب، طی N مرحله به سازه اعمال شده است. پارامتر N ، وابستگی مستقیم به انتخاب زمان پایان بارگذاری، بر حسب ثانیه و نیز تعداد گام‌های بارگذاری دارد که می‌توان هر مرحله از بارگذاری را به آن تقسیم نمود.

۶- صحت‌سنجی نرم‌افزار

در این پژوهش برای کنترل فرضیات و دقت نتایج، ابتدا مدل آزمایشگاهی که شرح انجام آزمایش و نتایج به دست آمده از آن در مرجع [۱] موجود است با نرم‌افزار ANSYS15.0 شبیه‌سازی شده و مورد بارگذاری مشابه قرار گرفته است.

در شکل (۵) مشاهده می‌شود تطابق مناسبی بین منحنی پوش نمونه‌ی المان محدود و نمونه‌ی آزمایشگاهی وجود دارد. میدان پس کمانش در حالت آزمایشگاهی و المان محدود در نقطه‌ی متناظر F_{max} (شکل ۵) در شکل (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود تشابه مناسبی در



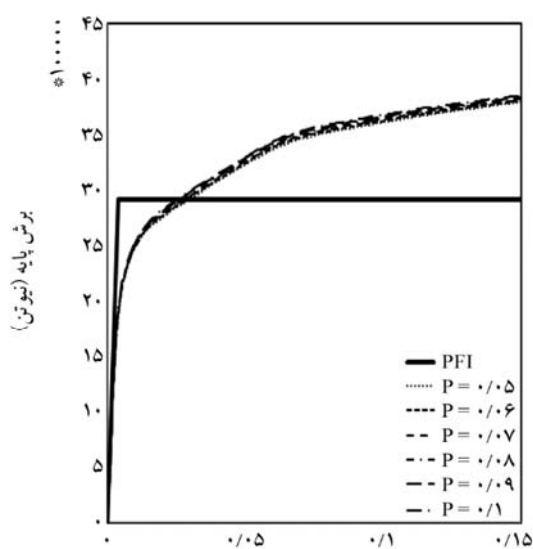
شکل (۵): مقایسه منحنی پوش نمونه آزمایشگاهی با نمونه المان محدودی

۷- منحنی بار تغییر مکان نمونه‌ها

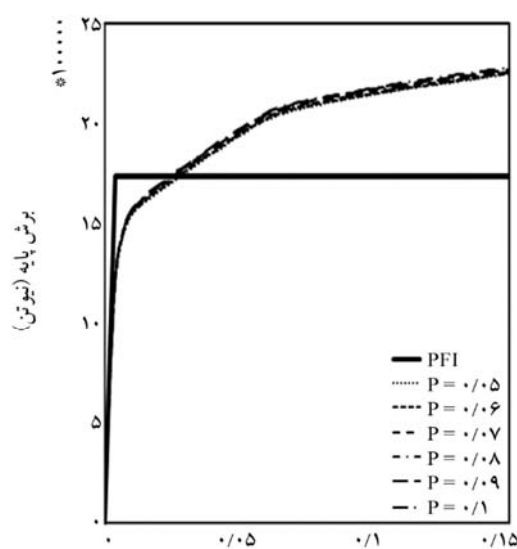
در هر سیستم مقاوم، دو عامل تعیین کننده در برابر بارهای جانبی، سختی و مقاومت آن است. در این مقاله دو پارامتر در دیوارهای برشی فولادی، به کمک منحنی بار-تغییر مکان جانبی آن‌ها بررسی و محاسبه شده است. در شکل‌های ارائه شده از پارامتر P استفاده شده که نشانگر درصد طول سخت کننده است و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$P = \frac{\text{طول سخت کننده}}{\text{طول ورق}} \quad (1)$$

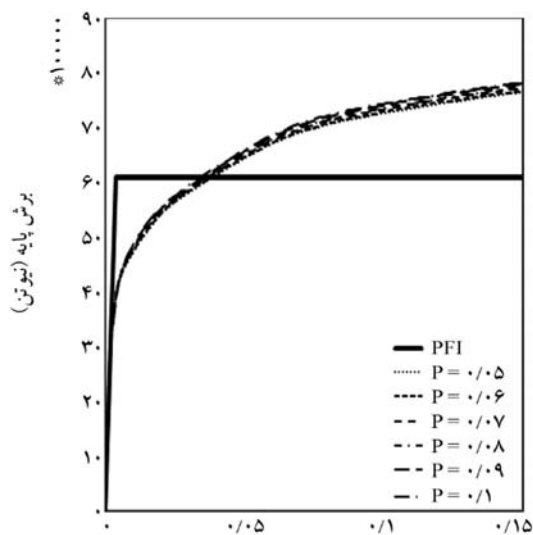
برای ورق فولادی با ضخامت ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۷ و ۰/۰۱ متر، منحنی بار - تغییر مکان دیوار برشی فولادی مستطیل و مربع شکل به همراه منحنی بار - تغییر مکان به دست آمده از روش اندرکنش ورق و قاب به ترتیب در شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده است. همچنین مقدار مقاومت برشی و سختی برای دیوار برشی فولادی مستطیل و مربع شکل به ترتیب در جدول‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است.



