

ارزیابی رفتار دیوارهای برشی مرکب (مطالعات پارامتریک)

علی نیکخو^{۱*}، سید مهدی رنجبرگل^۲، رحمان جعفری^۳

۱- دانشیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران

۳- دانشجوی دکتری مهندسی سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران

چکیده

نسل جدید سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی، دیوارهای برشی مرکب است که شامل یک لایه ورق فولادی نازک به همراه پوششی از بتن آرمه در یک یا دو طرف ورق فولادی می‌باشد. دیوار برشی مرکب هم در سازه‌های نوساز و هم برای تقویت سازه‌های موجود در جهان، به خصوص کشورهای زلزله‌خیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. علیرغم رفتار مناسب و مزایای آن استفاده از دیوار برشی مرکب هنوز به صورت گسترده در جهان رواج نیافته است که دلیل عمده آن عدم وجود تحقیقات کافی در این زمینه می‌باشد. با این وجود، مقاومت بالا، شکل پذیری عالی و ظرفیت اتلاف انرژی بیشتر این سیستم در کنار اقتصادتر بودن آن در مقایسه با سایر سیستم‌های موجود به اثبات رسیده است. در این تحقیق برای اتصال پوشش بتنی به ورق فولادی از برشگیر ناودانی استفاده شده و اثر تغییر فواصل بین برشگیرها و نحوه‌ی قرارگیری آنها بر رفتار دیوارهای برشی مرکب مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین سختی برشی، شکل پذیری، تغییر شکل خارج از صفحه و استهلاک انرژی بررسی شده است. نتایج حاصل از تحلیل‌ها حاکی از آن است که افزایش فاصله‌ی بین برشگیرها باعث کاهش سختی و افزایش تغییر شکل جانبی دیوار تا هشتاد درصد شده و تغییر شکل‌های خارج صفحه ورق فولادی تا سه برابر کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: دیوار برشی مرکب، برشگیر، روش اجزا محدود، تحلیل استاتیکی غیرخطی.

*نویسنده مسئول: علی نیکخو

پست الکترونیکی: nikkho@usc.ac.ir

DOI: 10.22065/jsce.2017.70491.1024

شناسه دیجیتال

<http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.70491.1024>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۳

۱- مقدمه

استفاده از دیوار برشی به اشکال گوناگون بتن مسلح، فولادی و یا ترکیبی از این دو به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی روشی متداول در سازه ها می باشد. در طی سه دهه اخیر مطالعات و تحقیقات گسترده‌ای روی دیوارهای برشی فولادی صورت گرفته است که منجر به استفاده روز افزون این سیستم ابتکاری هم در سازه‌های نوساز و هم برای مقاوم سازی سازه‌های موجود شده است. این سیستم دارای پانل‌های مجزا است که هر قسمت داخل دو تیر و ستون جانبی در بر گرفته شده است.

یکی از مشکلات این نوع سیستم ها، کماتش خارج از صفحه‌ی ورق فولادی است که باعث ایجاد میدان کشش قطری در صفحه فولادی می گردد. برای بالا بردن ظرفیت برشی سیستم باید کماتش ورق را به نحوی کنترل نمود. جلوگیری از کماتش ورق به دو شیوه‌ی کلی امکان پذیر است:

۱- استفاده از شبکه‌های فلزی به عنوان سخت کننده که به ورق فلزی متصل می شود (SSW: Steel Shear Wall).

۲- استفاده از پوشش بتنی که با برشگیر به ورق فلزی متصل می شود (CSSW: Composite Steel Shear Wall).

دیوار برشی مرکب (CSSW)، شامل یک صفحه فولادی است که معمولاً در طرفین آن از پوشش بتنی استفاده می شود. این پوشش می تواند فقط در یک طرف صفحه فولادی نیز قرار گیرد و اتصال بین پوشش بتنی و صفحه‌ی فولادی از طریق برشگیرهایی مانند گل میخ و ناودانی و غیره برقرار می گردد.

استفاده از هر دو سیستم باعث افزایش سختی و شکل پذیری و کاهش وزن ساختمان می شود. همچنین این سیستم ها در مقابل بارهای لرزه‌ای نیز رفتار بسیار مناسبی از خود نشان می دهند. در هر دو سیستم دیوار برشی فولادی و مرکب پدیده پس کماتش وجود خواهد داشت، با این تفاوت که در حالت دیوار برشی فولادی، کماتش به صورت کلی است و از مقاومت ناحیه‌ی محدودی از سطح ورق فولادی استفاده می گردد، در حالی که در دیوار برشی مرکب کماتش از حالت کلی به موضعی تبدیل شده و بدین ترتیب از تمام مقاومت صفحه فولادی استفاده می گردد.

۲- مطالعات پیشین

آستانه‌ی اصل و ژائو [۱] آزمایشاتی در دانشگاه برکلی کالیفرنیا روی دیوار برشی مرکب انجام دادند که در آن رفتار نوع جدیدی از دیوار تحت بارهای رفت و برگشتی بررسی شد و با رفتار دیوار برشی مرکب سنتی مقایسه گردید. تنها تفاوت دیوار برشی نوع جدید با نمونه سنتی در وجود یک شکاف بین دیوار بتنی و قاب پیرامونی در نمونه جدید بود. هر دو سیستم رفتار شکل پذیر و مقاومت بالایی را در طول آزمایش از خود نشان دادند. از نتایج این آزمایشات مشاهده شد که اگرچه استفاده از شکاف، به دلیل عدم مشارکت بتن در بارهای کم سبب کاهش مقاومت و سختی کلی می شود، ولی این کاهش قابل قبول بوده و در مقایسه با افزایش شکل پذیری و کاهش خسارت به بتن ناشی از وجود این شکاف کم اهمیت تر است.

