

بررسی ضخامت ورق پوششی ضربدري و عرض آن در تقویت دیوار برشی فولادی 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

دیواربرشی فولادی در برابر بارهای جانبی که از طرف زلزله بر قاب اعمال می شود، قبل از رسیدن به حد مقاومت خود دچار کماتش می شود و این به دلیل ضخامت کمی است که دیواربرشی نسبت به تیر و ستون مجاور خود دارد و کماتش آن باعث کاهش ظرفیت باربری ورق های دیوار برشی فولادی می شود. از این رو روش های مقاوم سازی ورق های دیوار برشی فولادی می تواند بسیار حائز اهمیت باشد. در این تحقیق برای افزایش ظرفیت باربری این ورق ها از ورق های تقویتی که به صورت ضربدري در دو طرف دیوار برشی فولادی به آن متصل هستند، استفاده شده است. این تحقیق در دو بخش مورد بررسی قرار گرفته است که در این تحقیق ابتدا دیواربرشی فولادی براساس مدل آزمایشگاهی صبور قمی و سجادی مدلسازی شده و پس از صحت سنجی مدل عددی با مدل آزمایشگاهی به تغییر پارامترهای ضخامت ورق تقویتی، عرض ورق و ضربدري و تحلیل آنها پرداخته شده است. نتایج حاصل از تحلیل نشان داد که با افزایش ۱٫۵ برابری ضخامت ورق، مقاومت برشی ۷٪ افزایش می یابد. با افزایش ۱٫۵ برابری عرض ورق فولادی سختی برشی ۴۲٪ و مقاومت برشی ۳۲٪ کاهش می یابد و با کاهش ۵۰٪ عرض ورق، مقاومت برشی ۸٪ کاهش می یابد. با توجه به نتایج حاصل برای مدل صحت سنجی، نتایج مدل های عددی و آزمایشگاهی با تقریب مناسبی با هم همخوانی دارند.

کلمات کلیدی: دیوار برشی فولادی؛ بار جانبی؛ عرض ورق ضربدري؛ ضخامت ورق ضربدري؛ شکل پذیری؛ تحلیل غیر خطی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/jsce.2018.101756.1355	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2018.101756.1355	۱۳۹۸/۰۶/۱۰	۱۳۹۶/۱۲/۱۶	۱۳۹۶/۱۲/۱۶	۱۳۹۶/۱۱/۰۶	۱۳۹۶/۰۸/۰۱
محمود سراجی					*نویسنده مسئول:	
mseraji86@gmail.com					پست الکترونیکی:	

Investigation on cross sheeting thickness and its width in strengthening of steel shear wall under seismic load

Daryia Dehghanfard¹, Mahmood Seraji^{*2}, Mohammad Reza Forudi³

¹ Department of Civil Engineering, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

² Department of Civil Engineering, Bushehr branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

³ Department of Civil Engineering, Dashtestan Branch, Islamic Azad University, Dashtestan, Iran

ABSTRACT

The steel shear wall, as a system to resist the lateral loads, buckles when it is vulnerable to the lateral loads applied to the frame before it reaches its ultimate strength. This phenomenon is due to the small thickness of shear wall relative to the adjacent beam and column. Hence, the idea of reinforcing shear wall to control the sheet buckling seems to be quite applicable. In this research, cross sheet have been used to increase loading capacity of reinforced sheets, which are attached to the both sides of the steel shear wall. In this regard, at first the steel shear wall was modeled according to Qomy experimental model. After verification of the developed model conducted by comparing with the results from laboratory test, parametric study was carried out on the thickness and width of the reinforcing sheet. The obtained results of the analysis showed that by increasing the sheeting thickness to 1.5 times, shear strength is enhanced by 7%. Increasing the sheeting width by 1.5 times shear stiffness and shear strength are decreased by 42% and 32% respectively and decreasing of this parameter by 50% leads to decrease of shear strength by 8%. According to the obtained results for the verification model, numerical and experimental results are in good agreement.

ARTICLE INFO

Receive Date: 23 October 2017

Revise Date: 26 January 2018

Accept Date: 07 March 2018

Keywords:

Steel Shear Wall;
Lateral load;
Width of cross sheet;
Thickness of cross sheet;
Ductility;
Nonlinear analysis

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

Doi: 10.22065/jsce.2018.101756.1355

*Corresponding author: Mahmood Seraji

Email address: mseraji86@gmail.com

۱- مقدمه

مطالعات نشان داده‌است که استفاده از پانل‌های فولادی حتی بسیار نازک می‌تواند جابجایی نسبی طبقه را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد بدون این‌که شتاب طبقه افزایش قابل توجهی داشته باشد.

دیوار برشی فولادی مشابه تیر و ورق طره‌ای عمل می‌کند که ستون‌ها به منزله‌ی بال‌ها، تیرهای طبقات همانند سخت‌کننده‌ها و ورق‌های فولادی به عنوان جان آن می‌باشد. بر خلاف تیر و ورق‌ها که به علت ضعیف بودن بال‌ها در آن، بال‌ها نقش زیادی در گرفتن نیروها ندارند، در این دیوارها با توجه به قوی بودن ستون‌ها، ستون‌ها نیز می‌توانند نقش خوبی در باربری داشته باشند.

از آن‌جا که عمدتاً ضخامت ورق در این دیوارها کم است، تحت بارهای جانبی کوچک هم کمانش می‌کنند. البته مشابه بادبندهای ضربدری، در دیوارهای برشی فولادی نیز فرض می‌شود که قطری که تحت فشار قرار می‌گیرد کمانش کرده و قطر دیگر از طریق عمل میدان کشش قطری مقاومت خواهد کرد.

صبوری و همکاران [۱]، این دیوارها علاوه بر افزایش مقاومت، شکل‌پذیری و جذب انرژی، اقتصادی و مقرون به صرفه بوده و در ساخت ساختمان‌های بلند مرتبه و هم‌چنین مقاوم سازی ابنیه مورد استفاده قرار می‌گیرند. سختی این دیوارها از سایر سیستم‌های مهاربندی از جمله X شکل بیش‌تر است و با توجه به امکان ایجاد بازشو در هر نقطه از آن، کارایی سایر سیستم‌های مهاربندی را از این نظر دارا می‌باشد. هم‌چنین رفتار سیستم در محیط خمیری و میزان جذب انرژی آن نسبت به سیستم‌های مهاربندی بهتر است. بررسی‌ها نشان داده‌است که استفاده از سیستم دیوار برشی فولادی، در میزان فولاد مصرفی تا حدود ۵۰ درصد نسبت به قاب خمشی فولادی به صرفه‌تر بوده که این نسبت در مورد مهاربندی‌های هم محور در حدود ۱۵ درصد است.

کاسیس [۲]، در مورد ساختمان‌های کوتاه‌تر، جذب انرژی سیستم دیوار برشی فولادی نسبت به برخی دیگر از سیستم‌های باربر جانبی مثل مهاربند برون محور کم‌تر است. علت پایین بودن میرایی این سیستم مقاومت بالای آن حتی با در نظر گرفتن حداقل ابعاد اجرایی می‌باشد. به تناسب کاهش میرایی سیستم‌ها نیروی ناشی از زلزله افزایش می‌یابد و مقاطع سنگین‌تری برای ستون و فونداسیون مورد نیاز می‌باشد. به همین دلیل استفاده از این سیستم تنها در ساختمان‌های بلند و سنگین و به تعداد کم توصیه می‌شود.

برمن و برونو [۳]، با افزایش نسبت لاغری (نسبت طول دیوار به ضخامت ورق)، مقدار شکل‌پذیری دیوار افزایش می‌یابد. این روند افزایش شکل‌پذیری دیوار، رفته رفته با افزایش نسبت لاغری کاهش می‌یابد. این روند افزایش می‌تواند به این علت باشد که کاهش ضخامت ورق و به تبع آن افزایش نسبت لاغری، باعث می‌شود که از ظرفیت ورق به طور کامل استفاده گردد و در نتیجه با افزایش نسبت لاغری روند افزایش شکل‌پذیری دیوار کاهش یابد. استهلاک انرژی در یک نسبت لاغری مشخص حداکثر می‌شود و با افزایش نسبت لاغری از مقدار سختی و مقاومت دیوار کاسته می‌شود. افزایش ابعاد بازشو باعث کاهش مقدار سختی، مقاومت، شکل‌پذیری و استهلاک انرژی دیوار برش فولادی می‌شود.