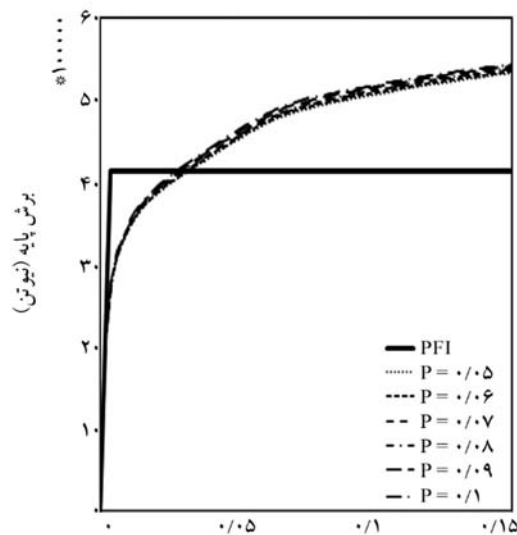
(ب) ضخامت ورق ۰/۰۰۵ متر
تغییر مکان (متر)



(الف) ضخامت ورق ۰/۰۰۳ متر
تغییر مکان (متر)

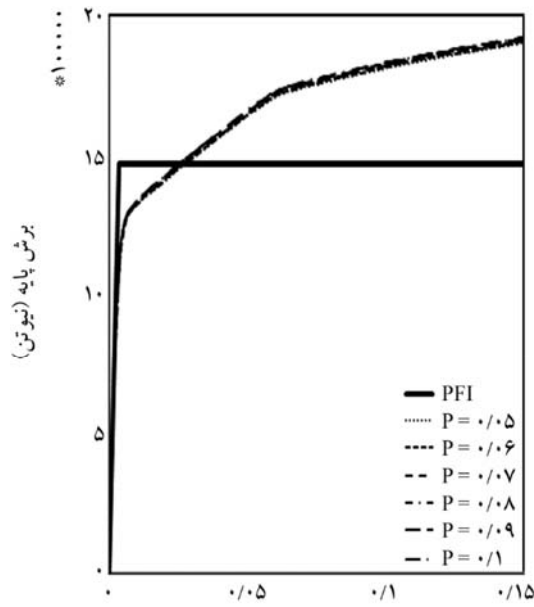


(ت) ضخامت ورق ۰/۰۱ متر
تغییر مکان (متر)

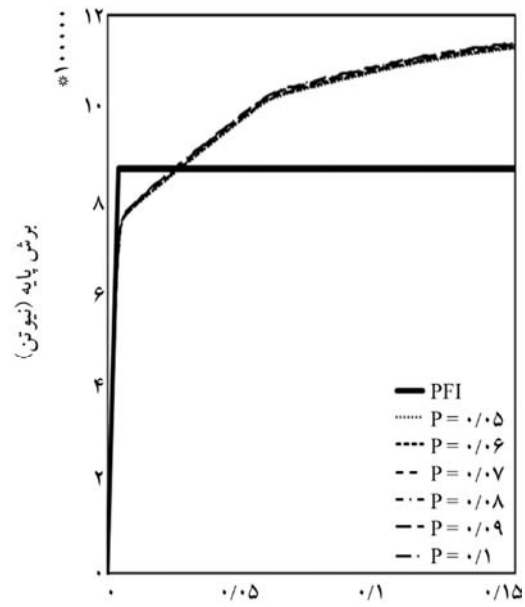


(پ) ضخامت ورق ۰/۰۰۷ متر
تغییر مکان (متر)

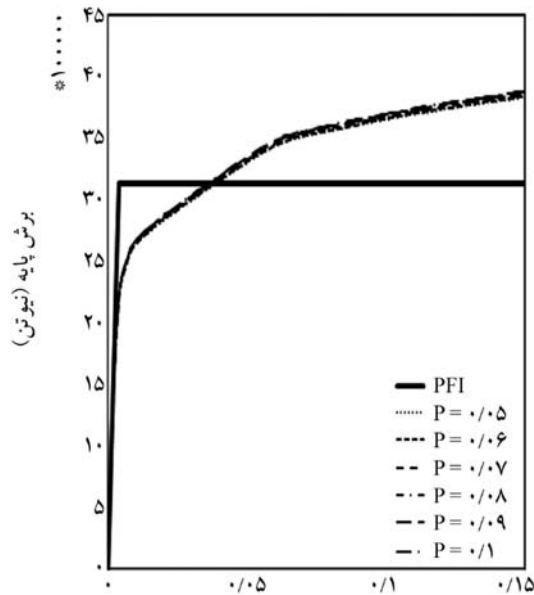
شکل (۷): منحنی بار تغییر مکان دیوار برشی فولادی مستطیل شکل به همراه منحنی PFI



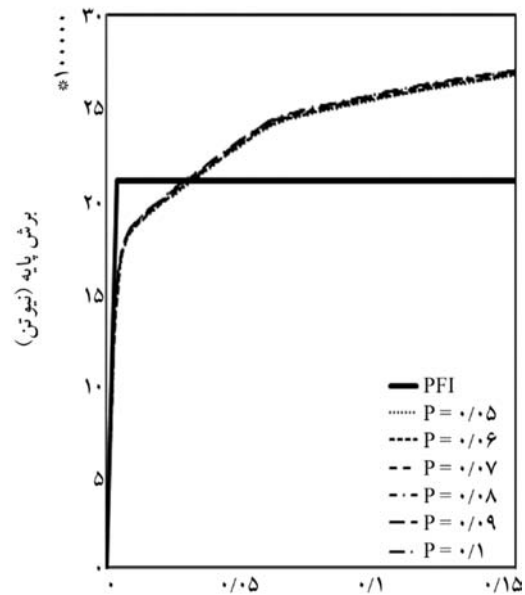
تغییر مکان (متر)
(ب) ضخامت ورق ۰/۰۰۵ متر



تغییر مکان (متر)
(الف) ضخامت ورق ۰/۰۰۳ متر



تغییر مکان (متر)
(ت) ضخامت ورق ۰/۰۱ متر



تغییر مکان (متر)
(پ) ضخامت ورق ۰/۰۰۷ متر

شکل (۸): منحنی بار تغییر مکان دیوار برشی فولادی مربع شکل به همراه منحنی PFI

کردن بهینه‌ترین طول سخت‌کننده در هر ضخامت ورق، تنش فون‌میسز در گوشه‌های سخت‌کننده‌ها محاسبه شد. به این ترتیب که گوشه‌های سخت‌کننده‌هایی که جلوی عبور سر موج را گرفته است، در نظر گرفته می‌شود. برای نمونه‌هایی با سخت‌کننده‌ی مستطیلی در شکل (۹) نشان داده شده است.

