

# امکان سنجی استفاده از روکش بتنی در دیوار برشی فولادی نیمه مقید در لبه‌ها

سینا مؤمنی<sup>۱</sup>، نوید سیاه پلو<sup>۲</sup>، علیرضا جهان پور<sup>۳</sup>

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان.
- ۲- استادیار گروه مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان، ایران.
- ۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

Email: a.jahanpour@gmail.com

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۱۲/۰۹]

تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۶/۱۱]

## چکیده

در دیوار برشی فولادی برای پرهیز از غیرخطی شدن المان‌های مرزی، طراحی بر مبنای ظرفیت انجام می‌شود که در نتیجه مقدار فولاد مصرفی در المان‌های مرزی افزایش چشمگیری دارد. برای کاهش فولاد المان مرزی، دیوار برشی نیمه مقید فولادی (SSSW) پیشنهاد و در مطالعات قبل کار آیی آن اثبات شده است. به علاوه به نظر رسید استفاده از روکش بتنی روی ورق فولادی بتواند بهبود مقاومت و شکل پذیری سیستم (SSSW) به همراه داشته باشد. بدین منظور ابتدا یک ساختمان ۸ طبقه مجهز به SSSW طراحی و بحرانی ترین دهانه آن به مدل مرکب (SSCSW) تبدیل و مدل اجزا محدود آن تولید شد. این مدل در برابر بارگذاری چرخه ای نزدیک و دور از گسل تحلیل و منحنی چرخه ای، ظرفیت، انرژی تلف شده، توزیع تنش فون مایسز و آسیب فشاری بتن ارائه گردید. نتایج نشان داد که استفاده از روکش بتنی سختی اولیه را ۴/۵ برابر و مقاومت نهایی را ۳۸٪ افزایش می‌دهد. از حیث انرژی تلف شده در دو حالت نزدیک و دور از گسل به ترتیب ۶۷٪ و ۸۷٪ قابلیت اتلاف انرژی افزایش یافت. برخلاف الگوی دور، بتن در الگوی نزدیک گسل در چرخه های ابتدایی خرد شده و در نتیجه افت در مقاومت نهایی مشاهده شد به نحوی که انرژی ورودی در تعداد محدودی چرخه مستهلک شده است. همچنین در اثر الگوی نزدیک گسل لازم است طراح توجه ویژه به المان‌های اصلی و بخشی از تیر حد فاصل ستون فرعی تا ستون اصلی (تداعی کننده تیر پیوند) داشته باشد.

**واژگان کلیدی:** دیوار برشی فولادی مرکب نیمه مقید در لبه ها، تنش فون مایسز، آسیب پلاستیسیته بتن، الگوی بار نزدیک گسل، منحنی چرخه ای.

## ۱- مقدمه

دیوار برشی به عنوان یک ستون طره بزرگ و مقاوم در برابر نیروهای لرزه‌ای عمل می‌کند و یک عضو ضروری برای سازه‌های بتن مسلح بلند و یک عضو مناسب برای سازه‌های متوسط و کوتاه است [1]. این سیستم علاوه بر کنترل تغییر مکان جانبی سازه و مقابله با نیروی جانبی، سختی سازه را افزایش می‌دهد که در نتیجه آثار ثانویه مانند اثر P-Δ در سازه کاهش می‌یابد. دیوارهای برشی فولادی به عنوان سیستم‌های مؤثر و کارآمد برای مقابله با بارهای جانبی شناخته شده‌اند. در چند دهه گذشته اقبال زیادی برای توسعه استفاده از دیوارهای برشی فولادی به عنوان سیستم مقاوم در برابر بار جانبی در ساختمان‌ها ایجاد شده است [2]. در این سیستم از یک ورق فولادی نازک (معمولاً با تنش تسلیم پایین) استفاده می‌شود که با استفاده پیچ یا جوش به المان‌های مرزی (تیرها و ستون‌ها) متصل می‌شوند. سازوکار رفتاری این سیستم شباهت زیادی به تیر ورق دارد به شکلی است که امکان توسعه مقاومت فرا کماتش در ورق جان وجود دارد. در این سیستم المان‌های مرزی افقی و قائم به گونه‌ای طراحی می‌شوند تا از ورود آن به محدوده غیرخطی جلوگیری شود. در نتیجه برای ستون‌های اطراف دیوار مقاطع بزرگی توسط طراح در نظر گرفته می‌شود. این روند طراحی به تشکیل و توسعه میدان کشش در قطر دیوار و استفاده از ظرفیت پساکمانشی ورق فولادی کمک شایانی می‌کند.

دیوار برشی مرکب<sup>۱</sup> (CSW) نوعی از دیوار برشی است از ترکیب ۲ یا چند مصالح ساخته شده است. به طور نمونه این دیوار می‌تواند از ترکیب بتن و فولاد و یا صفحات پلیمری شیشه<sup>۲</sup> (GFRP) با ورق فولادی ساخته شود. دیوارهای برشی مرکب بتنی فولادی خود به دو دسته تقسیم می‌شوند. در نوع اول دیوار برشی با هسته بتنی و ظاهر آن پوشیده از ورق فولادی و نوع دوم آن که پرکاربردتر است دیوار برشی با هسته فولادی و ظاهری پوشیده از بتن. استفاده از پوشش بتن روی ورق فولادی بیشتر به منظور افزایش مقاومت ورق

فولادی در برابر حریق است. تحقیقات گسترده‌ای روی دیوارهای برشی فولادی مرکب تمام مقید انجام شده است اما در زمینه دیوار برشی فولادی مرکب نیمه مقید در لبه‌ها مطالعه‌ای انجام نشده است. برای نمونه مونسی و همکاران در سال ۲۰۲۳ رفتار<sup>۳</sup> BRSPSWها را مورد بررسی قرار دادند. این مدل‌ها تحت بارگذاری‌های چرخه‌ای قرار گرفتند. مدل‌ها شامل چهار نمونه آزمایشگاهی شامل نمونه بدون پانل بتنی، نمونه با پانل بتنی و عرض شکاف برابر با صفر (مستقیماً به صفحه فولادی متصل می‌شود) و نمونه‌ها با عرض شکاف ۲۰ و ۴۰ میلی‌متر بودند. نتایج نشان داد، نمونه بدون پانل بتنی به دلیل کماتش موضعی و کماتش جانبی کمترین ظرفیت اتلاف انرژی را داشت در مقابل، نمونه‌های با عرض شکاف ۲۰ و ۴۰ میلی‌متر شش برابر بیشتر ظرفیت اتلاف انرژی نشان دادند. همچنین ظرفیت برشی نمونه‌های با پانل‌های بتنی نزدیک به ۵۰٪ افزایش یافته بود [3]. همچنین قله‌کی و همکاران در سال ۲۰۲۰، ۱۲ قاب فولادی ۷، ۱۵ و ۳۰ طبقه و همچنین ۵ و ۷ دهانه مجهز به دیوار برشی صفحه فولادی (SPSW) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که طیف ظرفیت جابه‌جایی به دست آمده با استفاده از روش‌های انرژی سازگاری خوبی با یکدیگر داشتند. در نتیجه مشخص شد که در مقایسه با طیف ظرفیت جابه‌جایی که مرکز جرم سقف به عنوان نقطه هدف در نظر گرفته شده بود، هماهنگی قابل قبولی بین طیف ظرفیت جابه‌جایی با نقطه هدف در حالت اول و طیف ظرفیت جابه‌جایی بدست آمده، وجود داشت [4]. یانو همکاران نیز در سال ۲۰۱۸ نوعی از دیوارهای برشی مرکب دوتایی<sup>۴</sup> (DSC) با ستون‌های مرزی پیشنهاد داده بودند تا راه‌حلی برای بهبود شکل پذیری ساختمان‌های مرتفع ایجاد شود. در این دیوار برشی DSC از گل میخ‌هایی سر پوشیده برای دستیابی به عملکرد مرکب بین صفحه ظاهر فولادی و هسته بتنی استفاده شده بود. نتایج آزمایش نشان داد که استفاده از گل میخ‌های قوی‌تر در دیوارهای برشی DSC باعث بهبود ظرفیت تغییر شکل و بهبود ظرفیت اتلاف انرژی

3 buckling-restrained steel panel shear wall  
4 Double skin composite

1 Composite Shear Wall  
2 Glass fibre reinforced polymer

به ناحیه غیرخطی و احتمال تشکیل مفصل پلاستیک، سلامت سازه ممکن است به مخاطره بیفتد [8].