دیلمی و دفتری [۴] در سال ۲۰۰۰، بیش از ۵۰ مدل را که دارای بازشو مستطیلی در وسط پانل بودند بررسی کردند و نتیجه گرفتند که تعبیه‌ی بازشو، حتی اگر درصد نسبتاً کوچکی نیز داشته باشد باعث کاهش قابل توجهی در ظرفیت برشی می‌شود. هم‌چنین در مورد دیوارهای با ورق نازک‌تر، حداکثر ظرفیت برشی با نسبت‌های کوچک‌تر ارتفاع به عرض بازشو گشودگی به دست آمدند و کاهش ظرفیت برشی پس از رسیدن به مقدار حداکثر نیز، در ورق‌های ضخیم آهسته‌تر از ورق‌های نازک‌تر صورت می‌گرفت. در مورد درصدهای کوچک بازشو، کاهش ظرفیت برشی بیش‌تر وابسته به ضخامت ورق بوده و نسبت بهینه‌ی ابعاد بازشو نیز تابعی از ضخامت ورق است.

برونو و باگواگر در سال ۲۰۰۲ [۵]، تحلیل‌های غیر خطی را برای بررسی تاثیر استفاده از صفحات فولادی نازک و فولاد با تسلیم پایین برای بهسازی لرزه‌ای قاب‌های فولادی واقع در مناطق با لرزه‌خیزی کم و زیاد بر روی رفتار سازه انجام داده‌اند. مشخص گردید که حتی استفاده از پانل‌های خیلی نازک هم می‌تواند دریافت طبقه را به طور قابل توجهی کاهش دهد و این‌که فولاد با تنش تسلیم پایین تا حدودی بهتر از فولاد معمولی در شرایط لرزه‌ای شدید رفتار می‌کند ولی هزینه‌ی بیش‌تری دارد.

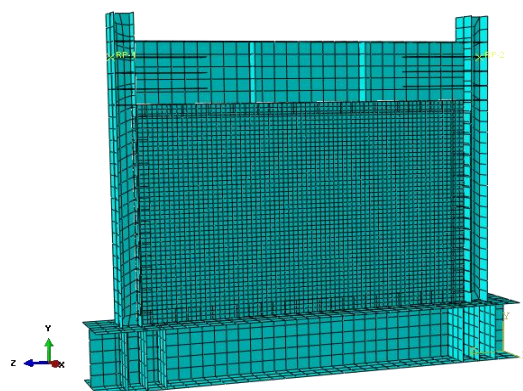
خرازی و همکاران [۶]، به بررسی طراحی دیوارهای برشی فولادی بر اساس تغییر شکل برشی و خمشی جداگانه که در یک قاب چند طبقه اتفاق می افتد پرداختند. آن‌ها یک مدل اصلاح شده‌ی اندرکنش قاب و صفحه را برای در نظر گرفتن تغییر شکل‌های برشی و خمشی و نیروهای حاصل از آن پیشنهاد دادند. هدف آنها اندرکنش بین آن‌ها و مشخص کردن نقش هریک در تغییر شکل‌ها و مقاومت بود. ژائوو آستانه اصل [۷] در سال ۲۰۰۴، دیوارهای برشی فولادی ۲ و ۳ طبقه را که دارای ستون‌های لوله‌ای پر شده با بتن بودند آزمایش کردند. هر دو نمونه توانستند بعد از ۷۹ سیکل که ۳۰ عدد از آن غیر ارتجاعی بود به دریفت حداقل ۰٫۳٪ برسند. در هر دو نمونه ستون‌ها عمدتاً غیر ارتجاعی باقی ماندند که نشان دهنده‌ی احتمال کم خرابی پیش‌رونده در زلزله‌های شدید است.

رو و همکاران [۸] مطالعه‌ی آزمایشگاهی بر روی شاه تیر های فولادی و بتنی کامپوزیتی با دال پیش ساخته با ۲۸ متر طول صورت دادند و اثر ترک خوردگی هم در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که ترک‌ها در تیر کامپوزیتی دارای دال پیش ساخته در ناحیه اتصالات بزرگ رخ می دهد. همچنین فاصله‌ی بین آرماتورهای عرضی تأثیر زیادی بر روی ترک‌ها دارد. بنابراین ضروری است که در محاسبات عرض ترک، اثر اتصال و فواصل آرماتورهای برشی دیده شود.

دماتیس و همکاران [۹] پنل های برشی که رفتاری معادل با المان های مهاربندی را داشتند به صورت ابتکاری به کار پیشنهاد دادند. نتایج بصورتی بود که پنل های با فولاد دارای تنش تسلیم پایین تر، رفتار مناسب تری در کاهش تغییر مکان طبقه و سطح خسارت اولیه سازه دارند. برونا و باگواگر و برمان و برونا [۱۰، ۱۱] مطالعه‌ی غیر خطی بر روی اثر استفاده از پانل های دارای مقطع لاغر و فولاد با حد تسلیم پایین انجام دادند. نتیجه حاصله نشان داد که استفاده از مقطع لاغر دریفت طبقه را کم می کند و فولاد با حد تسلیم پایین تری نسبت به فولادهای مورد استفاده در سازه‌ها دارند. در این تحقیق ابتدا مدل PB (دیواربرشی فولادی بدون ورق ضربدری) با استفاده از نرم افزار آباکوس طراحی شده است سپس با استفاده از مدل آزمایشگاهی به صحت سنجی مدل PB پرداخته می شود. سپس با اضافه کردن ورقهای ضربدری و تغییر پارامترها، مدل‌های دیگر با مدل PB مقایسه می شود. قاب در پای سازه در سه جهت اصلی گیرداری باشد و بار لرزه ای در گوشه بالایی قاب وارد می شود. در ادامه مدل های مختلفی این تحقیق آورده شده است، مدل PB اصلی دیواربرشی بدون ورق ضربدری می باشد و مدل PBw10t2 مدل اصلی دیواربرشی فولادی یا ورق ضربدری می باشد که سایر مدلها با آن مقایسه می شود. در مدل PBw10t1 ضخامت ورق ضربدری از ۲ به ۱ کاهش یافته است، در مدل PBw10t3 ضخامت ورق ضربدری از ۲ به ۳ افزایش یافته است، در مدل PBw5t2 عرض ورق ضربدری از ۱۰ به ۵ کاهش یافته است و در مدل PBw15t2 عرض ورق ضربدری از ۱۰ به ۱۵ افزایش یافته است. پارامترهای مهم این تحقیق شامل ضخامت ورق ضربدری فولادی (t)، عرض ورق فولادی ضربدری (w) می باشد و در پایان نتایج بدست آمده در قالب شکل و جداول ارایه شده است.

۲- مشخصات مدل

در این تحقیق ابتدا مدل PB (دیواربرشی فولادی بدون ورق ضربدری) با استفاده از نرم افزار آباکوس طراحی شده است سپس با استفاده از مدل آزمایشگاهی [۱] به صحت سنجی مدل PB پرداخته می شود. سپس با اضافه کردن ورقهای ضربدری و تغییر پارامترها، مدل‌های دیگر با مدل PB مقایسه می شود. قاب در پای سازه در سه جهت اصلی گیرداری باشد و بار لرزه ای در گوشه بالایی قاب وارد می شود. است.



شکل (۱): مدل دیوار برشی فولادی در نرم افزار آباکوس

در شکل (۱) مدل PB طراحی شده بامش بندی نشان داده شده است وازالمان Shell برای مدلسازی استفاده شده است . در جدول ۱ مشخصات اعضای تیروستون و ورق دیواربرشی وسخت کننده های دیواربرشی [1] نشان داده شده که ازاین مشخصات برای مصالح اعضای قابها در مدلها استفاده شده است وتمام اعضای قاب بهم جوش شده اند.