رهابی و حاتمی [۲] تحقیقاتی بر روی رفتار دیوار برشی مرکب دارای شکاف تحت بار چرخه ای انجام دادند. با مطالعات عددی و آزمایشگاهی به این نتیجه رسیده شد که افزایش فاصله بین برشگیرها تا حد معینی باعث افزایش قدرت جذب انرژی و کاهش تغییر مکان خارج از صفحه می شود ولی فواصل بیشتر از این حد تاثیر چندانی ندارد. همچنین صلبیت تیر میانی و اتصال تیر به ستون تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر رفتار دیوار برشی مرکب نمی گذارد.

محققان دانشگاه آلبرتا آزمایش‌هایی را با بارگذاری یکنواخت و چرخه‌ای بر روی دیوارهای برشی بدون سخت کننده انجام دادند. نتایج این آزمایشات شکل پذیری زیاد و اضافه مقاومت بالای این سیستم را نشان داد [۳-۶].

ناکاشیما و همکاران [۷] آزمایشاتی در ارتباط با رفتار چرخه‌ای دیوار برشی ساخته شده از فولاد با حد تسلیم پایین انجام دادند.

در یک تحقیق آزمایشگاهی، درایور و همکاران [۸] به بررسی کمانش صفحه فولادی پرداخت. دو نمونه بدون استفاده از ملات و دو نمونه با استفاده از ملات سیمانی و یک نمونه با ماده اپوکسی محکم شده بودند. به این دلیل که ملات ظرفیت کمانشی ورق را بالا میبرد و ماده اپوکسی موجب تاخیر در کمانش می‌گردید.

دماتیس و همکاران [۹] پنل‌های برشی که رفتاری معادل با المان‌های مهاربندی را داشتند به صورت ابتکاری به کار پیشنهاد دادند. نتایج بصورتی بود که پنل‌های با فولاد دارای تنش تسلیم پایین تر، رفتار مناسب‌تری در کاهش تغییر مکان طبقه و سطح خسارت اولیه سازه دارند.

برونا و باگواگر و برمان و برونو [۱۰ و ۱۱] مطالعه‌ی غیر خطی بر روی اثر استفاده از پانل‌های دارای مقطع لاغر و فولاد با حد تسلیم پایین انجام دادند. نتیجه حاصله نشان داد که استفاده از مقطع لاغر دریافت طبقه را کم می‌کند و فولاد با حد تسلیم پایین تر رفتار مناسب‌تری نسبت به فولادهای مورد استفاده در سازه‌ها دارند.

رو و همکاران [۱۲] مطالعه‌ی آزمایشگاهی بر روی شاه تیرهای 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 می‌دهد. همچنین فاصله‌ی بین آرماتورهای عرضی تاثیر زیادی بر روی ترک‌ها دارد. بنابراین ضروری است که در محاسبات عرض ترک، اثر اتصال و فواصل آرماتورهای برشی دیده شود.

علی نیا و علی نیا و همکاران [۱۳ و ۱۴] مطالعه‌ی را بر روی اعضای محیطی پیرامون دیوارهای برشی فولادی دارای ورق نازک انجام دادند. نتایج نشان داد که بر خلاف نتایج رو [۱۲]، سختی خمشی اعضای محیطی اثر زیادی بر کمانش برشی یا رفتار پس کمانشی دیوار برشی ندارد.

در مطالعه ونوو و همکاران [۱۵] چهار دیوار سازه‌ای مرکب که دارای مهاربند داخلی بودند مورد آزمایش قرار گرفت که هر چهار دیوار دارای اندازه‌های مساوی بودند. تفاوت بین نمونه‌ها در آرماتورهای عرضی ستون مدفون در بتن و شکل بادبند ضربدری درون نمونه‌ها بود. اثر طول دهانه‌ی برشی، ضخامت ورق فولادی و اثر بار محوری بر رفتار دیوارهای سازه‌ای دارای مهاربند داخلی بررسی گردید. نتایج نشان داد که استفاده از مهاربند ضربدری باعث افزایش جذب انرژی، ظرفیت برشی و افزایش سختی دیوارهای برشی مرکب شد. همچنین با استفاده از مهاربند ضربدری و پلیت‌های مسطح دیوار برشی مرکب تحت بارهای چرخه‌ای نیروی برشی بیشتری را تحمل خواهد کرد.

کای و همکاران [۱۶] برای بررسی نسبت فاصله‌ی برش گیرها بر ضخامت ورق فولادی (S/t_p) بر روی کمانش موضعی و سطح عملکرد مختلط فولاد و بتن در دیوارهای برشی مرکب؛ تحقیقاتی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و با استفاده از نرم افزار آباکوس انجام دادند. داده‌های آزمایشگاهی به وسیله‌ی مطالعات کانچی و همکاران [۱۷] گزارش شده بود. مقدار لاغری صفحه‌ی فولادی برای اینکه کمانش موضعی قبل از تسلیم رخ ندهد به رابطه‌ی زیر محدود شد:

$$\frac{S}{t_p} = 1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (1)$$

S = فاصله‌ی برشگیرها = t_p ضخامت صفحه‌ی فولادی

همچنین اثر لاغری صفحه‌ی فولادی و درصد آرماتور بر عملکرد مختلط فولاد و بتن توسط آنها بررسی گردید. درصد سطح عملکرد مختلط فولاد و بتن با توجه به نسبت کرنش طولی در صفحه‌ی فولادی و کرنش در بتن بدست آورده شد، که هرچه درصد آرماتور و لاغری کمتر باشد عملکرد مختلط فولاد و بتن بالا می‌رود.