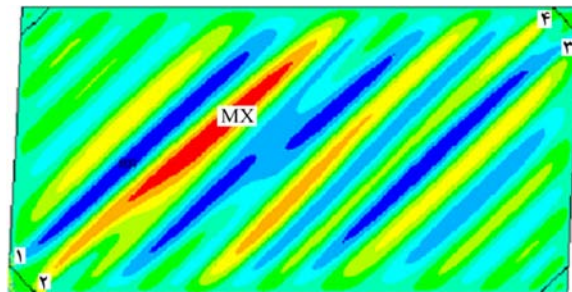
۸- بررسی تنش فون‌میسز در گوشه‌های سخت‌کننده‌ها
از آنجایی که مصالح مورد استفاده فولاد می‌باشد، از معیار فون‌میسز برای گسیختگی استفاده می‌شود. این معیار که بر اساس انرژی اعوجاجی می‌باشد، مناسب‌ترین معیار برای شروع خمیری در مصالح شکل‌پذیر تحت تنش‌های مرکب است. برای پیدا

جدول (۵): مقادیر مقاومت برشی نهایی و سختی دیوار برشی فولادی مربع شکل به همراه مقادیر مقاومت برشی نهایی و سختی PFI

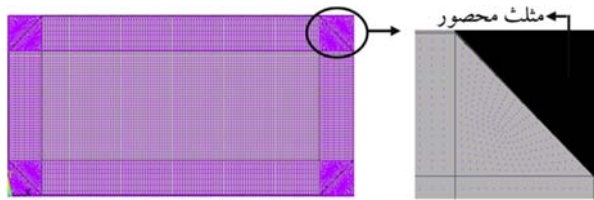
نام نمونه	K سختی (کیلوگرم/متر)	F_u مقاومت برشی نهایی (کیلوگرم)	ضخامت ورق / متر
PFI	۲/۲۳ E۷	۸/۷۲ E۴	ضخامت ورق / متر
۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۵٪	۲/۳۳ E۷	۱/۱۳ E۵	
۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۶٪	۲/۲۹ E۷	۱/۱۳ E۵	
۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۷٪	۲/۲۰ E۷	۱/۱۴ E۵	
۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۸٪	۲/۲۷ E۷	۱/۱۴ E۵	
۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۹٪	۲/۰۴ E۷	۱/۱۴ E۵	
۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۱۰٪	۲/۱۱ E۷	۱/۱۴ E۵	
PFI	۳/۷۸ E۷	۱/۴۷ E۵	ضخامت ورق / متر
۰/۰۰۵-S-۰/۰۱۵-۵٪	۳/۷۲ E۷	۱/۹۰ E۵	
۰/۰۰۵-S-۰/۰۱۵-۶٪	۳/۶۶ E۷	۱/۹۰ E۵	
۰/۰۰۵-S-۰/۰۱۲۵-۷٪	۴/۰۴ E۷	۱/۹۱ E۵	
۰/۰۰۵-S-۰/۰۱-۸٪	۴/۲۸ E۷	۱/۹۱ E۵	
۰/۰۰۵-S-۰/۰۱-۹٪	۴/۳۰ E۷	۱/۹۲ E۵	
۰/۰۰۵-S-۰/۰۱-۱۰٪	۴/۱۷ E۷	۱/۹۲ E۵	
PFI	۵/۴۲ E۷	۲/۱۰ E۵	ضخامت ورق / متر
۰/۰۰۷-S-۰/۰۲۱-۵٪	۵/۰۷ E۷	۲/۶۷ E۵	
۰/۰۰۷-S-۰/۰۲۱-۶٪	۴/۹۷ E۷	۲/۶۸ E۵	
۰/۰۰۷-S-۰/۰۱۷۵-۷٪	۵/۵۵ E۷	۲/۶۸ E۵	
۰/۰۰۷-S-۰/۰۱۴-۸٪	۵/۸۳ E۷	۲/۶۹ E۵	
۰/۰۰۷-S-۰/۰۱۴-۹٪	۵/۷۸ E۷	۲/۶۹ E۵	
۰/۰۰۷-S-۰/۰۱۴-۱۰٪	۵/۶۵ E۷	۲/۷۰ E۵	
PFI	۸/۱۴ E۷	۳/۱۳ E۵	ضخامت ورق / متر
۰/۰۱-S-۰/۰۲-۵٪	۷/۳۶ E۷	۳/۸۴ E۵	
۰/۰۱-S-۰/۰۲-۶٪	۷/۳۵ E۷	۳/۸۴ E۵	
۰/۰۱-S-۰/۰۲-۷٪	۷/۸۱ E۷	۳/۸۶ E۵	
۰/۰۱-S-۰/۰۲-۸٪	۷/۸۰ E۷	۳/۸۷ E۵	
۰/۰۱-S-۰/۰۲-۹٪	۷/۸۴ E۷	۳/۸۸ E۵	
۰/۰۱-S-۰/۰۲-۱۰٪	۷/۷۲ E۷	۳/۸۸ E۵	

جدول (۴): مقادیر مقاومت برشی نهایی و سختی دیوار برشی فولادی مستطیل شکل به همراه مقادیر مقاومت برشی نهایی و سختی PFI