جدول (۱) : مشخصات مصالح مصرفی در قاب با دیوار برشی فولادی [۱]

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

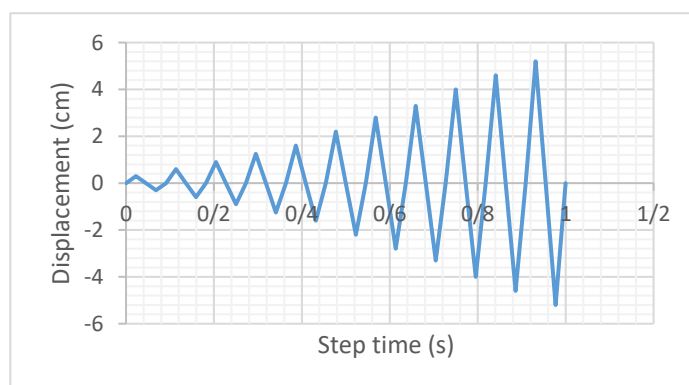
جدول (۲) : شماره و مشخصات مدلها ی مورد بررسی در اباکوس و تحلیل پارامتریک

مدل	ضخامت ورق (mm)	عرض ورق فولادی (cm)
PB	-	-
PBw10t2	2	10
PBw10t1	1	10
PBw10t3	3	10
PBw5t2	2	5
PBw15t2	2	15

در جدول ۲ مدل های مختلف این تحقیق آورده شده است مدل PB مدل اصلی دیواربرشی بدون ورق ضربدری می باشد و مدل PBw10t2 مدل اصلی دیواربرشی فولادی یا ورق ضربدری می باشد که سایر مدلها با آن مقایسه می شود. در مدل PBw10t1 ضخامت ورق ضربدری از ۲ به ۱ کاهش یافته است، در مدل PBw10t3 ضخامت ورق ضربدری از ۲ به ۳ افزایش یافته است، در مدل PBw5t2 عرض ورق ضربدری از ۱۰ به ۵ کاهش یافته است و در مدل PBw15t2 عرض ورق ضربدری از ۱۰ به ۱۵ افزایش یافته است. پارامترهای جدول ۲ شامل ضخامت ورق ضربدری فولادی (t)، عرض ورق فولادی ضربدری (w) می باشد.

۳- بارگذاری

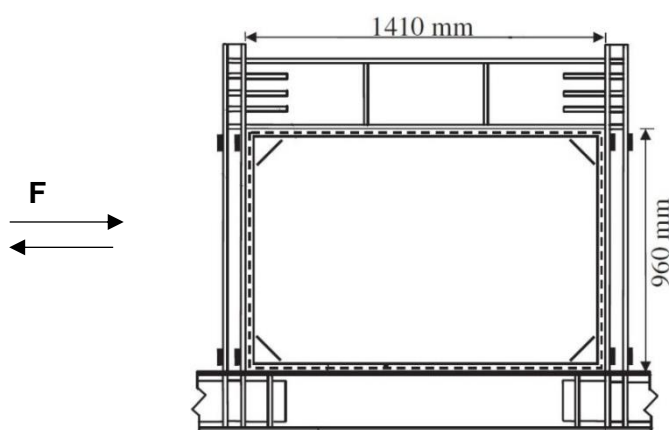
بارگذاری بر اساس آیین نامه ANSI/AISC 341-05 بصورت تناوبی و در دو جهت مثبت و منفی به سازه اعمال می شوند و براساس آن جابجایی سازه مورد ارزیابی قرار میگیرد، همچنین با استفاده از بارگذاری سیکلی میتوان منحنی هیستریزس مصالح را بدست آورد. در شکل ۲ سیکل بارگذاری قاب نشان داده شده است.



شکل ۲: سیکل بارگذاری اعمال شده به سازه [۱۲]

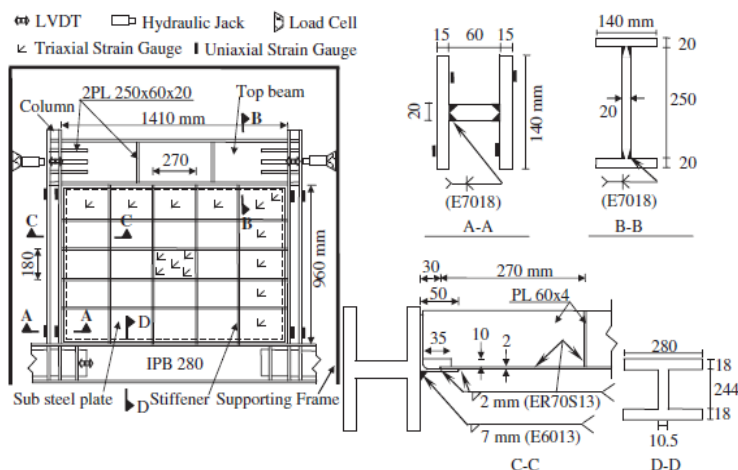
۴- صحت‌سنجی مدل

برای صحت‌سنجی از نمونه‌ی آزمایشگاهی [1] که به صورت شماتیک در شکل ۳ نمایش داده شده است استفاده می‌شود.

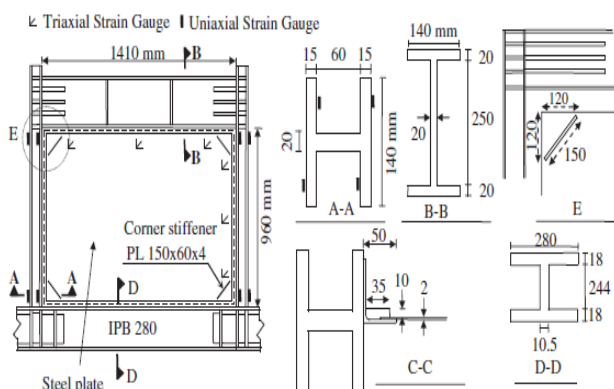


شکل ۳: ابعاد ورق مدل آزمایشگاهی دیوار برشی فولادی [1]

ابعاد ورق دیوار برشی فولادی $141 \times 96 \times 0.2$ سانتی‌متر بوده و تحت بارگذاری تناوبی که به صورت رفت و برگشتی در بالای قاب اعمال شده است، (شکل ۳)، قرار گرفته است. فولاد مصرفی برای قاب و ورق مختلف می‌باشد، قاب با تنش تسلیم 4149 و ورق دیوار برشی با تنش تسلیم 1924 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع استفاده شده است. و اتصالات با نبشی و جوش کامل می‌باشد. در این آزمایش سه مدل مورد بررسی قرار گرفت: ۱- مدل DS-SPSW (دیوار برشی فولادی با سخت‌کننده) که در شکل ۴ نشان داده شده است. ۲- مدل DS-PSW (دیوار برشی فولادی بدون سخت‌کننده) که در شکل ۵ نشان داده شده است. ۳- مدل Frame، که قاب بدون دیوار برشی می‌باشد.

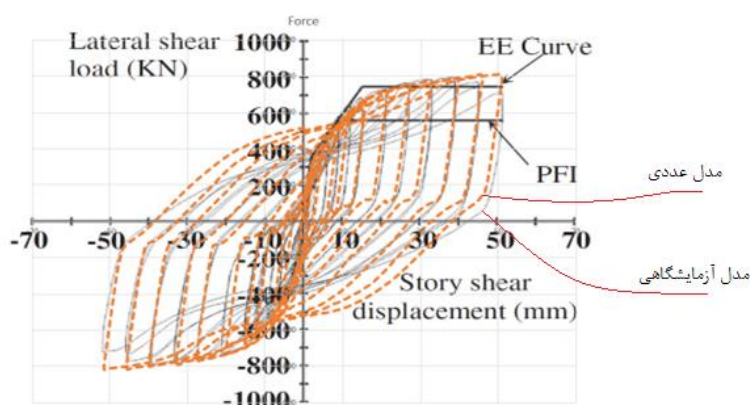


شکل ۴: مشخصات مدل DS-SPSW آزمایشگاهی [1]



شکل ۵: مشخصات مدل DS-PSW آزمایشگاهی [1]

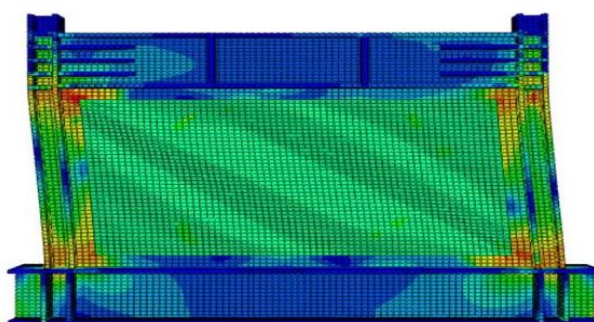
در زیر منحنی نیرو - تغییر مکان دیوار برشی آزمایشگاهی با نمونه‌ی مدل شده در نرم افزار آباکوس مقایسه شده است:



شکل ۶: مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی در نرم افزار آباکوس برای مدل DS-PSW [1]



شکل ۷: نتایج آزمایش نیروهای جانبی بر روی نمونه آزمایشگاهی [1]



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

با توجه به شکل (۸)، مدل عددی دیوار برشی و مقایسه آن با مدل آزمایشگاهی، شکل (۷)، نشان می‌دهد که پوش آور تنش‌ها در نمونه‌ی آزمایشگاهی و عددی یکسان است، همچنین شکل (۶)، منحنی هیستریزس دو مدل نشان می‌دهد که مدل عددی باریک‌تر از نمونه‌ی آزمایشگاهی است. در جدول ۳ نتایج مقاومت، سختی برشی و انرژی جذب شده در قاب بین مدل‌های آزمایشگاهی و عددی نشان داده شده است.