۳- مدل‌سازی نمونه‌ها

مطالعه‌ی تحلیلی با استفاده از نرم افزار آباکوس ۶,۱۳,۴ انجام شده و ابعاد مناسب مش برای اعضای فولادی و بتنی بدست آورده شده است. مش‌بندی دیواره‌ی فولادی و بتنی به شکلی است که یک اتصال معمول بین آن‌ها شکل می‌گیرد. همچنین المان‌ها دارای رفتار الاستو پلاستیک هستند، تا بتوان کمانش خارج صفحه ورق فولادی در آن مدل شود. برشگیرهای مورد استفاده در دو انتها با گره‌های متناظر فولاد و بتن متصل شده اند. همچنین اتصال بین تیر با ستون‌ها و ستون‌ها به تراز تحتانی صلب در نظر گرفته شده است. در مدلسازی اتصال پوشش بتنی با صفحه‌ی فولادی از المان تماس استفاده شده و میلگردها درون بتن مدفون شده‌اند.

در مدلسازی از المان هشت گره‌ای "3-D Solid" برای تیر و ستون و پوشش بتنی، از المان چهار گره‌ای "3-D Shell" برای ورق فولادی، و از المان دو گره‌ای "3-D Beam" برای میلگردها و برشگیرها استفاده شده است. استفاده از المان "3-D Solid" امکان مدلسازی دقیق تماس آن با قاب اطراف و مشاهده تغییر شکل واقعی آن بعد از تحلیل را میسر می‌سازد.

به منظور تحلیل مدل‌ها فرضیاتی در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از:

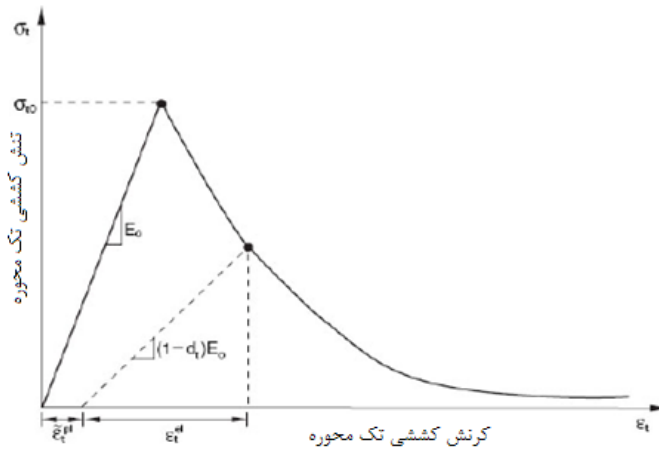
- نمونه‌ها در تراز تحتانی خود در تمامی جهات مقید شده‌اند.
- از اصطکاک بین فولاد و بتن صرف نظر شده است [۲].
- رفتار فولاد مصرفی اعم از ورق، المان‌های مرزی و میلگردهای درون بتن دوخطی همراه با سخت شوندگی ایزوتروپیک فرض شده است.
- در نمونه‌های عددی از ناودانی ۸۰ استفاده شده است.
- نمونه‌ها همانند شکل ۴، دارای برشگیر در ردیف‌های ۷ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ تایی می‌باشند.

۴- مشخصات مصالح مورد استفاده:

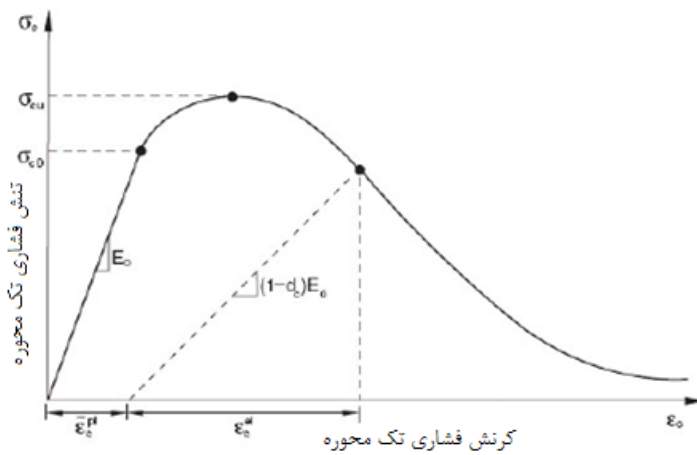
در این تحقیق برای مدلسازی فولاد از مدل دوخطی همراه با سخت شوندگی ایزوتروپیک استفاده شده است. برای صفحه‌ی فولادی از فولاد ASTM A36 (FY=248Mpa) و برای تیرها و ستون‌ها از فولاد ASTM A572 (FY=375Mpa) استفاده گردید [۱]. همچنین برای برشگیرها فولاد ST37 (FY=240Mpa) و برای میلگردها از فولاد FY=300Mpa فرض گردید.

در مدلسازی بتن از مدل پلاستیسیته خسارت استفاده شده است. در این مدل هر دو مد گسیختگی فشاری و کششی بتن در نظر گرفته شده است و مقاومت بتن ۲۸ مگاپاسکال می‌باشد.

پاسخ تک محوری کششی و فشاری بتن به وسیله پلاستیسیته خسارت مطابق شکل‌های (۱) و (۲) تعیین می‌شود. تحت کشش تک محوری پاسخ تنش- کرنش تا رسیدن به تنش گسیختگی σ_{to} از یک رابطه الاستیک خطی پیروی می‌کند. تنش گسیختگی با شروع تشکیل ترک‌های ریز در بتن متناظر است. بالاتر از تنش گسیختگی تشکیل ترک‌های ریز به وسیله یک رفتار تنش-کرنش نرم شونده بیان می‌شود. تحت فشار تک محوری رفتار بتن تا زمانی که به تنش تسلیم اولیه σ_{eo} برسد خطی است. در ناحیه خمیری رفتار بتن قبل از تنش نهایی σ_{eu} شامل سخت شوندگی تنش و پس از آن نرم شوندگی کرنش است.



شکل ۱: پاسخ تک محوری بتن در کشش در مدل پلاستیسیته خسارت.



شکل ۲: پاسخ تک محوری بتن در فشار در مدل پلاستیسیته خسارت.