نام نمونه	K سختی (کیلوگرم/متر)	F_u مقاومت برشی نهایی (کیلوگرم)	ضخامت ورق / متر
PFI	۴/۴۶ E۷	۱/۷۴ E۵	ضخامت ورق / متر
۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۶-۵٪	۵/۱۸ E۷	۲/۲۵ E۵	
۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۷۵-۶٪	۴/۸۲ E۷	۲/۲۶ E۵	
۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۷٪	۴/۴۴ E۷	۲/۲۶ E۵	
۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۸٪	۴/۳۴ E۷	۲/۲۷ E۵	
۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۹٪	۴/۲۹ E۷	۲/۲۷ E۵	
۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۱۰٪	۴/۴۲ E۷	۲/۲۸ E۵	
PFI	۷/۵۱ E۷	۲/۹۲ E۵	ضخامت ورق / متر
۰/۰۰۵-R-۰/۰۱-۵٪	۸/۳۶ E۷	۳/۸۰ E۵	
۰/۰۰۵-R-۰/۰۱۲۵-۶٪	۸/۲۰ E۷	۳/۸۱ E۵	
۰/۰۰۵-R-۰/۰۱۵-۷٪	۷/۱۸ E۷	۳/۸۲ E۵	
۰/۰۰۵-R-۰/۰۱۵-۸٪	۷/۲۱ E۷	۳/۸۳ E۵	
۰/۰۰۵-R-۰/۰۱۵-۹٪	۷/۳۱ E۷	۳/۸۴ E۵	
۰/۰۰۵-R-۰/۰۱۵-۱۰٪	۷/۱۱ E۷	۳/۸۵ E۵	
PFI	۱/۰۷ E۸	۴/۱۴ E۵	ضخامت ورق / متر
۰/۰۰۷-R-۰/۰۱۴-۵٪	۱/۱۳ E۸	۵/۳۳ E۵	
۰/۰۰۷-R-۰/۰۱۴-۶٪	۱/۱۵ E۸	۵/۳۵ E۵	
۰/۰۰۷-R-۰/۰۲۱-۷٪	۹/۸۱ E۷	۵/۳۷ E۵	
۰/۰۰۷-R-۰/۰۲۱-۸٪	۹/۶۱ E۷	۵/۳۹ E۵	
۰/۰۰۷-R-۰/۰۲۱-۹٪	۹/۸۵ E۷	۵/۴۱ E۵	
۰/۰۰۷-R-۰/۰۲۱-۱۰٪	۹/۶۱ E۷	۵/۴۳ E۵	
PFI	۱/۵۸ E۸	۶/۰۹ E۵	ضخامت ورق / متر
۰/۰۱-R-۰/۰۲-۵٪	۱/۵۴ E۸	۷/۶۳ E۵	
۰/۰۱-R-۰/۰۲-۶٪	۱/۵۷ E۸	۷/۶۶ E۵	
۰/۰۱-R-۰/۰۲-۷٪	۱/۵۸ E۸	۷/۷۱ E۵	
۰/۰۱-R-۰/۰۳-۸٪	۱/۳۵ E۸	۷/۷۳ E۵	
۰/۰۱-R-۰/۰۳-۹٪	۱/۳۶ E۸	۷/۷۸ E۵	
۰/۰۱-R-۰/۰۳-۱۰٪	۱/۳۶ E۸	۷/۸۰ E۵	



شکل (۹): نحوه شماره گذاری دو سر، سخت کننده



شکل (۱۰): مثلت محصور برای نمونه‌های با دیوار برشی فولادی مستطیلی

جدول (۷): مقدار تنش فون میسز مثلت محصور در دیوار برشی فولادی مستطیل شکل

نام نمونه	تنش فون میسز (نیوتن بر مترمربع)	درصد اختلاف نمونه‌ها با نمونه دارای طول ۵ درصد ورق فولادی	
۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۶-۵٪	۲۶۸۳/۸ E۵	-	ضخامت ورق ۰/۰۰۳ متر
۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۷۵-۶٪	۲۶۸۰/۴ E۵	-۰/۱٪	
۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۷٪	۲۶۵۳/۹ E۵	-۱/۱٪	
۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۸٪	۲۵۹۷/۰ E۵	-۳/۲٪	
۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۹٪	۲۵۹۲/۷ E۵	-۳/۴٪	
۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۱۰٪	۲۵۸۸/۹ E۵	-۳/۵٪	
۰/۰۰۵-R-۰/۰۱-۵٪	۲۶۶۴/۱ E۵	-	ضخامت ورق ۰/۰۰۵ متر
۰/۰۰۵-R-۰/۰۱۲۵-۶٪	۲۶۳۸/۰ E۵	-۱/۰٪	
۰/۰۰۵-R-۰/۰۱۵-۷٪	۲۵۶۶/۳ E۵	-۳/۷٪	
۰/۰۰۵-R-۰/۰۱۵-۸٪	۲۵۵۹/۲ E۵	-۳/۹٪	
۰/۰۰۵-R-۰/۰۱۵-۹٪	۲۵۵۸/۴ E۵	-۴/۰٪	
۰/۰۰۵-R-۰/۰۱۵-۱۰٪	۲۵۵۶/۶ E۵	-۴/۰٪	
۰/۰۰۷-R-۰/۰۱۴-۵٪	۲۵۷۸/۸ E۵	-	ضخامت ورق ۰/۰۰۷ متر
۰/۰۰۷-R-۰/۰۱۴-۶٪	۲۳۶۲/۹ E۵	-۸/۴٪	
۰/۰۰۷-R-۰/۰۱۵-۷٪	۲۳۱۸/۱ E۵	-۱۰/۱٪	
۰/۰۰۷-R-۰/۰۲۱-۸٪	۲۳۰۴/۳ E۵	-۱۰/۶٪	
۰/۰۰۷-R-۰/۰۲۱-۹٪	۲۳۰۲/۸ E۵	-۱۰/۷٪	
۰/۰۰۷-R-۰/۰۲۱-۱۰٪	۲۳۰۱/۵ E۵	-۱۰/۸٪	
۰/۰۱-R-۰/۰۲-۵٪	۲۵۶۸/۰ E۵	-	ضخامت ورق ۰/۰۱ متر
۰/۰۱-R-۰/۰۲-۶٪	۲۲۷۸/۲ E۵	-۱۱/۳٪	
۰/۰۱-R-۰/۰۳-۷٪	۲۲۷۶/۴ E۵	-۱۱/۴٪	
۰/۰۱-R-۰/۰۳-۸٪	۲۲۷۰/۶ E۵	-۱۱/۶٪	
۰/۰۱-R-۰/۰۳-۹٪	۲۲۶۷/۹ E۵	-۱۱/۷٪	
۰/۰۱-R-۰/۰۳-۱۰٪	۲۲۶۸/۶ E۵	-۱۱/۸٪	