جدول ۳: مقایسه نتایج آزمایشگاهی و مدل آباکوس [1]

مدل	سختی برشی Ku (KN/m)	مقاومت برشی Fpu (kN)	تغییر مکان برشی (mm)	اتلاف انرژی (kN.m)
DS-SPSW-0%:EE	252228.9	791.54	59.8	87.82
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
Different (%) (DS-PSWABAQUS and DS-PSW-%:EE)	11.57	4.36	3.37	5.56

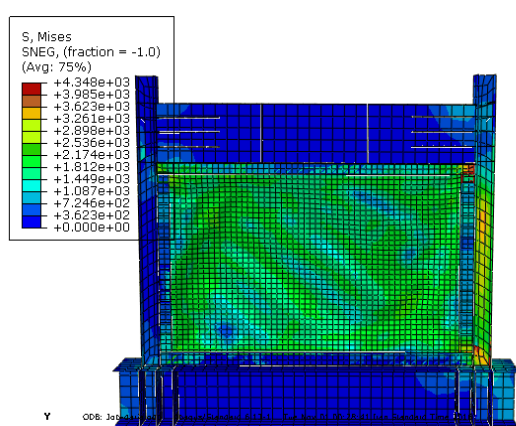
با توجه به نتایج حاصل برای مدل DS-PSW اختلاف مقاومت برشی، سختی برشی، تغییر مکان برشی و اتلاف انرژی در قاب بین مدل عددی و مدل آزمایشگاهی به ترتیب ۴،۳۶، ۱۱،۵۷ و ۳،۳۷ و ۵،۵۶ درصد می‌باشد که در حد قابل قبولی برای مدل عددی می‌باشد.

۵- خروجی های حاصل از تحلیل

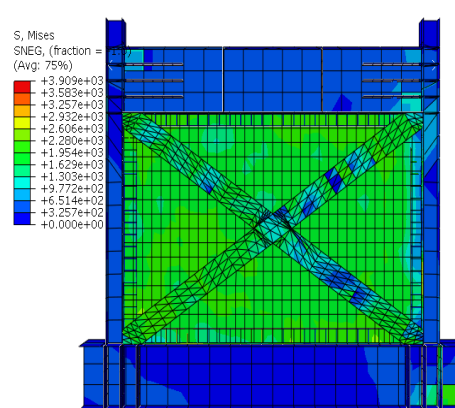
خروجی های مورد بررسی مربوط به کانتور های تنش و کرنش پلاستیک، منحنی هیستریزیس قاب، شکل پوش و سختی کاهش یافته قاب می باشد.

۵-۱- نتایج تغییرات ضخامت ورق ضربدری

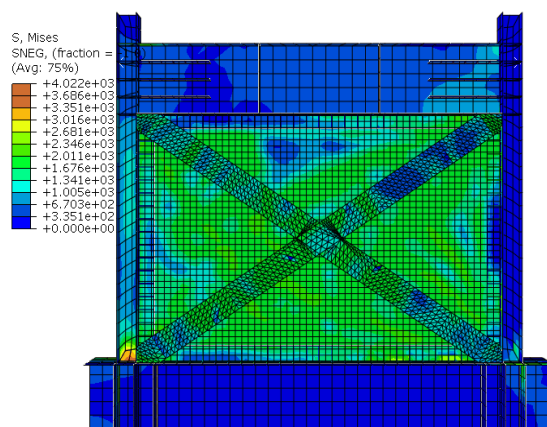
یکی از عوامل مهم در تغییرات پارامتر های ورق ضربدری ضخامت مورد استفاده در این ورق ها می باشد. در این قسمت با تغییرات ضخامت ورق ضربدری با اندازه های ۱، ۲ و ۳ میلی متر بررسی هایی برای رفتار قاب صورت گرفته شده است و نتایج با مدل بدون ورق ضربدری مقایسه شده است. مقایسه های صورت گرفته با مدل های PB و PT می باشد. در ادامه به بررسی کانتور تنش های مایزس، کرنش های پلاستیک و کانتورهای کمانش در مدل ها پرداخته می شود.



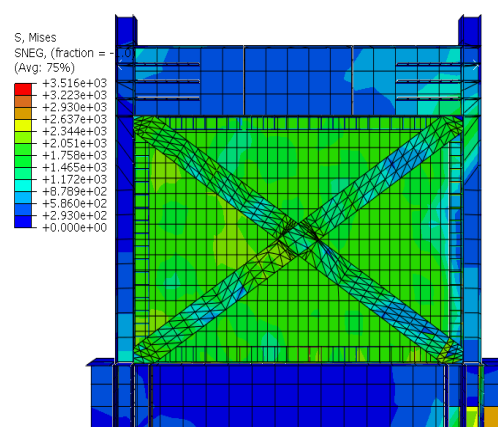
PB



PBw10t2



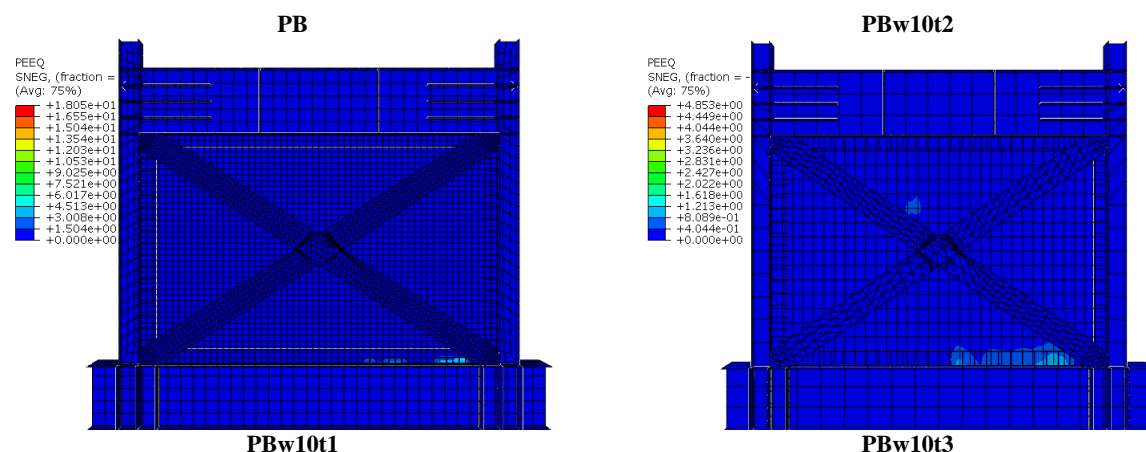
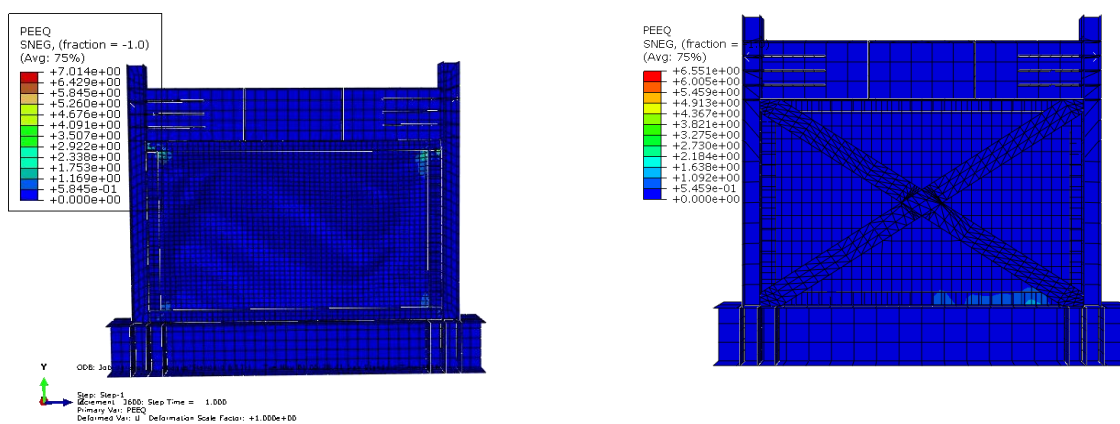
PBw10t1