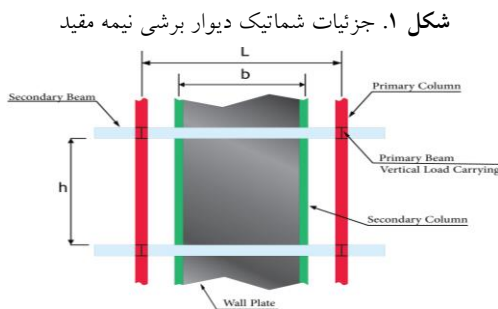


Fig. 1. Schematic details of semi-supported shear wall

پژوهشگران تحقیقات زیادی را برای مدل کردن بتن با استفاده از مدل‌های عددی پیشرفته آغاز کرده‌اند. یکی از این مدل‌ها که بر اساس تئوری مکانیک محیط‌های پیوسته است، مدل آسیب‌دیدگی برای رفتار بتن است [9]. تحقیقات گسترده به وضوح نشان می‌دهند که برای مدل‌سازی رفتار غیرخطی بتن، مؤثرترین مدل پلاستیسیته برای بتن می‌تواند با سخت شدن ایزوتروپیک توصیف شود، اگرچه آسیب بسیاری از موارد ایزوتروپیک نیست اما بیشتر از جهاتی قابل توجه است [10]. در این مقاله نیز برای تعریف مشخصات آسیب بتن، از مدل آسیب پلاستیسیته استفاده شده است.

شاید بتوان بارگذاری چرخه‌ای را از متداول‌ترین بارگذاری‌های اعمال شده به یک عضو دانست. به شکل کلی ایجاد یک بار (اعم از جابه‌جایی یا نیرو) به شکل تناوبی یا در اصطلاح رفت و برگشتی در یک عضو، بارگذاری چرخه‌ای نامیده می‌شود. مفهوم چرخه‌ای (هیسترزیس) اصطلاحی که در ادبیات مهندسی عمران به ویژه در مهندسی زلزله به چشم می‌خورد و با اصطلاحاتی به ویژه پاسخ لرزه‌ای مناسب، قابلیت جذب انرژی چرخه‌ای، حلقه‌های چاق و یا لاغر، کاهش سختی و افت مقاومت در منحنی چرخه‌ای شناخته می‌شود. منحنی بار-تغییر شکل تحت اثر بارگذاری رفت و برگشتی منحنی چرخه‌ای یا همان هیسترزیس نامیده می‌شود. عضوهای سازه‌ای دارای یک حافظه دائمی بودند که تمامی

آن‌ها شده است. همچنین افزایش نیروی محوری روی دیوارهای برشی DSC، باعث تغییر در ظرفیت اتلاف انرژی آن‌ها نمی‌شود اما اندکی شکل‌پذیری آن‌ها را کاهش می‌دهد [5]. وانگ و همکاران نیز در سال ۲۰۱۹ عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی ورق فولادی (SPSWs) و دیوارهای برشی مرکب بتنی مسلح با صفحه فولادی متناظر (SPCSWs) را به صورت تجربی بررسی کردند. نتایج آزمایش نشان داد که سختی جانبی، شکل‌پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی در دیوارهای برشی مرکب کاملاً بهتر از SPSWs است. بزرگ‌ترین نقطه ضعف SPSWs موجد اثر آکاردئون بود و برای از بین بردن این اثر باید اقدامات لازم انجام شود. با این حال، اثر آکاردئون برای ورق فولادی موجد برای بهبود پیوند با بتن و اتلاف انرژی به عنوان یک میراگر، مفید بود [6].

نوع جدیدی از دیوار برشی وجود دارد که به آن دیوار برشی فولادی نیمه مقید<sup>۱</sup> (SSW) گویند. در این دیوار که صفحه داخلی آن به جای ستون‌های اصلی قاب به ستون‌های ثانویه (فرعی) متصل است، به عنوان یک دیوار برشی فولادی جایگزین برای نوع تمام مقید (ورق در تمام طول دهانه) در نظر گرفته شده است [7]. در این نوع دیوار صفحه داخلی دیوار تمام دهانه را نمی‌پوشاند بلکه فاصله بین دو ستون فرعی که در داخل دهانه قرار دارند از مواد مختلف مثل ورق فولادی و یا بتن و یا ترکیب این دو پوشیده می‌شود. اتصال دو ستون فرعی به وسیله جوش به دو تیر اصلی در بالا و پایین دهانه انجام می‌شود (معمولاً اتصال مفصل) و فاصله بین دو ستون فرعی با ستون‌های اصلی (المان‌های مرزی) فضای خالی است که به نوعی تداعی کننده تیر پیوند است (شکل ۱). مزیت چنین دیواری کاهش شماره مقطع ستون مجاور دیوار و افزایش ایمنی ستون از پلاستیک شدگی کامل و پرهیز از تشکیل سازوکار در طبقه است. این در حالی است که در سیستم متداول (اتصال دیوار به ستون‌های قائم اصلی) علاوه بر آنکه مقطع ستون عددی بزرگ است، با ورود ستون

- 1 Steel plate shear walls
- 2 Steel plate concrete composite shear walls
- 3 Semi-Support Steel Shear Wall

مسیرهای گذشته که در افت ظرفیت آن نقش داشته را به یاد می‌آورند. بنابراین کار آبی لرزه‌ای مؤلفه‌های سازه‌ای به تاریخچه‌های خسارتی که در گذشته آن را پشت سر گذاشته است، وابسته است [11]. داده‌های ثبت شده از زمین لرزه‌های اخیر نشان می‌دهد که زلزله‌های حوزه نزدیک دارای ویژگی‌های متفاوتی نسبت به زلزله‌های حوزه دور هستند. در مجموع بیشتر این ویژگی‌ها، در اثر پدیده مهم جهت‌پذیری پیشرونده در زلزله‌های حوزه نزدیک است [12]. در این مقاله نیز دیوار برشی نمونه SSSW<sup>۱</sup> و SSCSW<sup>۲</sup> تحت دو پروتکل بارگذاری حوزه دور و نزدیک گسل قرار می‌گیرند و نتایج با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

این مقاله به کاربرد و استفاده دیوار برشی نیمه مقید فولادی مرکب در سازه‌های اسکلت فلزی می‌پردازد که در آن رفتار غیرخطی دیوار برشی فولادی مرکب نیمه مقید در لبه‌ها به صورت عددی تحت بارگذاری چرخه‌ای<sup>۲</sup> با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS [13] مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در این مقاله ابتدا مدل اول SSSW از مطالعه جهان پور و همکاران [14] درستی‌آزمایی شد تا اطمینان حاصل شود فرایند مدل‌سازی غیرخطی در نرم‌افزار ABAQUS صحیح است. در ادامه یک سازه سه بعدی ۸ طبقه مجهز به دیوار برشی فولادی نیمه مقید مدل‌سازی و طراحی شده است. برای مدل‌سازی ورق دیوار از ایده مهاربند معادل استفاده شد. در نهایت بحرانی‌ترین دهانه (بزرگ‌ترین مقطع مورد نیاز برای ورق فولادی و المان‌های مرزی) انتخاب و به عنوان مدل SSSW در ABAQUS مدل‌سازی شد. همین مدل بر اساس ضوابط طراحی دیوار برشی مرکب-AISC341 [16] [15]، به یک سیستم SSCSW تبدیل شد. در انتها مدل SSCSW در برابر پروتکل بارگذاری دور و نزدیک گسل قرار گرفته و نمودار چرخه‌ای SSSW و SSCSW با هم مقایسه شده است. مهم‌ترین مسئله که باعث شد به این نوع دیوار برشی پرداخته شود متغیرهایی مانند شکل‌پذیری، ظرفیت و مقاومت بهتر دیوار SSCSW در مقایسه با دیوارهای برشی قبلی است. همچنین از آنجایی که

سعی می‌شود ساختمان‌ها سبک‌تر ساخته شوند، استفاده از دیوارهای برشی SSCSW نسبت به نوع بتنی CSW<sup>۳</sup> می‌تواند در سبک‌سازی سازه مؤثر باشد. همچنین ظرفیت باربری نهایی، سختی اولیه و اتلاف انرژی از جمله متغیرهای مهم در دیوار برشی می‌باشند که در این نوع دیوار بررسی شدند. همچنین استفاده از دیوار برشی SSCSW می‌تواند منجر به عملکرد بهتر کلی سازه در هنگام اعمال بارهای جانبی شود. در این مقاله با بررسی رفتار غیرخطی مدل SSCSW و مقایسه با نمونه SSSW ساخته شده در این مقاله، متغیرهای ظرفیت باربری، سختی اولیه، شکل‌پذیری، اتلاف انرژی تجمعی<sup>۴</sup>، تنش فون مایسز<sup>۵</sup> و آسیب فشاری بتن دیوار، در این نوع مورد بررسی قرار می‌گیرد. شایان ذکر است که تاکنون آزمایش‌های عددی و تجربی بر روی این نوع دیوار نیمه‌مقید انجام نشده است. استفاده از بتن و فولاد در کنار هم به همراه آرماتوربندی مناسب، در ارتقاء رفتار لرزه‌ای با جلوگیری از کماتش‌های جزئی و کلی مؤثر است. بنابراین ایده تبدیل دیوار برشی فولادی نیمه مقید به فولادی مرکب SSCSW برای اولین بار در این مقاله مطرح شده است. همچنین بررسی رفتار غیرخطی این نوع از دیوار در برابر بارگذاری چرخه‌ای دور و نزدیک گسل به کمک شبیه‌سازی در نرم‌افزار ABAQUS انجام شده است. همچنین شکل (۲) روند نما مطالعه حاضر را نشان می‌دهد:

شکل ۲. روند نما مطالعه حاضر

3 Concrete Shear Wall  
4 Total Energy Dissipation  
5 Von Mises Stress

1 Semi-Supported Steel Composite Shear Wall  
2 Cyclic Loading

ساختمان ۸ طبقه فولادی دارای ساختار قاب خمشی ویژه و مهاربندهای همگرا ویژه (ایده استفاده از مهاربند همگرای معادل برای تعیین ضخامت اولیه ورق) در ETABS طراحی شد. سازه مذکور به صورت سه بعدی بوده و ارتفاع هر طبقه ۳/۲ متر، طول دهانه ها ۵ متر، تعداد دهانه ها در جهت x و y به ترتیب ۳ و ۵ است. تولید مدل و بارگذاری و کنترل‌های طراحی این سازه منطبق با استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم [18] و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [19] است از آنجایی که در استاندارد ۲۸۰۰ ضریب رفتار برای دیوار برشی فولادی (اعم از تمام مقید یا نیمه مقید) تعریف نشده است، ضریب رفتار سیستم SSSW، به کمک مقدار پیشنهادی برای دیوار برشی فولادی ارائه شده در ASCE [20] انتخاب شد. در ادامه با توجه به نسبت تنش‌های به دست آمده بحرانی ترین طبقه مهاربندی برای تبدیل مهاربندها به ضخامت ورق دیوار برشی انتخاب شد. همچنین به اینکه در استانداردها و آیین‌نامه‌ها رابطه‌ای تبدیل سطح مقطع مهاربند معادل به ضخامت ورق سیستم SSSW وجود ندارد، در این مقاله رابطه ارائه شده در AISC341-16 (رابطه ۱) استفاده شد. نویسندگان مقاله به این موضوع واقف هستند که در رابطه مندرج در آیین نامه از فرض تسلیم برشی ورق فولادی استفاده شده که وقوع چنین سازوکاری چندان محتمل نیست.

$$t_w = \frac{2A\Omega_s \sin \theta}{l \sin 2\alpha} \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $\alpha$  زاویه بین شیب میدان کشش با ستون که تقریباً برابر ۴۰ درجه در نظر گرفته شد.  $\Omega_0$  ضریب اضافه مقاومت که برای دیوارهای برشی فولادی طبق AISC 341-16 برابر با ۱/۲ معرفی شده است که از همین مقدار در طراحی استفاده شد. I فاصله مرکز به مرکز دو ستون فرعی ۳۰۰۰ میلی متر است. A مساحت مقطع مهاربند معادل که  $4070 \text{ mm}^2$  در دهانه بحرانی محاسبه شد. همچنین  $\theta$  زاویه بین مهاربند و ستون در سازه مهاربندی معادل که  $45^\circ$  فرض شده است. در نهایت ضخامت دیوار برشی فولادی با استفاده از مقادیر فوق الذکر، ۳ میلی متر به دست آمد. دقت داریم که در AISC341-16 کمترین ضخامت ورق دیوار ۱۰mm ادر دیوار برشی فولادی مرکب تعیین شده است اما با توجه به اینکه دیوار

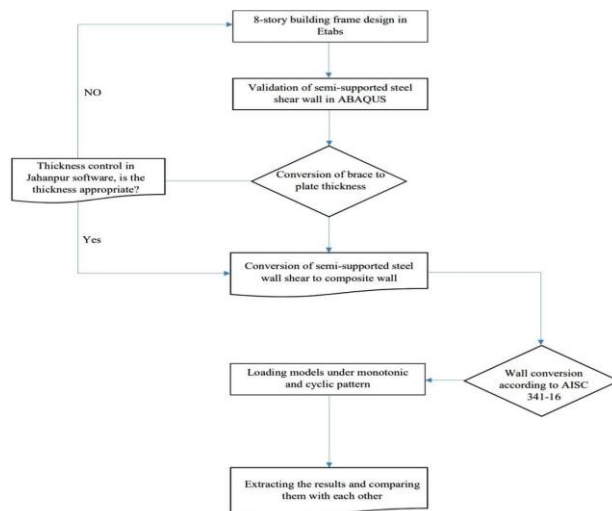


Fig. 2. The process of the present study

## ۲- مدل سازی

### ۲-۱- جزئیات مدل SSSW

دیوار برشی فولادی مرکب نیمه‌مقید در لبه‌ها (SSCSW) یک دیوار برشی جدید است هیچ مدل مبنایی برای این دیوار وجود ندارد. از طرفی با توجه به کم بودن ابعاد المان‌ها مرزی فرعی دیوار نیمه مقید فولادی در مطالعات گذشته، امکان توسعه آن نمونه‌ها به نمونه فولادی مرکب وجود نداشت. در نتیجه ابتدا یک مدل مبنای برای این دیوار طراحی و سپس در نرم‌افزار ABAQUS در برابر بارگذاری چرخه‌ای تحلیل شد. برای ساخت مدل مبنای، ابتدا اعضا مرزی فرعی و اصلی و ضخامت ورق فولادی دیوار، به کمک نرم‌افزار ETABS [16] به دست آمد، سپس ستون‌های فرعی و کنترل ضخامت ورق دیوار با استفاده از نرم‌افزار جهان پور و محرمی [17] کنترل و نهایی شد. در ادامه و با استفاده از ضوابط آیین نامه AISC341-16 به دیوار برشی نیمه مقید فولادی مرکب تبدیل شد. در نهایت هم مدل فولادی و هم مدل مرکب در برابر بارگذاری چرخه‌ای تحلیل شدند. نکته حائز اهمیت این است که با علم به اینکه در رفتار دیوار برشی نیمه مقید فولادی (SSSW) و تمام مقید تمایز وجود دارد، اما به دلیل فقدان ضوابط برای طراحی این سیستم، المان‌های مرزی دیوار مطابق با ضوابط طراحی دیوار برشی تمام مقید مرکب در آیین‌نامه AISC341-16 طراحی شدند. در نتیجه برای به دست آمدن مقاطع و هندسه مناسب برای اعضای مرزی بکار برده شده در این دیوار و به دست آمدن ضخامت مناسب ورق دیوار، ابتدا

مقادیر  $B_c$  و  $B_t$  که مقادیر آن با توجه به راهنمای برنامه به جهت همگرایی در جواب نهایی مؤثرند، به عنوان ورودی به نرم افزار داده می‌شوند. مقطع ستون‌های فرعی در ETABS معادل  $250 \times 10$  BOX در نظر گرفته شده اند در حالی که در نرم‌افزار مذکور امکان تعریف مقطع جعبه‌ای وجود ندارد، پس با معادل سازی مقطع جعبه به دوپل ناودانی، از 2UPN 260 به عنوان حدس اولیه استفاده شد. همچنین دو مقادیر ورودی شامل لنگر واژگونی و ظرفیت برشی تخمینی برای به دست آمدن ظرفیت برشی نهایی دیوار و کنترل ستون فرعی در قسمت ورودی نرم‌افزار تعریف شد. برای محاسبه لنگر واژگونی با توجه به استاندارد ۲۸۰۰ به نیروی برشی وارد شده به هر طبقه نیاز است. با توجه به اینکه طراحی سیستم SSSW مدنظر است، بنابراین سهم دهانه‌ای که دیوار برشی در آن قرار دارد از نیروی جانبی در تراز طبقه به دست می‌آید. برای مدل طراحی شده این مقاله، ظرفیت برشی تخمینی ( $V_s$ ) دهانه بحرانی ۶۲۳ کیلو نیوتن به دست آمد. در راهنمای نرم‌افزار به این مورد اشاره شده است که اگر پس از تحلیل و اجرای برنامه دو پارامتر  $P_c$  و  $P_t$  که به نوعی همگرایی برنامه را نشان می‌دهند، نزدیک به ۱ باشند و اختلاف این دو از عدد ۰/۰۰۵ بیشتر نشود، جواب نهایی صحیح و مدل همگراست. با توجه به داده‌های جدول (۱) به نرم‌افزار، دو پارامتر  $P_c$  و  $P_t$  پس از تحلیل برای مدل به ترتیب ۱ و ۰/۹۹۹۹ به دست آمدند، بدین ترتیب مدل با توجه به مقادیر ورودی همگراست و مقطع  $250 \times 10$  BOX برای ستون‌های فرعی با توجه به ضخامت ۳ میلی‌متری ورق فولادی دیوار، مناسب است.