ابتدا تنش فون میسز گوشه‌های سخت کننده برای هر درصد طول سخت کننده به دست می‌آید. سپس بین چهار تنش فون میسز به دست آمده برای هر درصد طول سخت کننده، بیشترین تنش فون میسز انتخاب می‌شود. بعد برای هر ضخامت ورق، تنش‌های فون میسز تمام درصد طول سخت کننده مربوط به آن ضخامت در نظر گرفته می‌شود و از بین آنها کم‌ترین تنش فون میسز به عنوان بهینه‌ترین درصد طول سخت کننده برای هر ضخامت ورق تعیین می‌شود. بهینه‌ترین طول سخت کننده‌ها در هر ضخامت ورق برای نمونه‌های دیوار برشی فولادی مستطیل شکل و نمونه‌های مربع شکل در جدول (۶) آورده شده است.

جدول (۶): بهینه‌ترین طول سخت کننده‌ها در هر ضخامت ورق

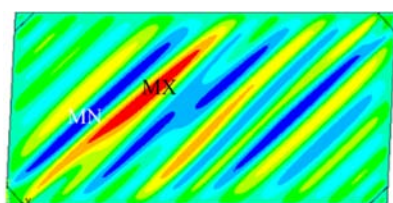
ضخامت ورق (متر)	درصد طول سخت کننده	تنش فون میسز (نیوتن بر مترمربع)	
۰/۰۰۳	۱۰٪	۲۲۰۶/۲ E۵	دیوار برشی فولادی مستطیل شکل
۰/۰۰۵	۱۰٪	۲۱۷۷/۱ E۵	
۰/۰۰۷	۷٪	۲۰۷۳/۶ E۵	
۰/۰۱	۷٪	۲۲۲۲/۹ E۵	دیوار برشی فولادی مربع شکل
۰/۰۰۳	۷٪	۲۳۴۰/۵ E۵	
۰/۰۰۵	۶٪	۲۴۱۴/۹ E۵	
۰/۰۰۷	۶٪	۲۳۰۲/۸ E۵	
۰/۰۱	۶٪	۲۲۴۰/۰ E۵	

۹- بررسی تنش فون میسز مثلت محصور در نمونه‌ها

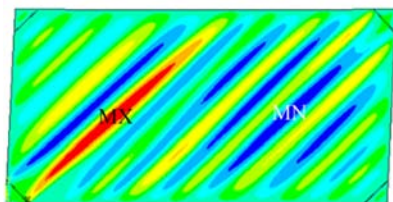
تنش ایجاد شده در گوشه‌ی ورق (ورق محصور بین سخت کننده و تیر و ستون) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور میانگین تنش فون میسز در مثلت محصور انتخاب می‌شود. مثلت محصور برای نمونه‌های با دیوار برشی فولادی مستطیلی در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

تنش فون میسز دیوار برشی فولادی مستطیل و مربع شکل برای هر درصد طول سخت کننده و هر ضخامت ورق به ترتیب در جدول‌های (۷) و (۸) نشان داده شده است.

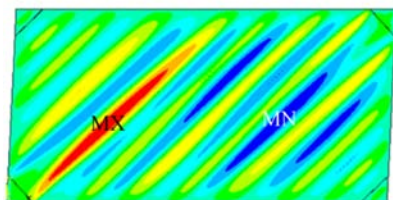
نشان داده شده است (کانتورهای نشان داده شده در شکل نمایشگر تغییر مکان نمونه‌ها در جهت بیرون از صفحه می‌باشد، همانند شکل ۱۳).



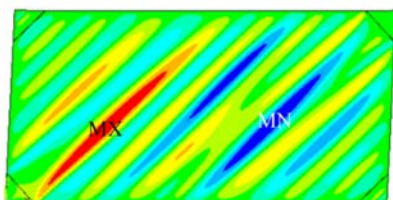
(الف) ۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۶-۵٪



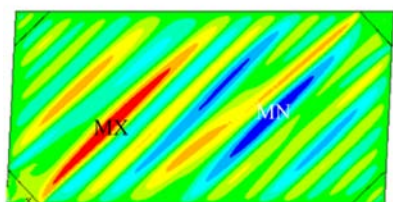
(ب) ۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۷۵-۶٪



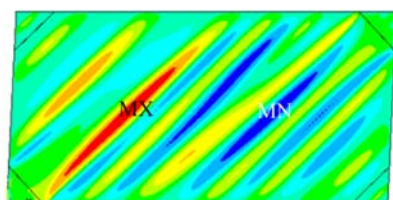
(پ) ۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۷٪