PBw10t3

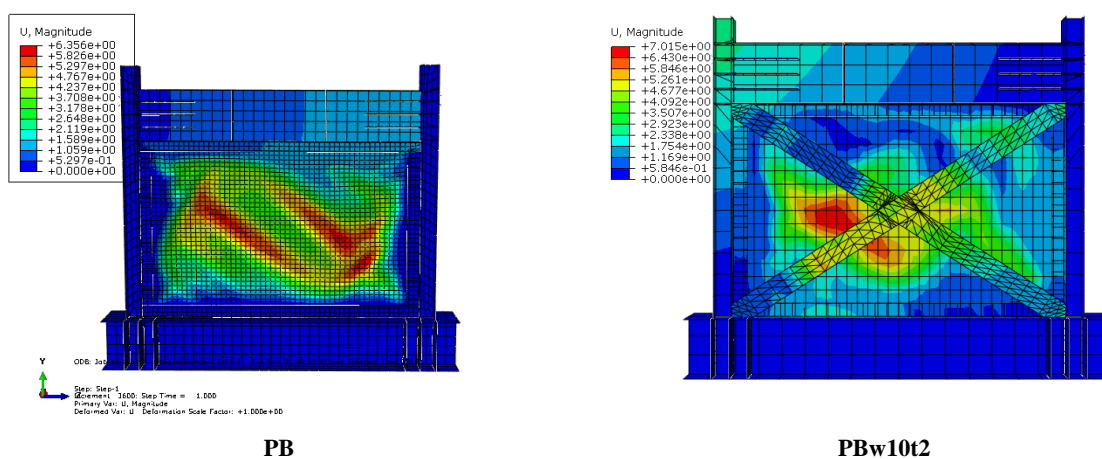
شکل ۹: کانتور تنش های موجود در مدل های پارامتریک در اثر تغییر ضخامت ورق

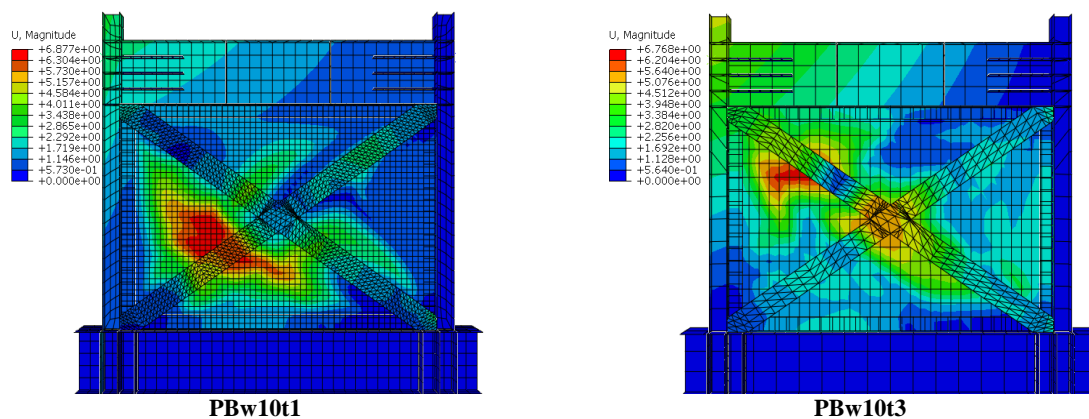
در شکل ۹ می توان توزیع تنش در مدل های مختلف را مورد بررسی قرار داد. مشاهده می شود که با افزایش ضخامت به تدریج کانتور تنش ها کمرنگ تر شده و توزیع تنش در ورق کاهش می یابد.



شکل ۱۰: کانتور کرنش پلاستیک در مدل های پارامتریک در اثر تغییر ضخامت ورق

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



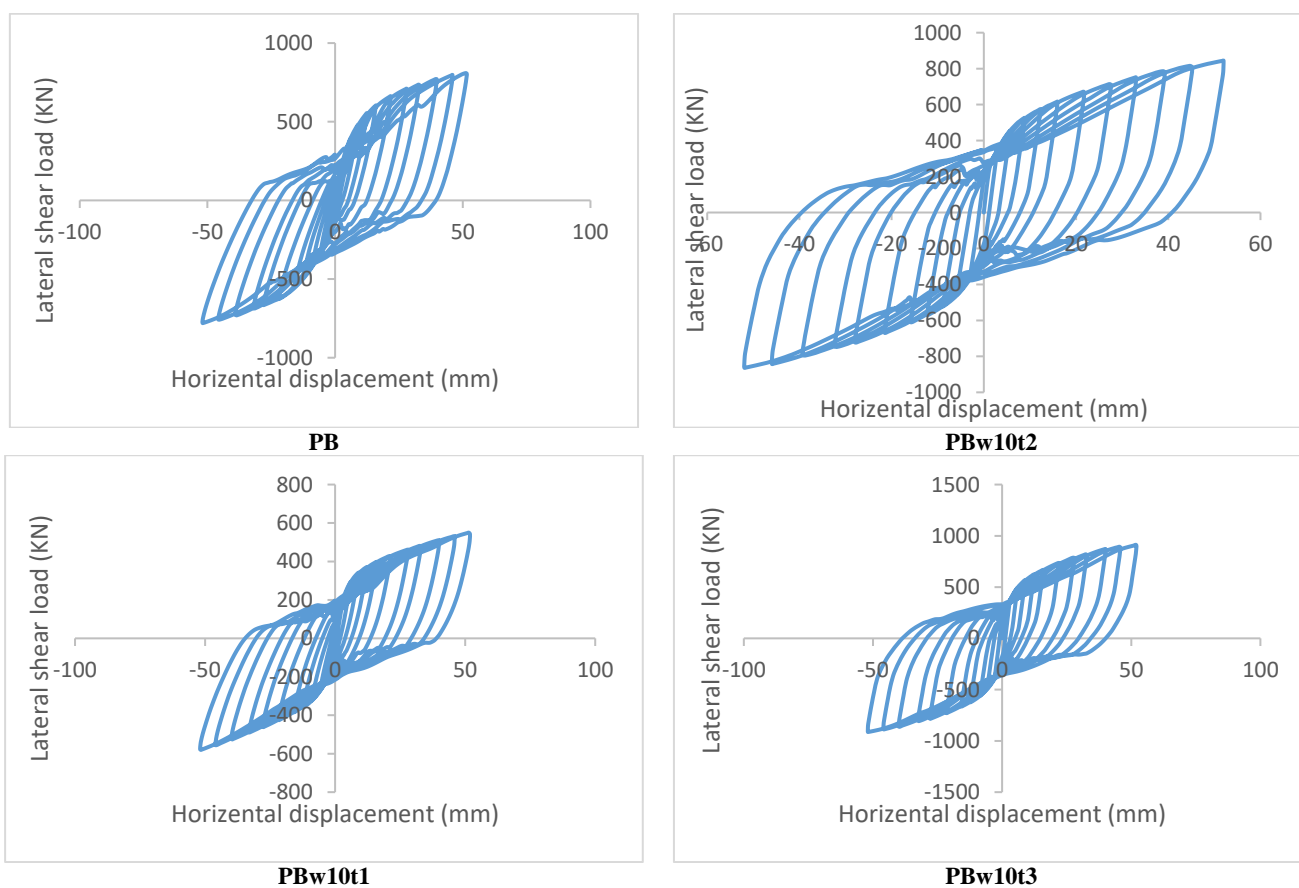


PBw10t1

PBw10t3

شکل ۱۱: کانتور جابجایی کلی و کمانش ورق مدل های پارامتریک در اثر تغییر ضخامت ورق

با توجه به شکل ۱۱، با افزایش ضخامت امکان کمانش در ورق کمتر شده و کانتورهای جابجایی کم رنگ تر می باشند. برای بررسی بارهای رفت و برگشتی و میزان برش ایجاد شده در قاب شکل های هیستریزس از جمله مهم ترین خروجی هایی می توانند باشند که رفتار قاب را به درستی نشان می دهند.