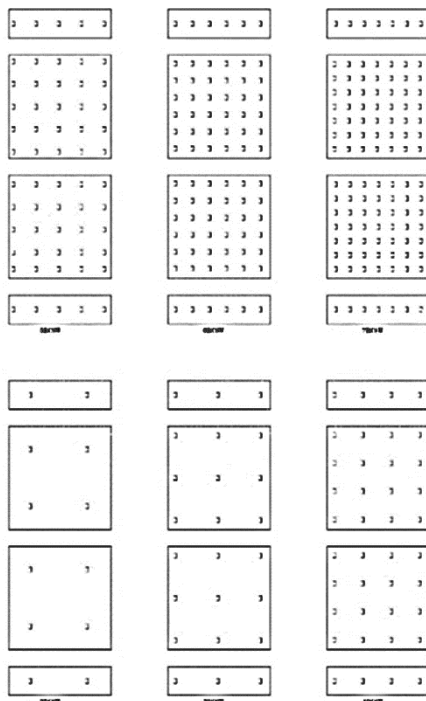
این تعریف از رفتار بتن اگر چه ساده است، اما بیشتر خصوصیات اصلی رفتار بتن را پوشش می‌دهد. همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، هنگامی که نمونه بتنی در هر نقطه‌ای از شاخه نرم شوندگی کرنش در منحنی تنش-کرنش باربرداری شود، سختی الاستیک ماده کاهش یافته و قابلیت پاسخ ماده به باربرداری ضعیف می‌شود. کاهش در سختی الاستیک به وسیله دو متغیر خسارت d_c و d_t تعیین می‌شود. این متغیرها می‌توانند بین مقادیر صفر تا یک که به ترتیب به منزله عدم خسارت و از دست رفتن کامل مقاومت است، تغییر کنند.

جدول ۱: مشخصات مصالح

مورد استفاده	مقاومت نهایی (Mpa)	مقاومت جاری شدن (Mpa)	مدول ارتجاعی (Mpa)
تیر و ستون	۴۵۰	۳۴۵	۲۰۰۰۰۰
ورق فولادی	۴۰۰	۲۴۸	۲۰۰۰۰۰
میلگرد	۵۰۰	۳۰۰	۲۰۰۰۰۰
ناودانی	۳۷۰	۲۴۰	۲۰۰۰۰۰
بتن	۲۸	۲/۸	۲۶۴۵۷

۵- نحوه آرایش برشگیرها

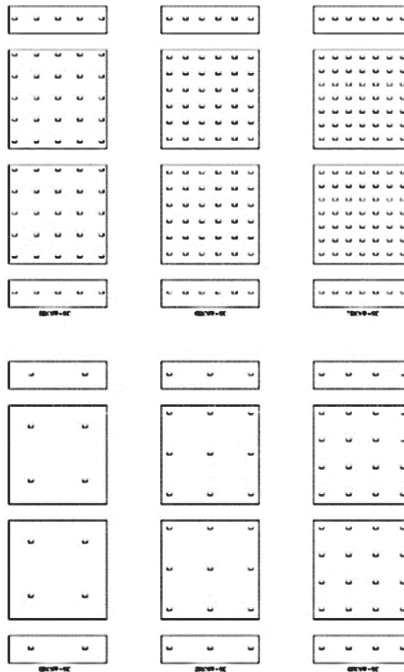
اثر فاصله‌ی بین برشگیرها بر تغییر شکل جانبی، ظرفیت برشی دیوار، تغییر شکل خارج صفحه ورق فولادی و جذب انرژی دیوار با استفاده از دوازده مدل که دارای برشگیر در فواصل و نحوه‌ی قرارگیری مختلف هستند مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۳ و ۴). بین بتن و فولاد هیچ اتصالی بجز برشگیرها وجود ندارد. شکل‌های ۶ تا ۹ تغییر شکل جانبی، تغییر شکل خارج از صفحه و جذب انرژی دیوار برشی مرکب را نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهند که فاصله‌ی بین برشگیرها تاثیر اندکی بر روی تغییر شکل داخل صفحه دیوار برشی مرکب دارد، اما بر روی تغییر شکل خارج از صفحه اثر بسیار زیادی دارد.



شکل ۳: آرایش مختلف برشگیرها در نمونه های (RCSW) Row Composite Shear Wall

جدول ۴: مشخصات نمونه های RCSW

Scheme	Specimen	Number of Shear Connectors	Distance between Shear Connectors(mm)
1	7RCSW	7×7	250
2	6RCSW	6×6	300
3	5RCSW	5×5	400
4	4RCSW	4×4	500
5	3RCSW	3×3	750
6	2RCSW	2×2	1000