(ت) ۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۸٪



(ث) ۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۹٪



(ج) ۰/۰۰۳-R-۰/۰۰۹-۱۰٪

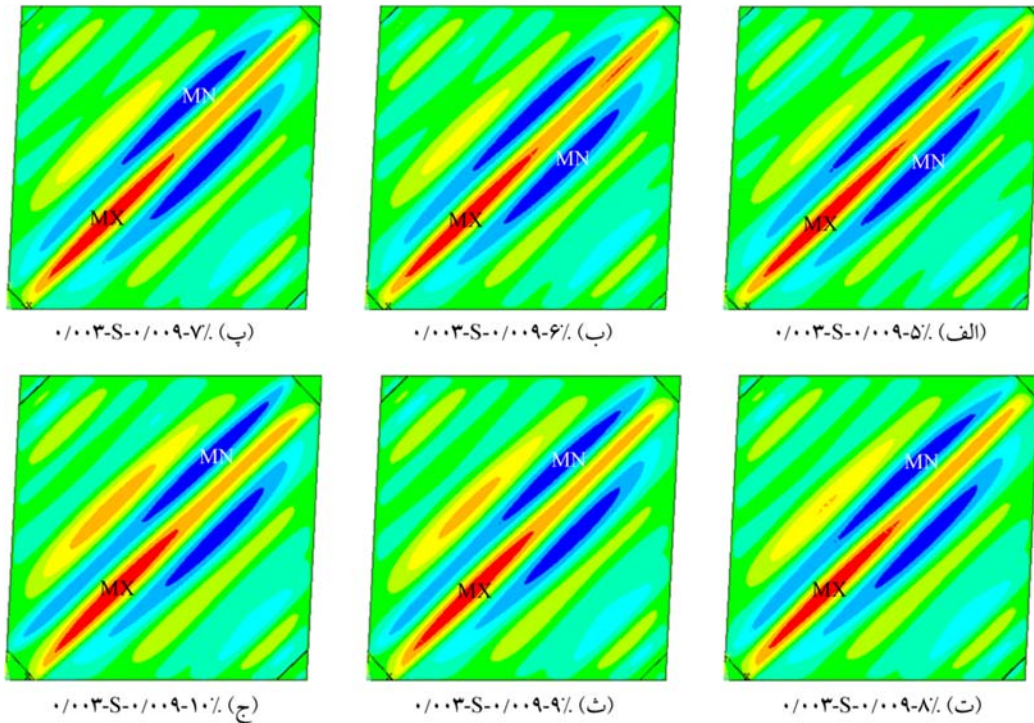
شکل (۱۱): موج‌های پس کمانش دیوار برشی فولادی مستطیلی

جدول (۸): مقدار تنش فون میسز مثلث محصور در دیوار برشی فولادی مربع شکل

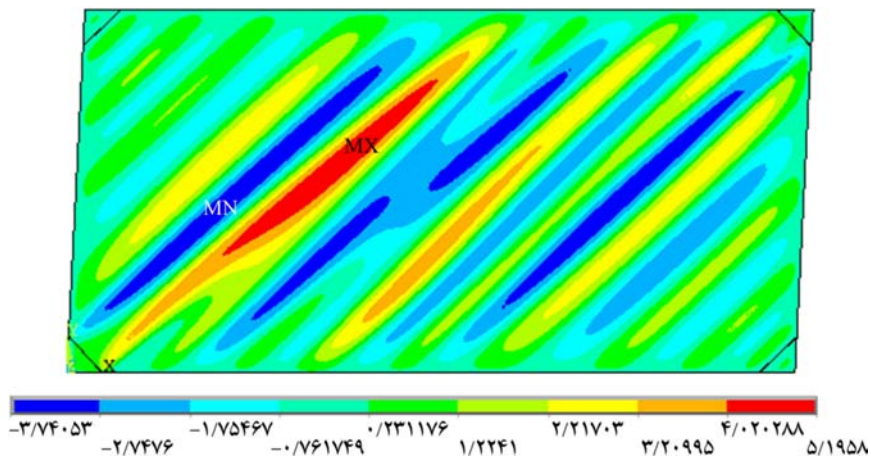
نام نمونه	تنش فون میسز (نیوتن بر مترمربع)	درصد اختلاف نمونه‌ها با نمونه دارای طول ۵ درصد ورق فولادی	
۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۵٪	۲۵۸۷/۰ E۵	-	ضخامت ورق ۰/۰۰۳ متر
۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۶٪	۲۵۸۵/۲ E۵	-۶/۲٪	
۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۷٪	۲۴۲۳/۹ E۵	-۸/۲٪	
۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۸٪	۲۳۷۳/۴ E۵	-۸/۴٪	
۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۹٪	۲۳۶۹/۰ E۵	-۸/۴٪	
۰/۰۰۳-S-۰/۰۰۹-۱۰٪	۲۳۶۷/۵ E۵	-۹/۲٪	ضخامت ورق ۰/۰۰۵ متر
۰/۰۰۵-S-۰/۰۱۵-۵٪	۲۵۸۴/۲ E۵	-	
۰/۰۰۵-S-۰/۰۱۵-۶٪	۲۴۲۴/۸ E۵	-۶/۲٪	
۰/۰۰۵-S-۰/۰۱۲۵-۷٪	۲۳۷۲/۶ E۵	-۸/۲٪	
۰/۰۰۵-S-۰/۰۱-۸٪	۲۳۶۳/۹ E۵	-۸/۵٪	
۰/۰۰۵-S-۰/۰۱-۹٪	۲۳۵۶/۵ E۵	-۸/۸٪	ضخامت ورق ۰/۰۰۷ متر
۰/۰۰۵-S-۰/۰۱-۱۰٪	۲۳۵۰/۳ E۵	-۹/۱٪	
۰/۰۰۷-S-۰/۰۲۱-۵٪	۲۵۸۰/۲ E۵	-	
۰/۰۰۷-S-۰/۰۲۱-۶٪	۲۴۰۰/۳ E۵	-۷/۰٪	
۰/۰۰۷-S-۰/۰۱۷۵-۷٪	۲۳۷۱/۸ E۵	-۸/۱٪	
۰/۰۰۷-S-۰/۰۱۴-۸٪	۲۳۳۸/۳ E۵	-۹/۴٪	ضخامت ورق ۰/۰۱ متر
۰/۰۰۷-S-۰/۰۱۴-۹٪	۲۳۳۱/۱ E۵	-۹/۷٪	
۰/۰۰۷-S-۰/۰۱۴-۱۰٪	۲۳۱۹/۱ E۵	-۱۰/۱٪	
۰/۰۱-S-۰/۰۲-۵٪	۲۵۶۸/۲ E۵	-	
۰/۰۱-S-۰/۰۲-۶٪	۲۳۸۴/۷ E۵	-۷/۱٪	
۰/۰۱-S-۰/۰۳-۷٪	۲۳۷۰/۷ E۵	-۷/۷٪	ضخامت ورق ۰/۰۱ متر
۰/۰۱-S-۰/۰۳-۸٪	۲۳۲۰/۴ E۵	-۹/۶٪	
۰/۰۱-S-۰/۰۳-۹٪	۲۳۲۰/۶ E۵	-۹/۶٪	
۰/۰۱-S-۰/۰۳-۱۰٪	۲۲۱۷/۰ E۵	-۱۳/۷٪	