PB

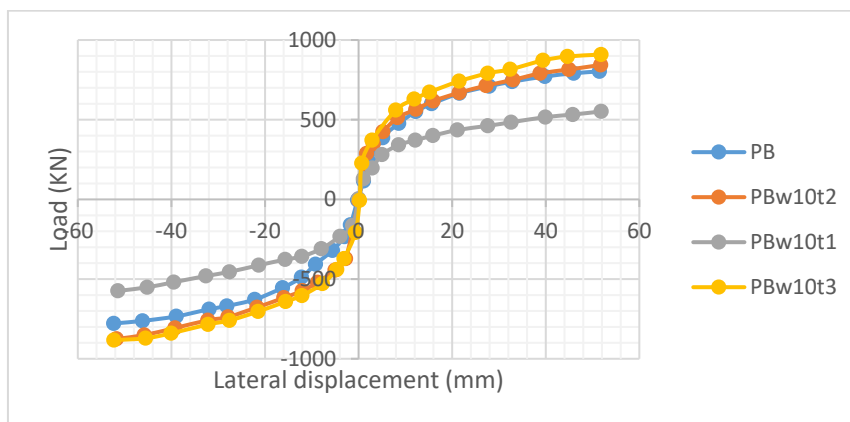
PBw10t2

PBw10t1

PBw10t3

شکل ۱۲: شکل هیستریزس بار-جابجایی برای مدل های مختلف تحت تغییر پارامتر ضخامت ورق ضربدری

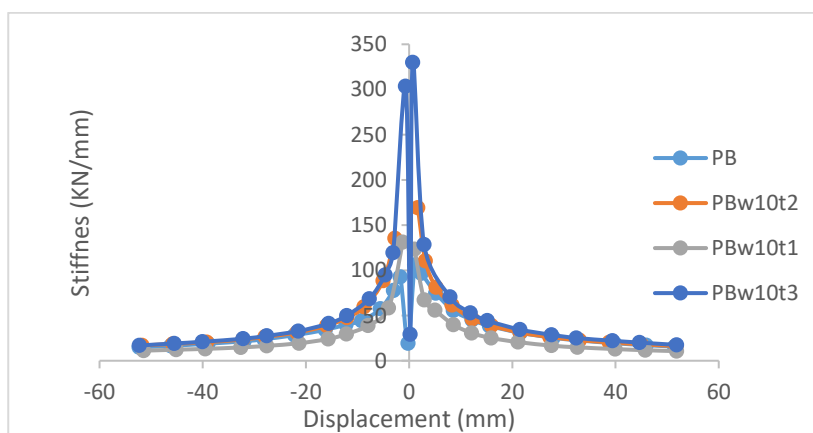
در شکل ۱۲ برای مدل های مختلف تحت تغییرات ضخامت ورق ضربدری تقویتی ورق فولادی دیوار برشی، شکل هیستریزیس بار جابجایی نشان داده شده است. با استفاده از شکل هیستریزیس می توان شکل پوش آور مدل های مختلف را رسم نمود که در شکل ۱۳ برای مدل های مختلف نشان داده شده است.



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

با توجه به شکل های پوش آور، شکل ۱۳، با افزایش ضخامت ورق ضربدری از ۲ به ۳ میلی متر افزایش مقاومت در دیوار به وجود می آید ولی با کاهش ضخامت ورق از ۲ به ۱ میلی متر، تغییرات چشم گیری در افت مقاومت قاب، ملاحظه می شود به صورتی که حدود ۵۰ درصد مقاومت کاهش می یابد، در نتیجه باید ضخامت ورق های فولادی از ضخامت ورق دیوار برشی فولادی کمتر نباشد.

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 می آید.

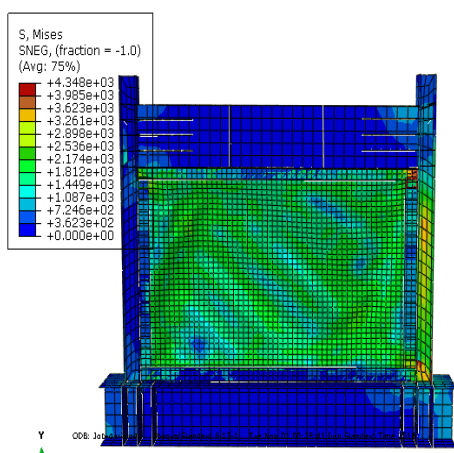


شکل ۱۴: شکل زوال سختی مدل های تغییر ضخامت ورق فولادی ضربدری در طول بارگذاری

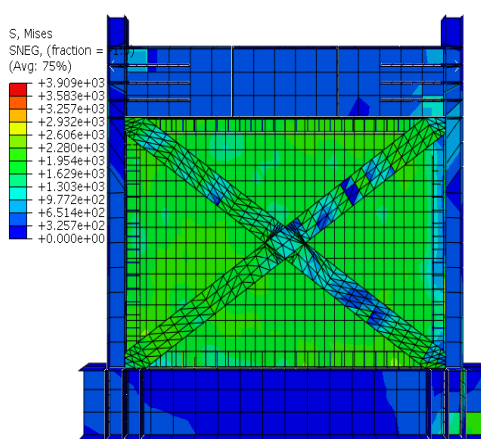
با توجه به شکل ۱۴ با افزایش ضخامت ورق های ضربدری که ضخامت بیشتری از ورق دیوار دارند، سختی قاب افزایش می یابد ولی با ضخامت های پایین تر از ورق دیوار این میزان کاهش می یابد.

۲-۵- نتایج تغییرات عرض ورق ضربدری

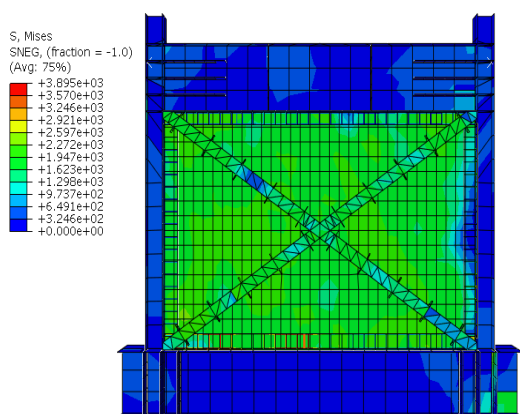
در این قسمت با تغییرات اندازه عرض ورق ضربدری با اندازه های ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی متر بررسی هایی برای رفتار قاب با دیوار برشی فولادی صورت گرفته شده است و نتایج با مدل بدون ورق ضربدری مقایسه شده است. مقایسه مربوط با مدل های PB و PT انجام شده است. در ادامه به بررسی کانتور تنش های مایزس، کرنش های پلاستیک و کانتورهای کمانش در مدل ها پرداخته می شود.



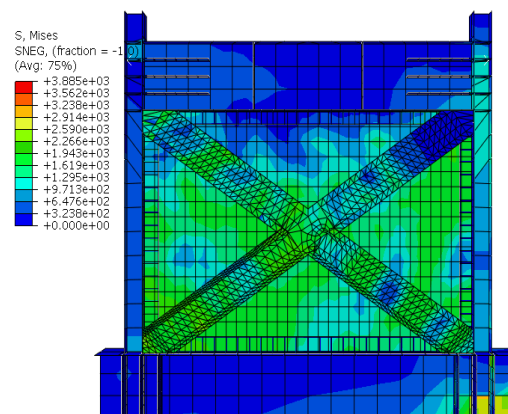
PB



PBw10t2



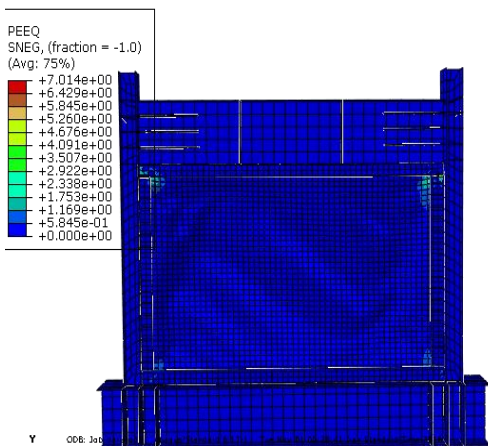
PBw5t2



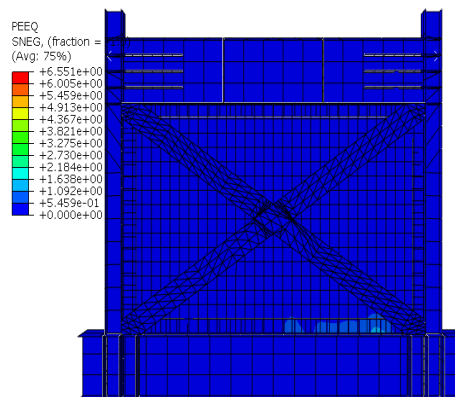
PBw15t2

شکل ۱۵: کانتور تنش های موجود در مدل های پارامتریک در اثر تغییر عرض ورق

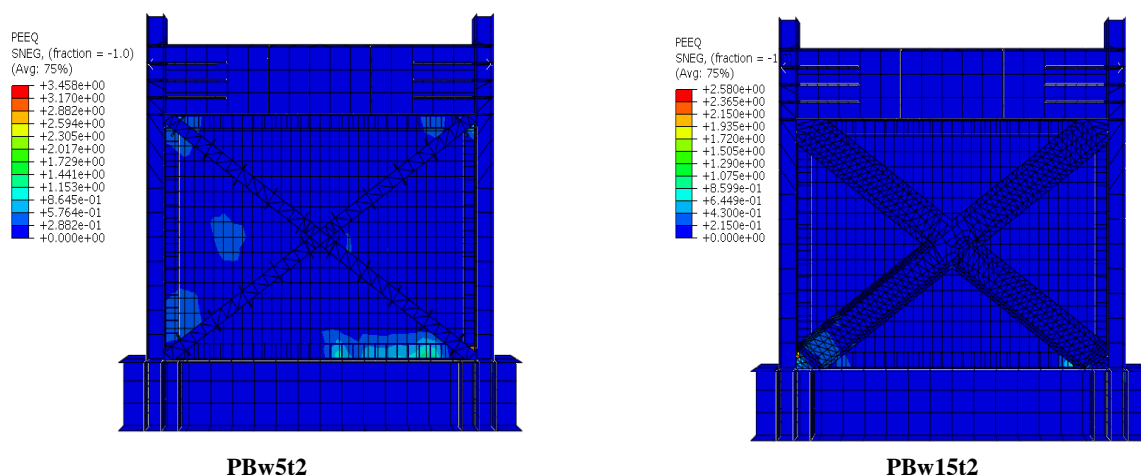
در شکل ۱۵ می توان توزیع تنش در مدل های مختلف را مورد بررسی قرار داد. مشاهده می شود که با افزایش عرض ورق به تدریج کانتور تنش ها کمرنگ تر شده و توزیع تنش در ورق کاهش می یابد.