جدول ۱. مشخصات ورودی به نرم افزار جهان پور و محرمی [17]

Specifications	Entrance
Column free length	290 cm
wall width	300 cm
The thickness of the wall steel plate	3 mm
The amount of overturning anchor	4795KN.m
The type of connection of sub-columns with border beams	Pinned
Cross-section type of sub-columns	2UPN 260
The yield stress of the wall steel plate	180 MP
Yield stress of sub-columns	240 MP
$B_c$	0.975
$B_t$	0.975

برشی مورد بررسی در این مطالعه، نیمه مقید بوده و لزومی به رعایت ضوابط AISC341-16 برای این سیستم نیست، پس از همان ۳ میلی‌متر به عنوان ضخامت ورق فولادی در سیستم مرکب هم استفاده شد. شکل (۳) دهانه مهاربندی انتخابی در مدل ETABS برای تبدیل مهاربندها به ضخامت ورق فولادی دیوار را به صورت شماتیک نشان می‌دهد. در شکل (۲)، تیرها با مقطع 2IPE300، ستون‌های اصلی با مقطع  $300 \times 25$  BOX، ستون‌های فرعی با مقطع  $250 \times 10$  BOX، مهاربندها با مقطع 2UPN140 طراحی شده‌اند. یادآور می‌شود فولاد کلیه اعضا (به جز ورق دیوار) ST37 و ورق دیوار از فولاد کم مقاومت (LYP) با مقاومت تسلیم ۱۸۰ مگا پاسکال انتخاب شد.

شکل ۳. دهانه بحرانی برای تبدیل مهاربند به ضخامت ورق SSSW

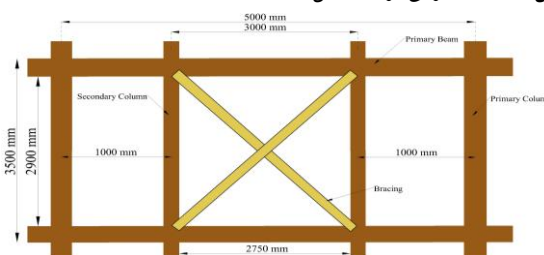


Fig. 3. The critical gap to convert the brace to the thickness of SSSW plate

از آنجا که ETABS قابلیت طراحی ستون‌های فرعی و ورق فولادی سیستم SSSW را ندارد، بنابراین برای طراحی ستون‌های فرعی، از نرم‌افزار جهان پور و محرمی استفاده می‌شود. این نرم‌افزار برای طراحی ستون‌های فرعی و تعیین ظرفیت برشی سیستم SSSW توجه به ضخامت ورق دیوار است. در این نرم‌افزار که بر اساس فرمول‌بندی و راه حل‌های ارائه شده در کتاب جهان پور و محرمی [21] طراحی شده است، طول آزاد ستون، عرض دیوار، ضخامت ورق فولادی دیوار، میزان لنگر واژگونی و ظرفیت برشی تخمینی دیوار به صورت تقریبی وارد می‌شود. سپس نوع اتصال ستون‌های فرعی با تیرهای مرزی، نوع مقطع برای ستون‌های فرعی، تنش تسلیم ورق فولادی دیوار، تنش تسلیم ستون‌های فرعی و

1 Low Yield Point

نهایت شکل (۴) جزئیات سیستم SSCSW را نشان می‌دهد. پس از طراحی سیستم SSSW و تبدیل آن به سیستم SSCSW، دو مدل در ABAQUS تولید و تحت پروتکل های بارگذاری مربوطه بررسی ارزیابی شدند.

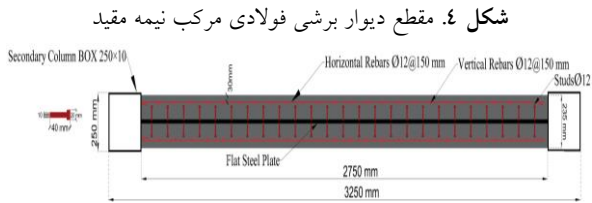


Fig. 4. Section of semi-supported composite steel shear wall

### ۲-۳- روند تولید مدل FEM سیستم SSCSW

برای بررسی رفتار چرخه‌ای سیستم SSCSW و اندرکنش بین اعضای قاب و ورق دیوار با پوشش بتن، یک مدل اجزاء محدود ساخته شد. مدل مذکور شامل یک دیوار مرکب نیمه مقید ۱ طبقه در داخل یک قاب ۱ دهانه است که ورق دیوار برشی به ستون‌ها فرعی و دو تیر بالا و پایین و همچنین اتصال ستون‌های اصلی به تیرها به صورت جوش در نظر گرفته شد. برای تعریف این اتصال در نرم افزار از قید Tie استفاده شد. همچنین برای اتصال دیوار بتنی به ورق فولادی، می توان گل‌میخ مدل کرد اما در این صورت با توجه به هندسه پیچیده زمان تحلیل بسیار طولانی می‌شود، در نتیجه برای اتصال دیوار بتنی به ورق فولادی هم از قید Tie استفاده شد. البته مقایسه بین تحلیل بارافزون مدل با تکنیک Tie و مدل دارای گل‌میخ نشان داد اختلاف قابل توجهی بین نتایج قابل انتظار نیست. مطابق توضیحات بخش ۲-۱ برای ورق دیوار از فولاد کم مقاومت LYP180 و برای بقیه اعضا از فولاد ST37 استفاده شد. برای تحلیل‌های دینامیکی برای بارگذاری‌های چرخه‌ای در نرم‌افزار ABAQUS می‌توان از یکی از دو روش تحلیل دینامیکی اکسپلیسیت<sup>۱</sup> و ایمپلیسیت<sup>۳</sup> استفاده کرد. در تحلیل اکسپلیسیت سرعت حل بالاتر نسبت به روش ایمپلیسیت است. همچنین فضای ذخیره‌سازی

### ۲-۲- جزئیات مدل SSCSW

با توسعه مطالعات پیرامون رفتارشناسی SSSW این به نظر آمد که می‌توان ورق فولادی را با بتن پوشاند و سیستم جدیدی را به وجود آورد که دیوار برشی نیمه مقید فولادی مرکب نام‌گذاری شد. به نظر رسید با استفاده از بتن، می‌توان علاوه بر افزایش سختی جانبی و البته باربری جانبی، به توسعه کامل‌تر میدان کشش در ورق فولادی کمک کرد. مهم‌ترین مسئله که باعث شد به این نوع دیوار برشی پرداخته شود متغیرهایی مانند شکل‌پذیری، ظرفیت و مقاومت بهتر دیوار (SSCSW) در مقایسه با دیوارهای برشی قبلی است. همچنین از آنجایی که سعی می‌شود ساختمان‌ها سبک‌تر ساخته شوند، استفاده از دیوارهای برشی (SSCSW) نسبت به نوع بتنی (CSW) می‌تواند در سبک‌سازی سازه مؤثر باشد.