شکل ۴: آرایش مختلف برشگیرها در نمونه های RSCW-SC

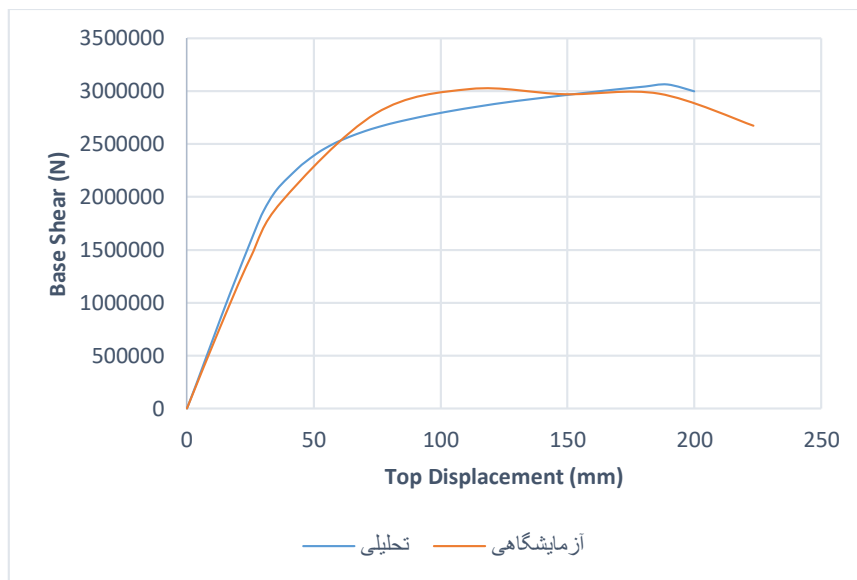
جدول ۳: مشخصات نمونه های RSCW-SC

Scheme	Specimen	Number of Shear Connectors	Distance between Shear Connectors(mm)
1	7RCSW-SC	7×7	250
2	6RCSW-SC	6×6	300
3	5RCSW-SC	5×5	400
4	4RCSW-SC	4×4	500
5	3RCSW-SC	3×3	750
6	2RCSW-SC	2×2	1000

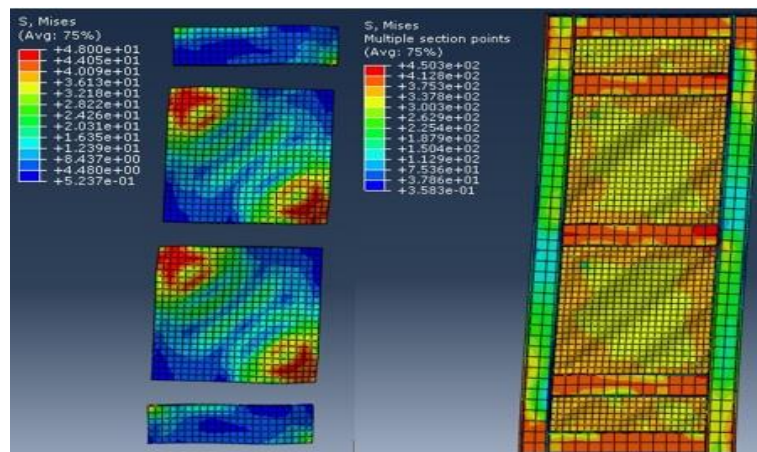
به منظور صحت سنجی مدل سازی ها، یک نمونه آزمایشگاهی از روی آزمایش آستانه اصل و ژائو [۱] در حالت بدون درز انتخاب، و با مدل حاصله از نرم افزار آباکوس مقایسه شده است. نتایج حاصل به صورت منحنی نیرو-تغییر مکان در شکل ۶ برای هر دو حالت تحلیلی و آزمایشگاهی نشان داده شده است. انطباق این دو منحنی گواه توانایی مدل انتخاب شده و روش اجزا محدود در برآورد مناسب رفتار نمونه می باشد. در شکل ۷ اشکال تغییر شکل یافته اعضای بتنی و فولادی نمونه همراه با تنش های ایجاد شده در آن ها دیده می شود. همانطور که در شکل دیده می شود تنش ها در لبه های ورق های فولادی و همچنین در تیرهای طبقات و در مجاورت اتصالات خمشی بالا بوده که در نمونه های آزمایشگاهی نیز گسیختگی و شکست در این نواحی رخ داده است. تنش های بالا در پوشش بتنی مربوط به گوشه ها می باشد که در نمونه آزمایشگاهی نیز ترک خوردگی بتن از گوشه ها آغاز و در نهایت منجر به از هم پاشیدن کامل پوشش بتنی گردید. بنابراین کانتورهای تنش مدل، انطباق مناسبی با مشاهدات آزمایشگاهی دارد. خامت صفحه فولادی ۴/۹ میلیمتر و مقاومت ۲۸ روزه بتن ۲۸ مگاپاسکال است. همچنین ضخامت پوشش بتنی مطابق نمونه آزمایشگاهی ۷۶ میلیمتر در نظر گرفته شده و درصد آرماتور ۰/۹۲٪ می باشد.



شکل ۵: نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی مرکب بدون درز آستانه اصل و زائو[۱].



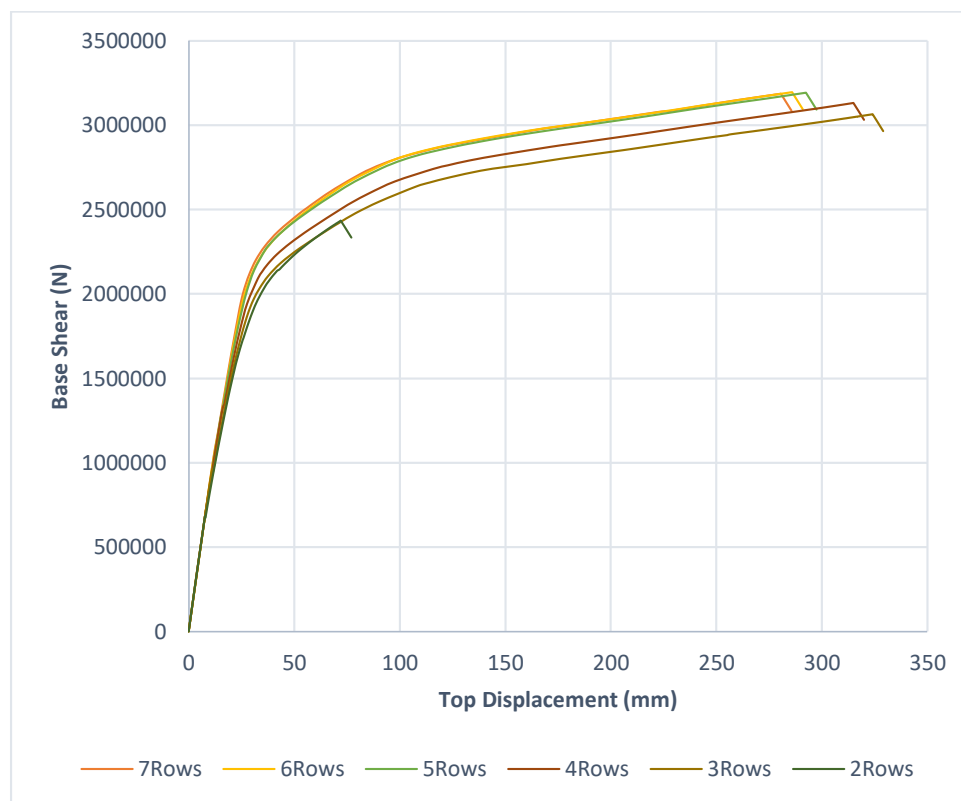
شکل ۶: مقایسه منحنی نیرو-تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی و مدل تحلیلی.