PB

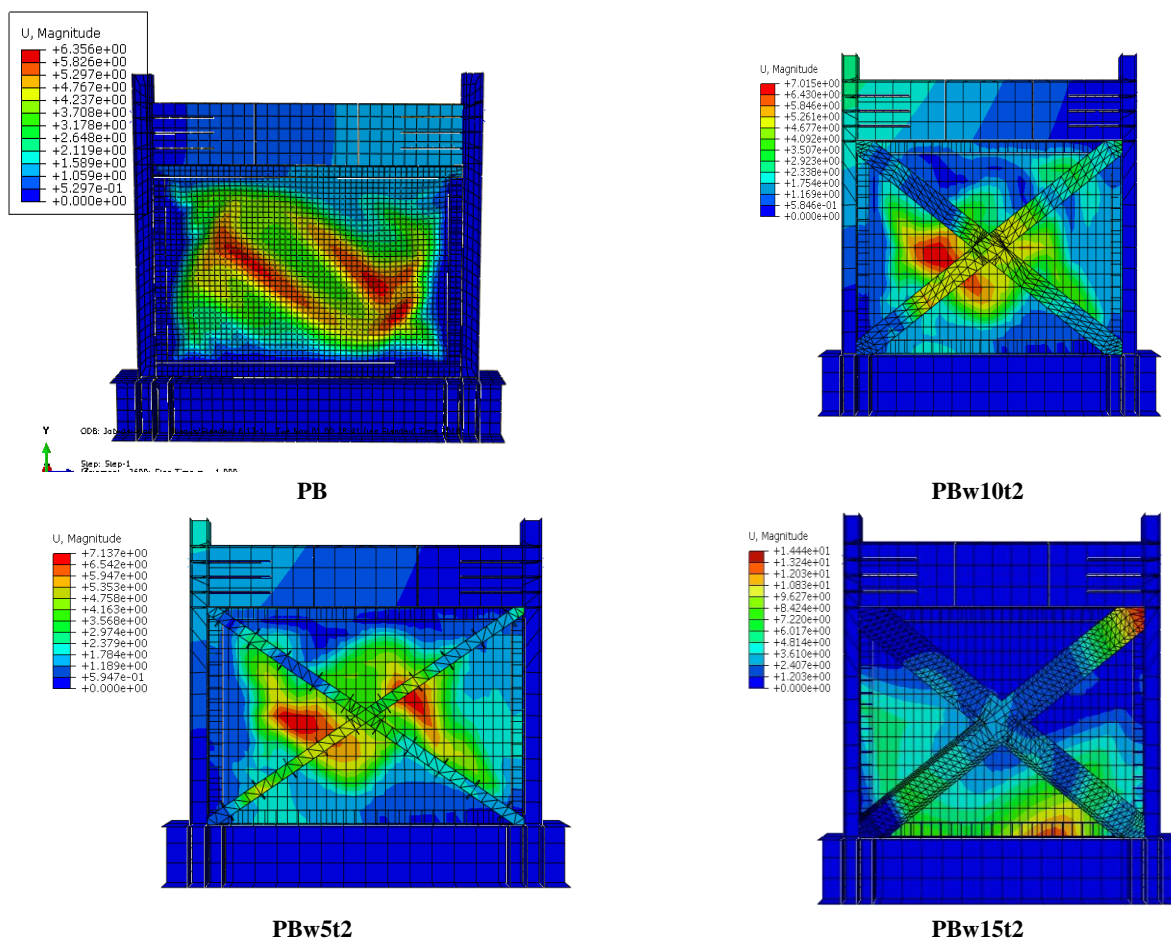


PBw10t2



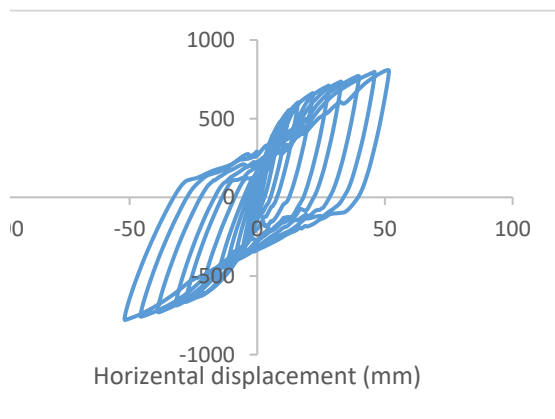
شکل ۱۶: کانتور کرنش پلاستیک تشکیل شده در مدل های پارامتریک در اثر تغییر عرض ورق

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

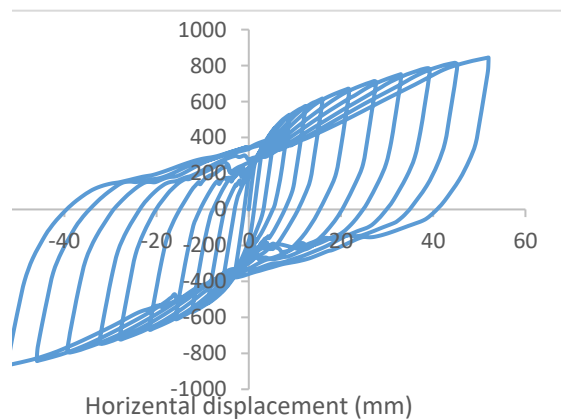


شکل ۱۷: کانتور جابجایی کلی و کمانش ورق مدل های پارامتریک در اثر تغییر عرض ورق

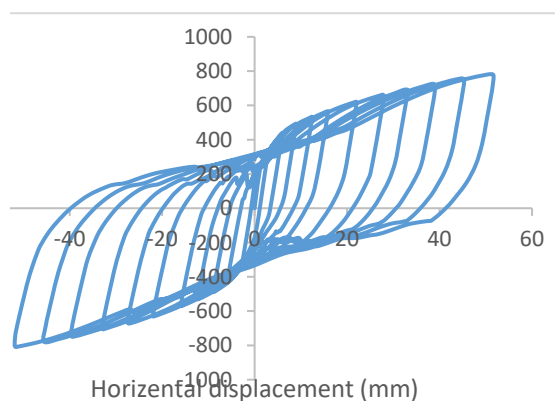
با توجه به شکل ۱۷ با افزایش عرض ورق ضربدری امکان کم‌انحراف در ورق کمتر شده و کانتورهای جابجایی کم‌تر می‌باشند و این به دلیل افزایش سختی دیوار برشی فولادی می‌باشد. برای بررسی بارهای رفت و برگشتی و میزان برش ایجاد شده در قاب، شکل‌های هیستریزیس از جمله مهم‌ترین خروجی‌هایی می‌توانند باشند که رفتار قاب را به درستی نشان می‌دهند.