پس از طراحی دیوار برشی نیمه مقید فولادی در بخش ۲-۱، ورق دیوار از فولادی به فولادی مرکب تبدیل می‌شود، بدین صورت که دو طرف ورق فولادی بتن کار گذاشته می‌شود. تبدیل ورق فولادی به فولادی مرکب با استفاده از ضوابط طراحی دیوار برشی مرکب AISC341-16 انجام شد. لازم به ذکر است آیین نامه ضوابطی برای تبدیل سیستم SSSW به فولادی مرکب (SSCSW) وجود ندارد پس از ضوابط طراحی دیوار برشی فولادی مرکب تمام مقید تا جایی که بندهای آن برای طراحی این دیوار محدودیت ایجاد نکند، استفاده شده است. به طور نمونه تلاش شد تا ضابطه ستون قوی - تیر ضعیف باید مطابق ضوابط قاب‌های با دیوار برشی فولادی ارضا شود. اعضای مرزی قائم و افقی (به صورت فولادی یا با مقطع مرکب)، باید دارای نسبت پهنا به ضخامت با محدودیت  $\lambda_{hd}$  برای تأمین شکل پذیری زیاد باشند. باید به این نکته توجه داشت که مطابق بند ۶ AISC341-16 در طراحی دیوار برشی مرکب فاصله<sup>۱</sup> ای بین دیوار بتنی و اعضای مرزی وجود ندارد که این امر سختی کل سیستم را افزایش می‌دهد. در

تعریف مدل رفتاری آسیب بتن در فشار از رابطه هگنستاد [22] به شرح زیر استفاده شد.

$$\sigma_c = f_c'' \left( \left( \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right) - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right) \quad (2)$$

در رابطه (۲) حداکثر تنش فشاری حداکثر بتن،  $\varepsilon_c$  مقادیر کرنش،  $f_c''$  مقاومت فشاری بتن می‌باشد که از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$f_c'' = f_c' \cdot K_s \quad (3)$$

در رابطه (۳)  $K_s$  یک ضریب است که مقدار آن برای بتن‌هایی با میزان مقاومت فشاری مختلف، متفاوت است که در این مقاله با توجه به استفاده از بتن با مقاومت فشاری ۲۵ مگاپاسکال مقدار آن ۰/۹۵ می‌باشد. همچنین در رابطه (۲)  $\varepsilon_0$  کرنش نظیر تنش حداکثر می‌باشد که مقدار آن از رابطه (۴) محاسبه می‌شود

$$\varepsilon_0 = 1.8 \frac{f_c''}{E_0} \quad (4)$$

در رابطه (۴)  $E_0$  مدول الاستیسیته اولیه بتن می‌باشد. برای محاسبه منحنی تنش-کرنش بتن در کشش با توجه به اینکه مدل‌ها در این مقاله عددی هستند و نتایج آزمایشگاهی حاصل آزمایش شکافت استوانه و یا کشش مستقیم در دسترس نمی‌باشند، برای به دست آوردن بیشینه تنش کششی می‌توان از رابطه (۵) استفاده کرد [23].

$$\sigma_t = 0.3 f_c''^{\frac{2}{3}} \quad (5)$$

در رابطه (۵)  $\sigma_t$  بیشینه تنش کششی می‌باشد. با محاسبه و جایگذاری در روابط گفته شده، منحنی تنش-کرنش بتن مطابق شکل (۶) به دست می‌آید.

شکل ۶. الف. رفتار بتن در ناحیه کشش با مقاومت ۲۵ مگا پاسکال

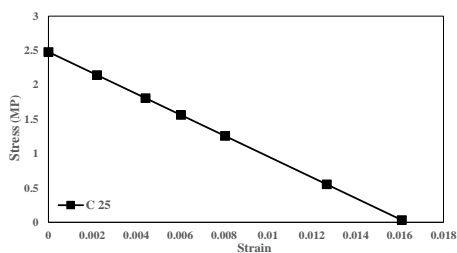


Fig. 6. A. The behavior of concrete in the tensile zone with a resistance of 25 MPa

کمتری در روش اکسپلیسیت نیاز است و همچنین در تحلیل‌هایی که تغییر شکل‌های سازه در آن منجر به تغییرات بنیادی در استحکام ماده می‌شود استفاده از روش اکسپلیسیت بهتر است، بنابراین تحلیل تمام مدل‌ها در این مطالعه با روش دینامیک اکسپلیسیت شده است. شکل (۵-الف) مدل اجزاء محدود سیستم SSCSW و شکل (۵-ب) منحنی تنش-کرنش فولادها را نشان می‌دهد. لازم به یادآوری است در این مقاله برای فولاد و بتن مدل آسیب تعریف شده پس در تعریف منحنی تنش-کرنش، تنش و کرنش متناظر با ناحیه شکست تعریف شده است و نیازی به بخش خطی اولیه این نمودار نیست.

شکل ۵. الف. مدل توسعه یافته SSCSW در ABAQUS

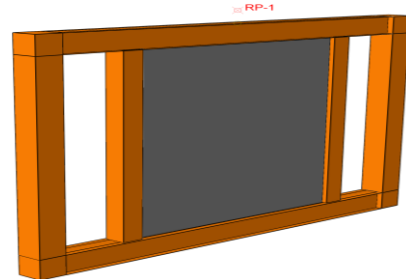


Fig. 5. A. Developed SSCSW model in ABAQUS

شکل ۵. ب. منحنی تنش - کرنش فولاد ST37 و LYP 180

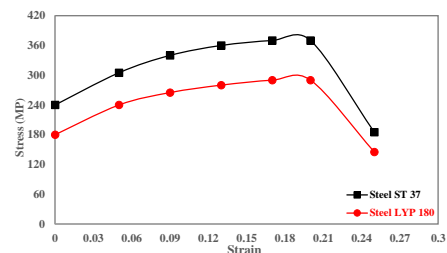


Fig. 5. B. Stress-strain curve of ST37 and LYP180 steel

برای آن که رفتار مدل اجزاء محدود به مدل آزمایشگاهی و واقعی نزدیک باشد و همچنین مانند یک مدل واقعی زوال مقاومت چرخه‌ای دیده شود، در نرم‌افزار برای مصالح مورد استفاده مدل آسیب تعریف می‌شود. برای تعریف مدل آسیب بتن در کشش و فشار در نرم‌افزار از مدل آسیب پلاستیسیته بتن<sup>۱</sup> (CDP) استفاده شد که در این مقاله برای



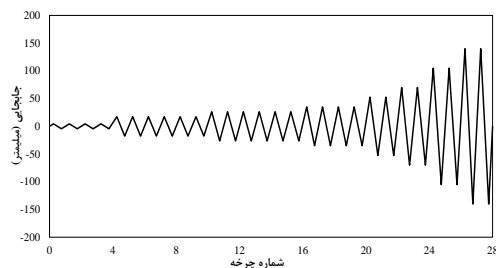


Fig. 7. B. The SAC far-fault loading protocol is generalized to the models studied in this paper

در این مقاله از پروتکل بارگذاری دور و نزدیک گسل SAC [24] برای بررسی رفتار دو مدل مبنا فولادی و توسعه داده شده فولادی مرکب استفاده می شود که دو پروتکل برای تعریف در نرم افزار مطابق شکل (۷) می باشند. الگو بارگذاری مدل SSSW و SSCSW به صورت بارگذاری چرخه ای است و بار اعمالی به شکل تغییر مکانی، به صورت رفت و برگشت و بر اساس پروتکل بارگذاری گفته شده است. در مدل عددی الگو بارگذاری به گره مرجعی که بالای مدل ها تعریف شد، اعمال می شود. سطح مذکور و گره مرجع، به صورت کوپل به یکدیگر بسته شدند و نیرو و تغییر مکان این گره برای خروجی های مختلف از جمله چرخه ای ثبت می شوند.

### ۳- درستی آزمایی

روش های مختلفی برای مدل سازی دیوار برشی نیمه مقید فولادی (SSSW) در نرم افزار ABAQUS وجود دارد که در این مقاله برای درستی آزمایی مدل SSSW از المان پوسته ای<sup>۲</sup> استفاده شد. بررسی پارامترهایی مورد بررسی تنها در صورتی امکان پذیر است که نتایج به دست آمده از تحلیل ها صحیح بوده و از دقت بالایی برخوردار باشند. برای رسیدن به این هدف بهترین روش استفاده از تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده روی مدل SSSW است به این صورت که ابتدا مدل تحلیلی منطبق با شرایط و مشخصات یک مدل آزمایشگاهی ساخته شده، سپس نتایج به دست آمده از تحلیل و آزمایش مقایسه شد. در صورت تطابق قابل قبول نتایج می توان نتیجه گیری کرد که مدل سازی و فرضیات در نظر گرفته شده در تحلیل از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و می توان از

شکل ۶. ب. رفتار بتن در ناحیه فشار با مقاومت ۲۵ مگا پاسکال

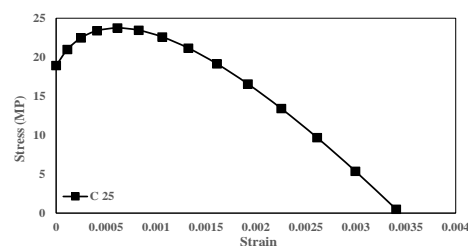


Fig. 6. B. The behavior of concrete in the pressure zone with a resistance of 25 MPa

پس از تعریف مدل آسیب بتن، مدل آسیب فولاد محاسبه و تعریف شد. بدین منظور در نرم افزار از مدل آسیب نرم<sup>۱</sup> برحسب شکست انرژی برای المان های فولادی استفاده شد، بدین صورت که شکست انرژی با توجه به ابعاد هر المان و با توجه به جنس فولاد و منحنی تنش- کرنش (مطابق شکل ۴-ب)، با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می شود.

$$G_f = \int_{\bar{\epsilon}_0^{pl}}^{\bar{\epsilon}_f^{pl}} L \sigma_y d\bar{\epsilon}^{pl} \quad (6)$$

در رابطه (۶)  $G_f$  انرژی شکست،  $\bar{\epsilon}_0^{pl}$  کرنش متناظر با شروع شکست که همان کرنش متناظر با تنش نهایی،  $\bar{\epsilon}_f^{pl}$  کرنش متناظر با پایان تنش شکست،  $\sigma_y$  تنش نهایی با توجه به جنس فولاد استفاده شده برای هر المان و  $L$  برای المان های ۲ بعدی برابر با طول هر المان (تیر، ستون و ...) است. پس از مدل سازی و تعریف مصالح و شرایط مرزی، پروتکل بارگذاری تعریف می شود.