شکل ۷: مدلسازی نرم افزاری (شکل سمت راست کانتور تنش اعضای فولادی، شکل سمت چپ کانتور تنش اعضای بتنی می باشد).

۶- نتایج تحلیل نمونه ها

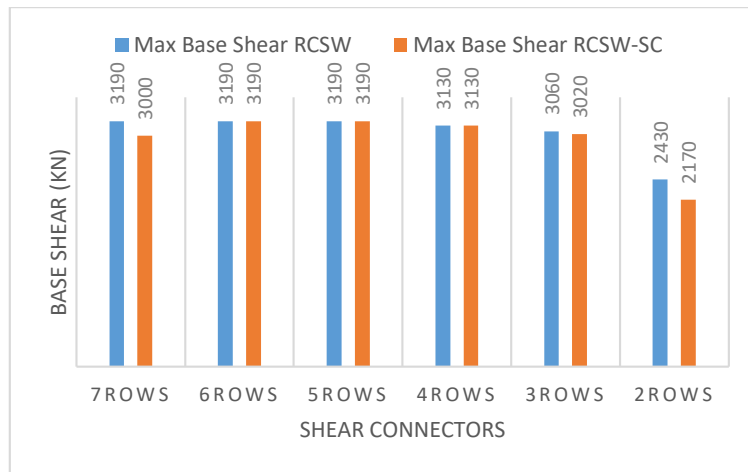
پارامترهای حاصله از تحلیل نمونه ها شامل تغییر شکل جانبی، ظرفیت برشی دیوار، تغییر شکل خارج صفحه‌ی ورق فولادی و جذب انرژی نمونه ها می‌باشد. در اشکال ۹ تا ۱۲ اثر فاصله‌ی بین برشگیرها بر رفتار دیوار برشی مرکب نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۹ دیده می‌شود با کاهش فاصله‌ی بین برشگیرها ظرفیت برشی دیوار بالا می‌رود. در شکل ۱۰ دیده می‌شود که با افزایش فاصله‌ی بین برشگیرها رفتار دیوار نرم تر شده و تغییر شکل جانبی بیشتری را تحمل می‌کند. با این حال نمونه‌ی دارای برشگیر در ردیف های دوتایی به علت تسلیم زود هنگام برشگیرها و عدم عملکرد مختلط فولاد و بتن در سطح پانل، نمونه نتوانسته تغییر شکل جانبی زیادی را تحمل کند. همچنین در شکل ۱۱ می‌توان دید که تغییر فاصله‌ی بین برشگیرها تاثیر زیادی بر روی تغییر شکل خارج صفحه‌ی ورق فولادی دارد. این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش فاصله‌ی بین برشگیرها تغییر شکل خارج صفحه ورق فولادی کاهش یافته و سطح تغییر شکل یافته صاف تر شده است. شکل ۱۲ نشان می‌دهد که با افزایش فاصله‌ی بین برشگیرها جذب انرژی دیوار در ناحیه‌ی پلاستیک افزایش یافته است.



شکل ۸: منحنی بار-تغییر مکان نمونه های مختلف.

برش پایه (Base Shear)

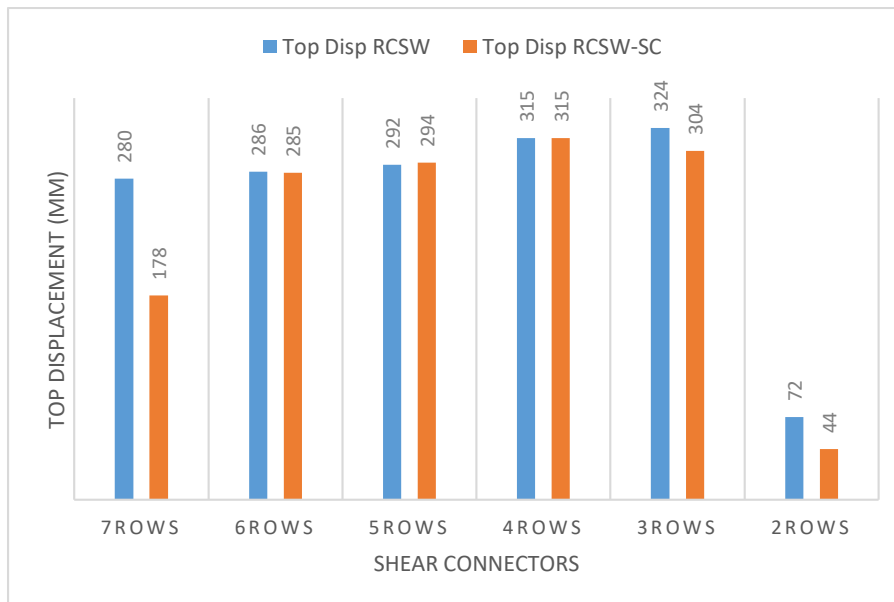
همان گونه که در شکل ۹ دیده می‌شود با کاهش فاصله‌ی بین برشگیرها دیوار سخت تر شده، عملکرد مختلط فولاد و بتن بالا رفته، و دیوار نیروی برشی بیشتری را تحمل می‌کند. در شکل دیده می‌شود که نمونه های RCSW نیروی برشی بیشتری نسبت به نمونه های RCSW-SC تحمل کرده‌اند.