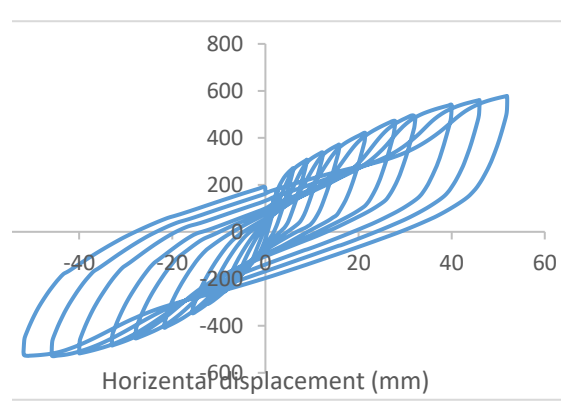
PB



PBw10t2



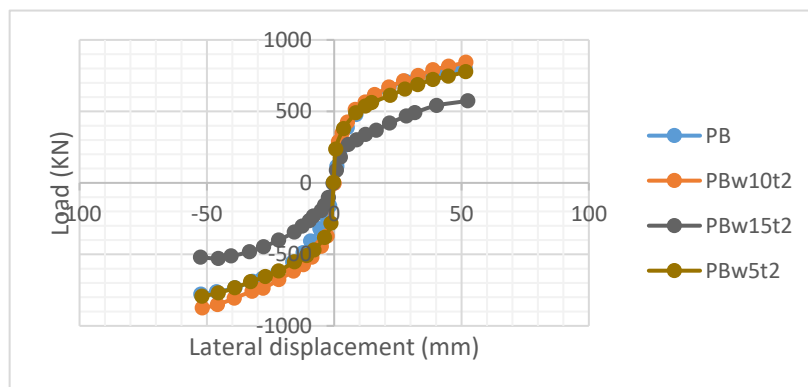
PBw5t2



PBw15t2

شکل ۱۸: هیستریزیس بار-جابجایی برای مدل‌های مختلف تحت تغییر پارامتر عرض ورق ضربدری

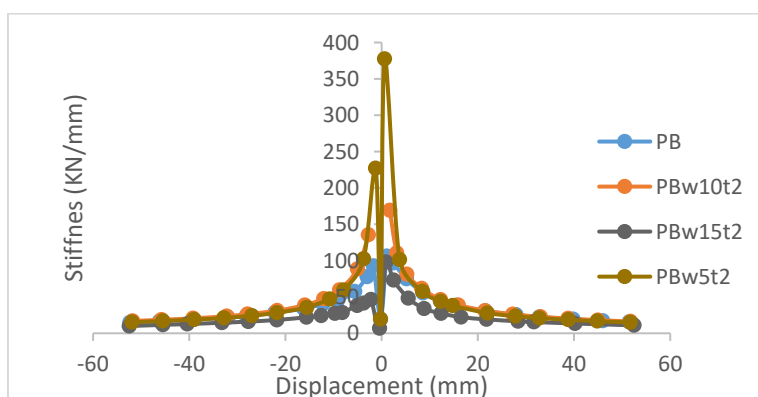
در شکل ۱۸ برای مدل‌های مختلف تحت تغییرات عرض ورق ضربدری تقویتی ورق فولادی دیوار برشی، شکل هیستریزیس بار جابجایی نشان داده شده است. با استفاده از شکل هیستریزیس می‌توان شکل پوش آور مدل‌های مختلف را رسم نمود که در شکل ۱۹ برای مدل‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱۹: پوش آور بار-جابجایی برای پارامترهای تغییر عرض ورق ضربدری دیوار برشی فولادی

با افزایش و کاهش عرض ورق ضربدری از دیوار فولادی برشی مشاهده می‌شود که در هر دو حالت مقاومت نهایی قاب کاهش می‌یابد. در حالت اول افزایش لاغری ورق ضربدری و در حالت دوم کاهش ممان اینرسی کل مقطع، باعث کاهش مقاومت و افزایش کماتش می‌شود، همچنین این میزان در کاهش برای مدل PW15 بیشتر می‌باشد.

در شکل ۲۰ شکل زوال سختی قاب در طول بارگذاری نشان داده شده است. این میزان سختی با تقسیم نمودن برش قاب بر جابجایی به دست می‌آید.



شکل ۲۰: زوال سختی مدل های تغییر عرض ورق فولادی ضربدری در طول بارگذاری

با توجه به شکل ۲۰ با افزایش عرض ورق های ضربدری، با توجه به افزایش نسبت عرض به ضخامت، لاغری ورق ضربدری افزایش یافته، در نتیجه سختی و مقاومت قاب کاهش می‌یابد ولی با عرض کمتر با توجه به کاهش نسبت عرض به ضخامت و کاهش نسبت لاغری، جابجایی تسلیم و نهایی کاهش یافته، که نشان دهنده افزایش سختی است.

۴- نتایج

در این تحقیق پس از مدل‌سازی عددی ابتدا به صحت سنجی مدل عددی دیوار برشی فولادی با مدل آزمایشگاهی [1] پرداخته شد، سپس مدل دیوار برشی فولادی با ورق ضربدری به ضخامت ۲ و عرض ۱۰ مدل‌سازی گردید. بررسی تغییر پارامترهای ضخامت و عرض 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 عددی و مدل آزمایشگاهی به ترتیب ۴،۳۶، ۱۱،۵۷ و ۳،۳۷ و ۵،۵۶ درصد می‌باشد که در حد قابل قبولی برای مدل عددی می‌باشد.
- افزایش یک میلی‌متری ضخامت ورق مقاومت قاب دیوار برشی را بالا می‌برد ولی کاهش یک میلی‌متری ضخامت، باعث کاهش شدید مقاومت می‌شود. در نتیجه در اضافه کردن ورق فولادی باید ضخامت ورق های فولادی از ضخامت ورق دیوار برشی فولادی کمتر نباشد.
- با افزایش ضخامت ورق های تقویتی بیشترین میزان برش پایه را در قاب می‌توان دید. این در حالی است که کاهش ضخامت برش پایه را نیز به شدت کاهش می‌دهد.
- نتایج حاصل از تحلیل نشان داد که با افزایش ۱،۵ برابری ضخامت ورق، مقاومت برشی ۷٪ افزایش می‌یابد، با افزایش ۱،۵ برابری عرض ورق فولادی سختی برشی ۴۲٪ و مقاومت برشی ۳۲٪ کاهش می‌یابد و با کاهش ۵۰٪ عرض ورق، مقاومت برشی ۸٪ کاهش می‌یابد.

- زمانی که عرض ورق ضربداری از یک حدی بیشتر می شود به دلیل ثابت ماندن ضخامت آن، لاغری ورق ضربداری افزایش یافته و در نتیجه احتمال کمانش در خود ورق ضربداری و در نتیجه درکل ورق فولادی بیشتر می شود. همچنین کاهش عرض ورق ضربداری باعث کاهش ممان اینرسی مقطع شده که منجر به کاهش مقاومت کل سیستم گردیده است. همچنین کاهش عرض منجر به کاهش نسبت عرض به ضخامت و کاهش نسبت لاغری گردیده، که در نتیجه جابجایی تسلیم و نهایی کاهش یافته است، که این نشان دهنده افزایش سختی است.

منابع

- [1] 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.
- [2]Caccese, V., Elgaaly, M., , Du,C.(1993). "*Postbuckling behavior of steel-plate shear walls under cyclic loads*"., Journal of Structural Engineering. 119(2), p. 588-605.
- [3]Berman, J., Bruneau,M.(2003). "*Plastic analysis and design of steel plate shear walls*". Journal of Structural Engineering". 129(11), p. 1448-1456.
- [4]Deylami, A. , Daftari, H.(2000). "*Non-linear Behaviour of steel plate shear wall with large rectangular opening*"., in Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake.
- [5]Bruneau, M., Bhagwagar,T.(2002). "*Seismic retrofit of flexible steel frames using thin infill panels*". Engineering Structures. 24(4), p. 443-453.
- [6]Kharrazi, M. H., Ventura, C. E., Prion, H. G., & Sabouri-Ghomi, S. (2004, August). "*Bending and shear analysis and design of ductile steel plate walls*". In 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada, paper (No. 77).
- [7] Zhao, Q. , Astaneh-Asl,A.(2004). "*Cyclic behavior of traditional and innovative composite shear walls*". Journal of Structural Engineering. 130(2), p. 271-284.
- [8] Ryu HK, Chang SP, Kim YJ, Kim BS.(2005). "*Crack control of a steel and concrete composite plate girder with prefabricated slabs under hogging moments*".Engineering Structures,(27):1613_24.
- [9] De Matteis G, Landolfo R, Mazzolani FM.(2003). "*Seismic Response of MR steel frames with low-yield steel shear panels*". Journal of Engineering Structures,25 (2):155_68.
- [10] Bruneau M, Bhagwagar T.(2002). "*Seismic retrofit of flexible steel frames using thin infill panels*". Journal of Engineering Structures, 24(4):443_53.
- [11] Berman JW, Bruneau M.(2004). "*Steel plate shear walls are not plate girders*". AISC Engineering Journal, Third quarter-95.
- [12] American Institute of Steel Construction (AISC) (2005). "*Seismic provisions for structural steel buildings*". (ANSI/AISC 341-05). Chicago, IL., USA.