شکل ۷. الف. پروتکل بارگذاری نزدیک گسل SAC تعمیم یافته به مدل های مورد مطالعه در این مقاله

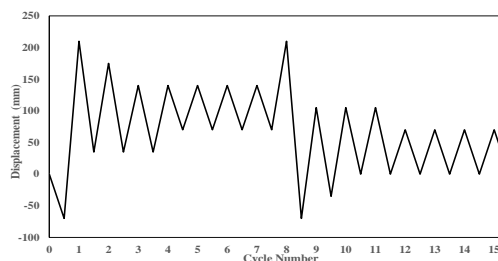


Fig. 7. A. SAC near-fault loading protocol generalized to the models studied in this paper

شکل ۷. ب. پروتکل بارگذاری دور از گسل SAC تعمیم یافته به مدل های مورد مطالعه در این مقاله

می‌توان استفاده نمود. در تحلیل‌های چرخه‌ای باید روش کینماتیک و یا ترکیبی از کینماتیک و ایزوتروپیک<sup>۳</sup> انتخاب شود، اما بهتر است از روش ترکیبی استفاده شود زیرا این روش دارای مفاهیم مربوط به هر دو روش ایزوتروپیک و کینماتیک است و نقص‌های هر یک از دو روش را برطرف می‌کند. تمامی اعضا با استفاده از المان‌های چهارگره‌ی S4R و روش انتگرال‌گیری کاهش یافته، مدل شدند. هر گره شش درجه آزادی دارد، سه درجه آزادی انتقالی ( $u_x, u_y, u_z$ ) و سه درجه آزادی دورانی ( $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ )، المان S4R چرخش‌های بزرگ و کرنش‌های اجزاء محدود را در نظر گرفته و امکان تغییر در ضخامت را ایجاد می‌کند. بنابراین برای تحلیل‌هایی با کرنش بزرگ و برای مصالحی که ضریب پواسون مؤثر آن‌ها غیر صفر است و همچنین مواردی که غیرخطی شدن هندسی ممکن است رخ دهد، مناسب است. الگو بارگذاری در این مدل به صورت بارگذاری چرخه‌ای دور از گسل و بار اعمالی به شکل تغییر مکانی، به صورت رفت و برگشت و بر اساس استاندارد ECCS 1986 [25] است. در مدل عددی الگو بارگذاری به گره مرجعی که برای مدل تعریف می‌شود (RP)، اعمال شد. دیوار برشی و گره مرجع، به صورت کوپل به یکدیگر بسته شدند و نیرو و تغییر مکان این گره برای مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ثبت شدند. شکل (۹) پروتکل بارگذاری چرخه‌ای دور از گسل برای مدل اول در مقاله جهان‌پور و همکاران به همراه مدل اجزا محدود در نرم‌افزار ABAQUS را نشان می‌دهد:

شکل ۹. الف. مدل اجزاء محدود نمونه آزمایشگاهی در ABAQUS

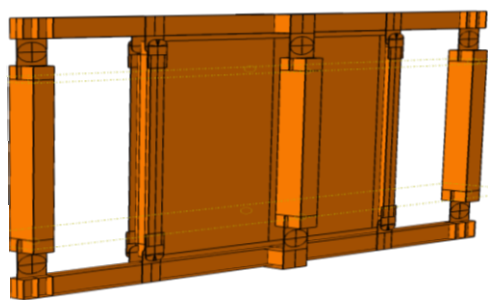


Fig. 9. A. Finite element model of laboratory sample in ABAQUS

مدل‌سازی انجام شده برای بررسی پارامترهای مختلف استفاده نمود. مدلی که در این مقاله برای درستی‌آزمایی مدل SSSW انتخاب شده است مدل شماره ۱ مقاله جهان‌پور و همکاران است. شکل (۸) جزئیات مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد:

شکل ۸. مدل آزمایشگاهی دیوار برشی نیمه مقید فولادی [14]



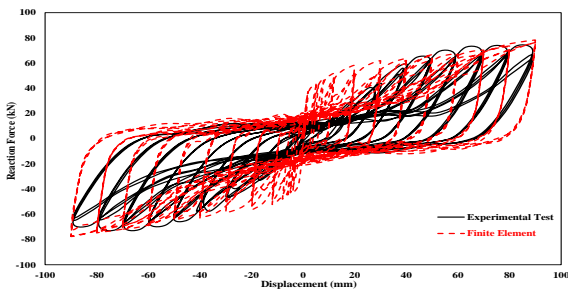
Fig. 8. Laboratory model of semi-supported steel shear wall [14]

در مدل درستی‌آزمایی برای مدل SSSW ۲ نوع فولاد با تنش کرنش مختلف به کار برده شده است، بدین صورت که ورق دیوار یک نوع فولاد و مابقی اعضا نوع دیگر. جنس ورق فولاد دیوار ASTM A36 و اعضای قاب از ورق‌هایی با مصالح تعریف شده طبق استاندارد ASTM A572 هستند. مشخصات فولادهای مورد نظر در مقاله از آنجاکه مدل‌سازی در آزمایشگاه انجام شده است اما درستی‌آزمایی به صورت عددی است بنابراین مقادیر تنش و کرنش تسلیم و نهایی باید از مقادیر مهندسی به مقادیر واقعی تبدیل می‌شوند؛ بنابراین پس از ساخت مدل در نرم‌افزار، آزمایش کشش استاندارد در نرم‌افزار انجام و سپس مقادیر تنش و کرنش از آن استخراج شد. تنش نهایی استفاده شده در مدل عددی برای ورق دیوار ۱۴۵ مگا پاسکال و بقیه اعضا ۲۴۵ مگا پاسکال به دست آمد. ضخامت ورق فولادی استفاده شده ۱ میلی‌متر (در مدل درستی‌آزمایی)، مقطع ستون‌های اصلی و خارج از صفحه درستی‌آزمایی، RHS120×80×4، ستون‌های فرعی IPE100 و تیرها IPE120 است. در ABAQUS برای تعریف مشخصات پلاستیک مواد، از دو نوع سخت‌شوندگی ایزوتروپیک<sup>۱</sup> (که در آن سطح جاری شدن در هنگام تحمل کرنش‌های پلاستیک، گسترش می‌یابد) و کینماتیک<sup>۲</sup> (که در آن در هنگام کرنش‌های پلاستیک، سطح جاری شدن بدون گسترش، انتقال می‌یابد)

- 1 Isotropic Hardening
- 2 Kinematic Hardening

حرکت‌های افقی بین این دو از بین می‌رود. اما در مراحل پایانی تحلیل که میدان کشش به خوبی در ورق شکل گرفته و تنش‌ها بیشتر به صورت کششی بین ورق و نبشی‌ها رد و بدل می‌شود، لغزش ورق به مراتب کمتر از مراحل اولیه بارگذاری بوده، پس اختلاف بین دو حالت فوق کمتر می‌شود. هرچه میزان نیرو وارد شده مطابق پروتکل بارگذاری افزایش پیدا می‌کند، ظرفیت باربری دو نمونه آزمایشگاهی و عددی به یکدیگر نزدیک و مقاومت نهایی دو نمونه اختلاف اندکی پیدا کردند. اندازه مقاومت نهایی در نمونه آزمایشگاهی  $KN$  ۶۹ و در نمونه عددی  $KN$  ۷۶ برآورد شد که اختلاف ۱۰٪ بین نمونه عددی و آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. شکل (۱۰) خروجی مدل چرخه‌ای عددی در مقایسه با خروجی چرخه‌ای آزمایشگاهی نشان می‌دهد:

شکل ۱۰. مقایسه خروجی چرخه‌ای درستی آزمایشی مقاله حاضر با نمونه آزمایشگاهی مدل شماره ۱ مقاله جهان پور و همکاران [14]