شکل ۹: مقایسه برش پایه در نمونه های مختلف.

تغییر شکل جانبی (Top Displacement)

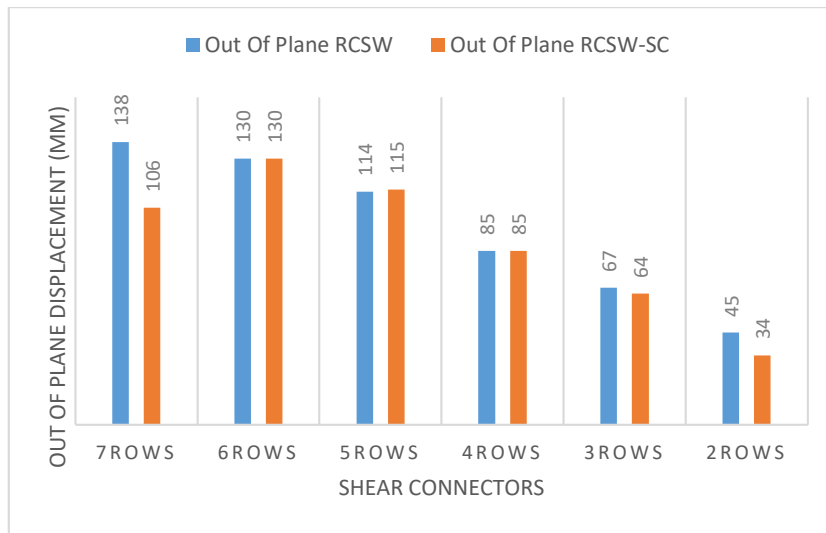
در شکل ۱۰ دیده می شود که با افزایش فاصله ی بین برشگیرها دیوار نرم تر شده و تغییر شکل بیشتری را تحمل می کند. همچنین در این شکل دیده می شود که در نمونه های RCSW تغییر شکل جانبی بیشتری نسبت به نمونه های RCSW-SC ایجاد شده است. در نمونه های دارای دو ردیف برشگیر در هر جهت، با توجه به عمل نکردن مختلط فولاد و بتن به علت فاصله ی زیاد بین برشگیرها و تسلیم برشگیرها، رفتار نمونه ها تردتر شده و تغییر شکل کمتری را از خود نشان داده اند.



شکل ۱۰: مقایسه تغییر شکل جانبی در نمونه های مختلف.

تغییر شکل خارج صفحه (Out Of Plane Displacement)

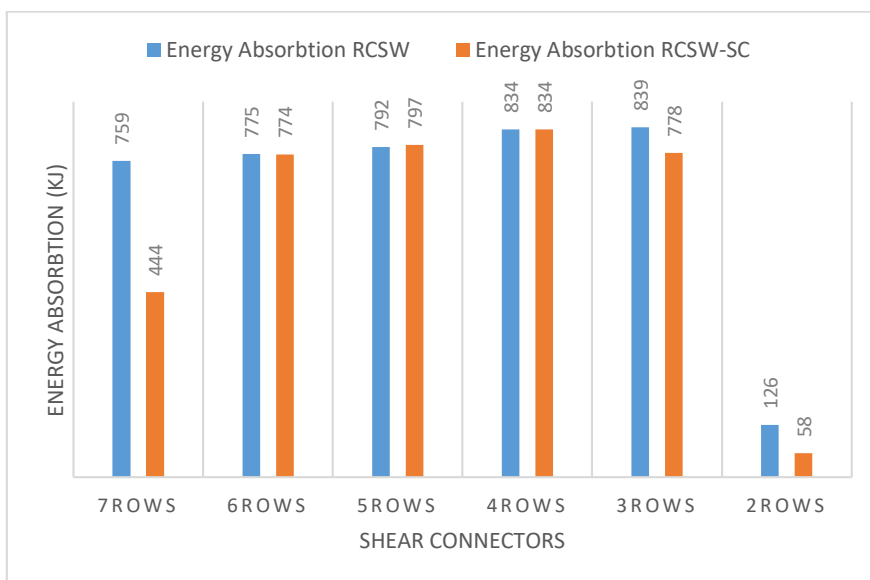
با توجه به شکل ۱۱، با کاهش فاصله ی بین برشگیرها تغییر شکل خارج صفحه بیشتر شده و در نتیجه تغییر شکل بیشتری در دیوار ایجاد می شود.



شکل ۱۱: مقایسه تغییر شکل خارج صفحه در نمونه های مختلف.

جذب انرژی (Energy Absorption)

با توجه به شکل ۱۲، با افزایش فاصله ی بین برشگیرها جذب انرژی سیستم در ناحیه ی پلاستیک بیشتر شده است.



شکل ۱۲: مقایسه جذب انرژی در نمونه های مختلف.

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی فاصله برشگیرها بر رفتار دیوار برشی مرکب پرداخته شده است. در همین راستا تعداد ۱۲ نمونه دیوار برشی مرکب در حالت بدون درز با آرایش های مختلف برشگیرها (ناودانی) تحت تحلیل استاتیکی غیر خطی قرار گرفتند که نتایج زیر برای این نمونه ها حاصل شده است:

- با کاهش فاصله‌ی بین برشگیرها عملکرد مختلط فولاد و بتن افزایش یافته، سختی دیوار برشی افزایش پیدا کرده و دیوار نیروی برشی بیشتری را تحمل می‌کند. همچنین با افزایش فاصله‌ی بین برشگیرها، تغییر شکل‌های جانبی دیوار تا هشتاد درصد بیشتر شده و دیوار رفتار شکل پذیرتری را از خود نشان می‌دهد.
- بر اساس نموداری که حداکثر تغییر مکان خارج از صفحه ورق فولادی را نشان می‌دهد، تغییر فواصل بین برشگیرها تاثیر زیادی بر روی میزان تغییر مکان‌های خارج صفحه دارد (تا سه برابر). افزایش فاصله‌ی بین برشگیرها عریض‌تر شدن ترک خوردگی بتن، و پیرو آن خرابی بتن را در پی دارد. همچنین طول آزاد کمانش ورق فولادی بیشتر شده که این موضوع تمایل ورق فلزی را برای کمانه کردن در مد اول کمانشی خود بیشتر می‌کند. در مد اول، تغییر شکل تنها در یک سمت می‌باشد که با کم کردن فاصله‌ی بین برشگیرها این تمایل به سمت دوم بیشتر می‌شود. در این مد تغییر شکل در هر دو سمت وجود دارد. بنابراین با افزایش فاصله‌ی بین برشگیرها کاهش تمایل به پس کمانش در مدهای بالاتر ایجاد می‌شود.
- نمونه دارای دو ردیف برشگیر رفتار ضعیف تری نسبت به دیگر مدل‌ها از خود نشان داده که می‌توان آن را ناشی از تسلیم برشگیرها و عدم عملکرد مختلط فولاد و بتن در سطح پانل دانست.
- بر اساس نموداری که جذب انرژی سیستم را نشان می‌دهد، می‌توان مشاهده کرد که با افزایش فاصله‌ی بین برشگیرها جذب انرژی سیستم در قسمت پلاستیک بیشتر شده است.
- علت رفتار بهتر نمونه‌های RCSW در مقایسه با نمونه‌های RCSW-SC می‌تواند در این باشد که در نمونه‌های RCSW به علت کم بودن ممان اینرسی در مقایسه با نمونه‌های RCSW-SC و همچنین با توجه به فرمول تنش برشی، با کاهش ممان اینرسی نیروی برشی بیشتری انتقال پیدا می‌کند.
- سیستم دیوار برشی مرکب در مقایسه با سیستم دیوار برشی فولادی به لحاظ اقتصادی به صرفه تر است. علاوه بر این، این سیستم سختی و شکل پذیری بهتری نسبت به دیوار برشی فولادی دارد.
- با توجه به شکل ۸، اختلاف سختی اولیه در بین مدل‌ها بسیار ناچیز بوده که این مسئله با توجه به کم بودن تغییر مکان‌های نسبی بین بتن و ورق فولادی در مراحل اولیه بارگذاری منطقی به نظر می‌رسد.

مراجع

- [1] Astaneh-Asl A., Zhao Q., (2002) "Cyclic Behavior of Traditional and an Innovative Composite Shear Wall" Report No. UCB-Steel-01/2002, Department of Civil and Env. Engineering, University of California, Berkeley.
- [2] Rahai A., Hatami F., (2009), "Evaluation of composite shear wall Behavior under cyclic loadings", Journal of Constructional Steel Research. Vol. 65. Pp.1528-1537.
- [3] Driver, R.G., Kulak, G. L., Kennedy, D.J.L. and Elwi, A.E. (1998); Cyclic tests of four-story steel plate shear wall; J. of Structural Eng., ASCE, Vol. 124, No. 2, Feb., pp. 112-120.
- [4] Kulak, G. L., Fisher, J. W., and Struik, J. H. A. (1987); Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints, John Wiley and Sons, New York.
- [5] Kulak, G.L. (1991); Unstiffened steel plate shears walls, Applied Science Publications, London, pp. 237-276.
- [6] Timler, P.A. and Kulak, G.L., (1983); Experimental Study of Steel Plate Shear Walls, Structural Eng. Report No. 114, Dep. of Civil Eng., University of Alberta, Edmonton, AB.
- [7] Nakashima, M., Akawaza, T., Tsuji, B. (1995); Strain-Hardening Behavior of Shear Panels Made of Low-Yield Steel. II: Model, J. of Structural Eng., ASCE, 121(12), pp. 1750-1757.
- [8] Driver RG, Abbas HH, Sause R. Local buckling of grouted and ungrouted internally stiffened double-plate HPS webs. Journal of Constructional Steel Research 2002;58:881_906.
- [9] De Matteis G, Landolfo R, Mazzolani FM. Seismic Response of MR steel frames with low-yield steel shear panels. Journal of Engineering Structures 2003; 25(2):155_68.
- [10] Bruneau M, Bhagwagar T. Seismic retrofit of flexible steel frames using thin infill panels. Journal of Engineering Structures 2002;24(4):443_53.

- [11] Berman JW, Bruneau M. Steel plate shear walls are not plate girders. AISC Engineering Journal, Third quarter-95 2004.
- [12] Ryu HK, Chang SP, Kim YJ, Kim BS. Crack control of a steel and concrete composite plate girder with prefabricated slabs under hogging moments. Engineering Structures 2005;(27):1613_24.
- [13] Alinia MM. A study into optimization of stiffeners in plates subjected to in-plane shear loads. Thin-Walled Structures 2005;43(4):845_60.
- [14] Alinia MM, Dastfan M. Behaviour of thin steel plate shear walls regarding Frame members. Journal of Constructional Steel Research 2006;62:730_8.
- [15] Wenwu Lan., Jiaying Ma, Bing Li., (2015) "Seismic performance of steel-concrete composite structural walls with internal bracings", Journal of Constructional Steel Research. Vol. 110. pp.76-89.
- [16] Kai Z., Amit H., Sanjeev R., Stewart G., (2014), "Effect of shear connectors on local buckling and composite action in steel concrete composite walls", Journal of Constructional Steel Research., Vol. 269, pp.231-239.
- [17] Kanchi, M., 1996. Experimental study on a concrete filled steel structure Part.2 Compressive Tests (1). In: Summary of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Structures, pp. 1071-1072.