۱۰- موج‌های پس کمانش نمونه‌ها

شکل موج‌های پس کمانش نمونه‌ها در مرحله‌ی آخر تحلیل (دیریت ۵ درصد) مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) مشخص است موج‌های پس کمانش نباید از سخت‌کننده‌ها عبور کند و به گوشه‌های ورق برسد. به دلیل زیاد بودن شکل موج‌های پس کمانش، برای نمونه موج‌های پس کمانش در دیوار برشی فولادی مستطیل شکل و مربع شکل با ضخامت ورق ۰/۰۰۳ متر به ترتیب در شکل‌های (۱۱) و (۱۲)



شکل (۱۲): موج‌های پس کمانش دیوار برشی فولادی مربعی



شکل (۱۳): مقادیر کانتورهای رنگی

۱۱- نتیجه گیری

۲. سختی الاستیک به دست آمده از تحلیل نمونه‌های المان محدودی با سختی به دست آمده از تئوری اندرکنش ورق و قاب (PFI) مطابقت دارد.
۳. با افزایش ابعاد ورق فولادی و سخت کننده‌های گوشه، سختی و مقاومت برشی دیوار برشی فولادی به اندازه‌ی ناچیزی زیاد می‌شود.
۴. با افزایش ضخامت ورق موج‌ها پهن تر می‌شود.
۵. با کاهش ضخامت ورق تعداد موج‌ها بیشتر می‌شود.

در این تحقیق برای جلوگیری از زیپ‌شدگی ناگهانی ورق در دیوارهای برشی فولادی مستطیل و مربع شکل، چهار سخت کننده در گوشه‌های ورق قرار داده شده است. خلاصه‌ای از مهم‌ترین نتایج این مقاله در زیر آمده است:

۱. مقاومت برشی نمونه‌های المان محدودی به دلیل در نظر گرفتن سخت‌شدگی کرنشی مصالح مقدار بیشتری را نسبت به نتایج تئوری اندرکنش ورق و قاب نشان می‌دهد.