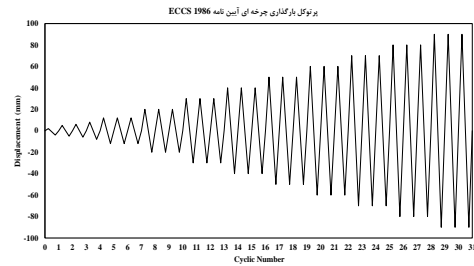
**Fig. 10.** Comparison of the cyclic output of validation of this article with the laboratory sample of model number 1 of the article of Jahanpour et al [14]

## ۴- نتایج و یافته‌ها

### ۴-۱- خروجی رفتار مدل SSSW و SSCSW تحت بارگذاری یکنوا

مطابق آنچه در قسمت‌های قبل گفته شد در این مقاله هدف اصلی امکان سنجی تبدیل دیوار برشی نیمه مقید فولادی به نوع فولادی مرکبی است به شکلی که با استفاده از بتن در دو سمت ورق فولادی، موضوع احتمالی افزایش ظرفیت باربری جانبی، سختی جانبی و البته بهبود توسعه میدان کشش بررسی شود. در این راستا دو مدل SSSW و SSCSW در برابر دو پروتکل (شیوه نامه) بارگذاری چرخه‌ای

شکل ۹. ب. پروتکل بارگذاری چرخه دور از گسل Eccs1986 [25]



**Fig. 9. B.** Eccs1986 far-fault cycle loading protocol [25]

جدول (۲) نیز مقایسه دو نمونه عددی و آزمایشگاهی را نشان می‌دهد:

جدول ۲. مقایسه نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی در مقاله جهان پور و همکاران

Parameter	Exp Sample	Numerical Sample
Primitive-Stiffness	2 KN/mm	5 KN/mm
Ultimate Resistance	69 KN	76 KN

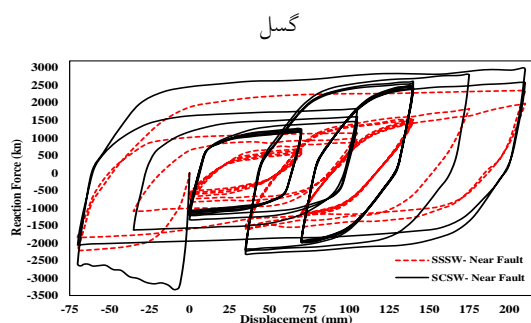
**Table 1.** Comparison of numerical and Exp model results in the article by Jahanpour et al

نتایج نشان داد که سختی اولیه مدل عددی با سختی اولیه مدل آزمایشگاهی اختلاف دارند به قسمی که سختی اولیه در مدل آزمایشگاهی حدوداً  $2 KN/mm$  و در مدل عددی  $5 KN/mm$  بود که اختلاف حدوداً ۱۵۰٪ بین دو مدل عددی و آزمایشگاهی در سختی اولیه مشهود است. این اختلاف در سختی (شیب مماس بر نمودار چرخه‌ای) با ورود به ناحیه غیرخطی کاهش یافته و هماهنگی مناسب‌تری مشاهده شد اگرچه همچنان در بخش باربرداری و در چرخه‌های بزرگ این اختلاف دیده می‌شود. به نظر می‌رسد اختلاف در سختی اولیه در دو نمونه عددی و آزمایشگاهی، به علت لغزش پیچ‌های متصل کننده ورق دیوار به نبشی‌ها در نمونه آزمایشگاهی باشد. همچنین در هنگام آزمایش لغزش‌ها باعث پارگی‌هایی در ورق دیوار شد. این موارد باعث می‌شود که در هر چرخه حرکت‌هایی افقی بین ورق و نبشی ایجاد شود و همین امر باعث می‌شود که از سختی سیستم کاسته شود. اما در مدل اجزاء محدود چون از قابلیت Tie در مدل‌سازی استفاده شد، بحث لغزش بین ورق و نبشی منتفی و

#### ۴-۲- خروجی رفتار مدل SSSW و SSCSW تحت بارگذاری چرخه‌ای

با توسعه مدل عددی در ABAQUS، هر دو مدل تحت بارگذاری دور و نزدیک قرار گرفتند. شکل (۱۲) نتایج حاصل از تحلیل چرخه‌ای تحت الگو دور و نزدیک SAC را نشان می‌دهد. مطابق شکل (۱۲) نتایج نشان می‌دهد که سختی اولیه در مدل SSCSW برابر  $469 \text{ KN/mm}$  و در مدل SSSW برابر  $104 \text{ KN/mm}$  است به شکلی که اضافه شدن بتن به مدل SSSW باعث شد سختی اولیه حدوداً  $4/5$  برابر شود. ضریب شکل‌پذیری تحت الگوی نزدیک گسل در مدل SSCSW ۲۵ و در مدل SSSW ۱۰ به دست آمد که نشان می‌دهد تحت یک پروتکل بارگذاری یکسان، با اضافه شدن بتن به مدل فولادی میزان شکل‌پذیری را حدوداً  $2/5$  برابر کرده است. نتایج مشابهی برای الگوی دور از گسل هم به دست آمد. بنابراین می‌توان گفت افزایش شکل‌پذیری تحت الگو دور و نزدیک با یکدیگر برابر و این عامل تابع الگوی بارگذاری نیست. به علاوه مقاومت نهایی در مدل SSCSW برابر  $3004$  کیلو نیوتن و در مدل SSSW برابر  $2353$  کیلو نیوتن است، پس با اضافه شدن بتن به مدل مبنا فولادی مقاومت نهایی  $28\%$  افزایش یافته است (در مقایسه با افزایش  $35\%$  بار یکنوا مقدار کمتری را نشان می‌دهد). البته نکته بسیار مهم این است که در مدل‌های توسعه داده شده در این مطالعه پارگی ورق در نظر گرفته نشده است پس اعداد به دست آمده فقط برای حالتی است که مطمئن باشیم، مدل در خلال بارگذاری دچار هیچ گونه شکستی (پارگی) نخواهد شد در این صورت می‌توان استفاده کرد.

شکل ۱۲. الف. منحنی چرخه‌ای SSSW و SSCSW تحت الگو نزدیک



دور و نزدیک گسل قرار گرفتند. بدیهی است یکی از اهداف فرعی مقایسه رفتار این دو نوع دیوار در برابر نوع پروتکل بارگذاری است. البته که هدف اصلی مقایسه رفتار هر دو سیستم با یکدیگر است. یکی از موضوعاتی که در کنار بارگذاری چرخه‌ای بدان توجه شد، ارزیابی رفتار غیرخطی هر دو سیستم در خلال بارگذاری یکنوا است. بدین منظور ابتدا مدل‌های توسعه داده شده در ABAQUS در برابر بارگذاری یکنوا قرار گرفتند. هر دو مدل تا  $4\%$  درصد ارتفاع قاب پوش داده شده‌اند. نتیجه تحلیل در برابر بار یکنوا برای هر دو مدل در شکل (۱۱) نمایش داده شده است. نتایج به دست آمده از شکل (۱۱) نشان می‌دهد که با استفاده از بتن در دو سمت دیوار برشی نیمه مقید، سختی اولیه، شکل‌پذیری و مقاومت نهایی افزایش یافته است. این افزایش برای مقاومت نهایی  $35\%$  برآورد شد. همین ارزیابی اولیه نشان می‌دهد که استفاده از روکش بتنی می‌تواند مؤثر باشد. نکته بسیار مهم اینکه در نمونه مرکب، با افزایش بار و تا زمانی که روکش بتنی ترک نخورده است، شیب ارتجاعی مدل افزایشی است. با رسیدن به بیشینه نیروی قابل تحمل در سیستم (حدود  $3200 \text{ KN}$ ) روکش بتنی در مجاورت اتصال به تیرها و ستون‌ها خرد شده و در نتیجه علاوه بر کاهش سختی، بیشینه نیروی قابل تحمل نیز کاهش یافته است (شیب ناحیه غیرخطی در مدل SSCSW کمی نزولی است). به همین دلیل به نظر می‌رسد که اجرای روکش بتنی می‌تواند با اعمال یک فاصله نسبت به تیر و ستون اجرا شود.