- of Stiffener in the Corner of Plate to Avoid the Zipping of Steel Shear Walls.* Civil Engineering, Amirkabir University, **1**, 23-30 (in Persian).
2. Sabouri, S. (2001) *Lateral Load Resisting Systems An Introduction To Steel Shear Walls.* Nashre Angize, Tehran (in Persian).
 3. Gholhaki, M. and Sabouri, S. (2007) *Investigate the Behavior Ductile Steel Shear Walls with Thin Plate and the Effect of Beam-Column Connection in Their.* Ph.D. Thesis, Khajeh Nasir Toosi University (in Persian).
 4. Driver, R.G., Kulak, G.L, Kennedy, D.J.L., and Elwi, A.E. (1997) *Seismic Behavior of Steel Shear Wall.* University of Alberta Department of Civil and Environmental Engineering, Structural Engineering Report No. 215.
 5. Schumacher, A., Grondin, G.Y., and Kulak, G.L. (1997) *Connection of Infill Panels in Steel plate Shear Wall.* University of Alberta Department of Civil and Environmental Engineering, Structural Engineering Report No. 217.
 6. Behbahanifard, M.R., Gordin, G.Y., and Elwi, A.E. (2003) *Experimental and Numerical Investigation of Steel plate Shear Wall Behavior.* University of Alberta Department of Civil & Environmental Engineering, Structural Engineering Report No. 254.
 7. Kharrazi, M.H.K. (2005) *Rational Method for Analysis and Design of Steel Plate Wall.* A Thesis Submitted in Partila Fuifilment of the Requirements for the Degree of Doctor of the philosophy in the Facility of Graduate Studies, University of British Columbia.
 8. Applied Technology Council (1992) *Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures.* ATC-24, Redwood City, CA.
 9. Vian, D. and Bruneau, M. (2004) Testing of special LYS ateel plate ahear walls. *Proceeding of the 3th Would Conference Earthquake Engineering,* Vancouver, Canada, Paper No. 978.
 10. Berman, J.W. and Bruneau, M. (2005) Experimental investigation of light-gauge steel shear walls. *Journal of Structural Engineering,*
۶. در دیوار برشی فولادی مربع شکل عمدتاً موج‌ها به صورت قطری ایجاد می‌شوند (سر هر موج دو سخت‌کننده‌ی گوشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد) که حالت بحرانی تری نسبت به دیوار برشی فولادی مستطیل شکل (سر هر موج یک سخت‌کننده‌ی گوشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد) است.
۷. طول سخت‌کننده‌ی گوشه در نمونه‌های دارای ورق فولادی مربع شکل نسبت به نمونه‌های دارای ورق فولادی مستطیل شکل، بهینه‌تر می‌باشد.
۸. تنش فونمیسز گوشه‌های سخت‌کننده در نمونه‌های دارای ورق فولادی مربع شکل نسبت به نمونه‌های دارای ورق فولادی مستطیل شکل، بیشتر می‌باشد.
۹. نمونه‌های با سخت‌کننده‌ی گوشه با افزایش ضخامت ورق فولادی، به دلیل بزرگ شدن ابعاد سخت‌کننده‌ها تنش فونمیسز در مثلث محصور کاهش می‌یابد.
۱۰. در هر ضخامت ورق فولادی با افزایش درصد طول سخت‌کننده‌های گوشه تنش فونمیسز در گوشه ورق کاهش می‌یابد. درصد اختلاف تنش فونمیسز سخت‌کننده دارای طولی برابر با ۵ درصد طول ورق فولادی با بقیه نمونه‌ها بین ۱۳/۷ درصد کاهش و ۰/۱ درصد کاهش می‌باشد.
۱۱. در هر درصد طول سخت‌کننده‌های گوشه با افزایش ضخامت ورق فولادی، تنش فونمیسز در گوشه ورق کاهش می‌یابد. درصد اختلاف تنش فونمیسز نمونه‌ای دارای ورق فولادی با ضخامت ۰/۰۳ متر با بقیه نمونه‌ها بین ۱۵/۰ درصد کاهش و ۰/۰۳ درصد کاهش می‌باشد.
۱۲. استفاده از سخت‌کننده‌های گوشه‌ای در دیوار برشی فولادی باعث می‌شود تا پدیده‌ی زیپ‌شدگی در گوشه ورق ایجاد نشود.
۱۳. دو سر سخت‌کننده‌ها باید فاصله‌ی مناسبی تا ورق داشته باشد به گونه‌ای که انحنا‌ی موج پس‌کمانش عبوری از آن کم باشد و باعث پارگی ورق نشود.

مراجع

1. Sabouri, S. and Sajadi, R. (2010) *Laboratory Study*

131(2), 259-267.

11. Qu, B., Bruneau, M., Lin, C.H., and Tsai, K.C. (2008) Testing of full scale two-story steel plate shear walls with rbs connection and composite floors. *ASCE Journal of Structural Engineering*, **134**(3), 364-373.
12. Guendel, M., Hoffmeister, B., and Feldmann, M. (2011) Experimental and numerical investigations on steel shear walls for seismic retrofitting. *Processings of the 8th International Conference on Structural Dynamics*, 474-481.
13. Habib Nejad, K. and Moharami, H. (2011) The effect of hardness columns on the behavior of thin steel shear walls. *Journal of Civil Engineering*, **45**(2), 169-178 (in Persian).

اصطلاحات فنی

Steel Plate Shear Wall	۱- دیوار برشی فولادی
Stiffener	۲- سخت کننده
Post Buckling Field	۳- میدان پس کمانش
Ziping	۴- زیپ شدگی
Plate – Frame Interaction (PFI)	۵- اندرکنش ورق و قاب

Plate Zipping in Major Deformation of Rectangular and Square Shape Steel Shear Panels

Melika Peyrovan¹ and Saeid Sabouri^{2*}

1. M.Sc. of Civil Engineering of Earthquake Sadrolmoteallehin University, Iran

2. Professor of Civil Engineering, Industrial University of Khaje-Nasir Toosi and Sadrolmoteallehin, Iran,

*Corresponding Author, e-mail: sabouri@khtu.ac.ir

Plate in steel plate shear walls has high capability for earthquake energy damping. The experimental investigations show that the plate zipping in corner and edge of plate causes damage and failure in steel plate shear walls. The main objective of this research is to prevent plate zipping with using four stiffeners at steel plate corners. For this reason, 24 rectangular steel plate shear walls and 24 square steel plate shear walls, with four stiffeners in edge of the plate as one-story frame and unite snap were modeled by ANSYS 15.0. Corner stiffeners have rectangular shapes. All samples are subject to 15% drift, which occurs gradually applied to samples. In this study, interaction plate and frame theory has been used to design the shear panel. Thickness of steel plate shear walls are 0.003, 0.005, 0.007 and 0.01 meter. To find the optimum height and thickness dimensions of stiffeners, 557 times of trial and error is done in the software. The results show that by putting above-mentioned stiffeners, plate zipping can prevented. According to von Mises stress values in rectangular and square steel shear walls, the optimum mode for stiffener length is 8.5% and 6% of plate steel length respectively, which can be considered the length of stiffener an average 7% of the steel plate length. In present research, the smaller dimensions of square steel plate shear wall than rectangular ones have obtained. The results also show, by increasing the thickness of the steel plate, because of the large dimensions of stiffeners von Mises stress in the corners of the plate is reduced. In square steel shear walls, the post buckling field, is diagonally created, and therefore its condition is more critical than the rectangular steel shear wall.

Keywords: Steel Plate Shear Wall; Stiffener; Post Buckling Field; Zipping