شکل ۱۱. مقایسه منحنی ظرفیت حاصل از تحلیل بار یکنوا برای مدل SSSW و SSCSW

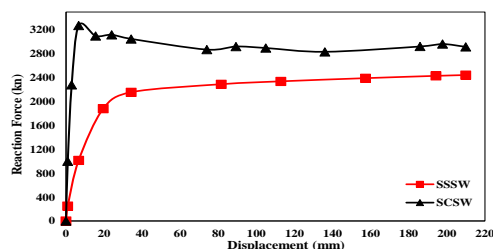


Fig. 11. Comparison of the capacity curve obtained from pushover load analysis for SSSW and SSCSW models

I Monotonic

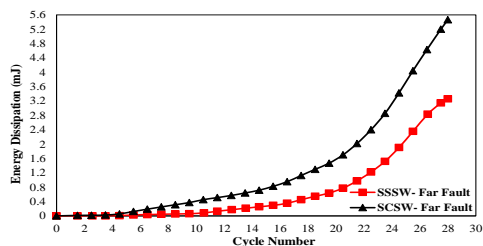


Fig. 13. A. The amount of energy loss of each cycle in the pattern away far-fault for the SSSW and SSCSW models

شکل ۱۳.ب. میزان اتلاف انرژی هر چرخه در الگو نزدیک گسل برای مدل SSSW و SSCSW

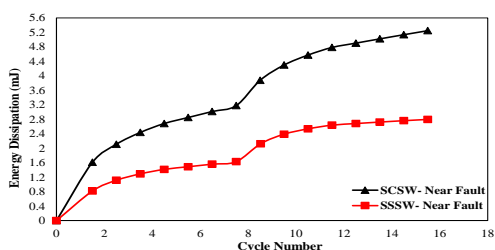


Fig. 13. B. The amount of energy loss of each cycle in the pattern away near-fault for the SSSW and SSCSW models

شکل (۱۴) توزیع تنش فون مایسز تحت الگو دور و نزدیک برای مدل SSSW و توزیع آسیب فشاری در دیوار بتنی برای مدل SSCSW تحت الگو دور و نزدیک SAC را نشان می دهد. در شکل (۱۴-الف) با توجه به اینکه مدل فولادی تحت الگو نزدیک گسل قرار گرفته و در اولین چرخه این پروتکل بزرگ ترین جابه جایی قرار دارد، مشاهده می شود که بیشترین میزان تنشها در محل اتصال ستونهای اصلی به تیرها است که وارد ناحیه گسیختگی شده و مقدار تنش بیشینه برابر با ۲۵۳ مگا پاسکال است. در شکل (۱۴-ب) و در الگو دور مدل در آخرین چرخهها وارد ناحیه گسیختگی شده که علاوه بر محل اتصال تیرها به ستونهای اصلی، محل اتصال ستونهای فرعی به تیرها و روی ستونهای فرعی، تنش بیشینه ۲۵۶ مگا پاسکال وارد ناحیه گسیختگی شده است. بنابراین در محدوده مدل های توسعه داده شده در این مقاله می توان نتیجه گرفت که در اثر پروتکل دور از گسل رفتار قابل انتظار دیوار تأمین شده به شکلی که از توسعه آسیب به المانهای اصلی قاب پرهیز شده و وجود روکش بتنی به این موضوع کمک کرده است (در الگو دور با توجه به ماهیت پروتکل آسیب از چرخه ۴ به تدریج آغاز و دیوار بتنی در چرخه ۱۰ به طور کامل گسیخته و خرد شده است). اما در

Fig. 12. A. Cyclic curves of SSSW and SSCSW under near-fault patterns

شکل ۱۲.ب. منحنی چرخه ای SSSW و SSCSW تحت الگو دور از گسل

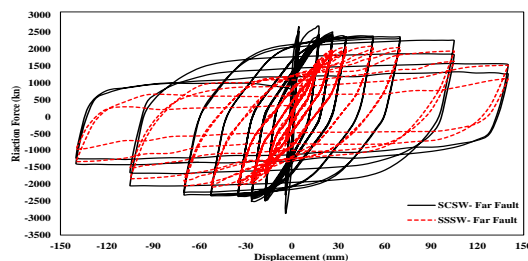


Fig. 12. B. Cyclic curves of SSSW and SSCSW under far-fault patterns

#### ۴-۳- مقایسه اتلاف انرژی در مدل SSSW و SSCSW

از دیگر خروجی های که می توان برای برداشت از اختلاف نتایج دو مدل ارائه نمود، انرژی تلف شده تجمعی است. شکل (۱۳) میزان انرژی تلف شده تجمعی دو مدل را تحت الگو دور و نزدیک نشان می دهد. مطابق شکل (۱۳-الف)، مقایسه انرژی تلف شده تجمعی در هر چرخه بارگذاری برای دو مدل SSSW و SSCSW تحت الگو دور از گسل SAC نشان می دهد که برای مدل SSCSW بیشترین انرژی تلف شده به میزان ۵/۵ مگا ژول و برای مدل SSSW این پارامتر ۳/۳ مگا ژول است. به عبارتی تبدیل مدل از SSSW به SSCSW باعث شد اتلاف انرژی ۶۷٪ افزایش یابد. این مقایسه برای الگوی نزدیک گسل SAC نشان داد که بیشترین میزان اتلاف انرژی برای مدل SSCSW به میزان ۴/۸۴ مگا ژول و برای مدل SSSW این پارامتر ۲/۸ مگا ژول به دست آمده است (شکل ۱۳-ب را ملاحظه نمایید). در نتیجه با اضافه شدن بتن به مدل مبنا فولادی انرژی تلف شده تجمعی در اثر الگوی نزدیک گسل ۷۳٪ رشد را نشان می دهد.

شکل ۱۳. الف. میزان اتلاف انرژی هر چرخه در الگو دور از گسل برای مدل SSSW و SSCSW

شکل ۱۴. پ. توزیع آسیب فشاری بتن مدل SSCSW تحت الگو نزدیک گسل

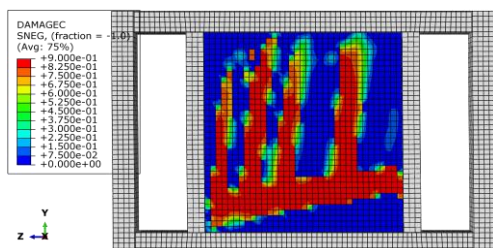


Fig. 14. C. Compressive damage distribution of SSCSW model concrete under near-fault model

شکل ۱۴. ت. توزیع آسیب فشاری بتن مدل SSCSW تحت الگو دور از گسل

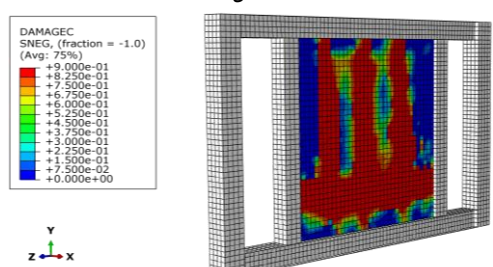


Fig. 14. D. Compressive damage distribution of SSCSW model concrete under far-fault model

نتایج نشان می‌دهد در نقاطی که تقاضای انرژی چرخه‌ای فراتر از بیشترین انرژی متناظر با مدل شکست نرم باشد، المان مربوطه در آن قسمت‌ها حذف شده است. (شکل ۱۳-ب)

## ۵- نتیجه‌گیری

دیوار برشی فولادی یکی از سیستم‌های متداول برای مقابله با بارهای جانبی در سازه‌های فولادی است. در این سیستم اجزا مرزی به گونه‌ای طرح می‌شوند تا امکان توسعه و تشکیل میدان کشش بعد از مکانش ورق را فراهم نمایند. در نتیجه این اجزا بر مبنای ظرفیت (حداکثر نیروی قابل انتقال از ورق فولادی) طراحی می‌شوند که در نتیجه مقاطع عمدتاً سنگینی را به دنبال دارد. استفاده از دیوار برشی فولادی نیمه مقید به عنوان یک راهکار برای کاهش حجم فولاد مصرفی المان‌های مرزی پیشنهاد شده است. در این سیستم ستون‌های فرعی مرزی جدای از اجزای مرزی اصلی (غالباً در دو انتها مفصل) طراحی شده به گونه‌ای که در توسعه میدان کشش ورق همکاری داشته باشند. از طرفی استفاده از روکش بتنی در دیوارهای برشی فولادی باعث افزایش مقاومت برشی دیوار می‌شود. استفاده از این روکش در تقویت ورق فولادی

پروتکل بارگذاری نزدیک، شکست ناگهانی روکش بتن در چرخه‌های اولیه (در همان چرخه اول حدود ۶۰٪ بتن خرد، مطابق شکل ۱۴-پ و ت) باعث شد اضافه نیروی وارد شده بر قاب-دیوار تحمیل شده و در نتیجه المان‌های اصلی از جمله ستون‌ها نیز غیرخطی شوند. بنابراین پیشنهاد می‌شود در پروتکل نزدیک گسل توجه ویژه‌ای به المان‌های اصلی (ستون‌ها قاب) توسط طراح مبذول شود. به علاوه با توجه به اینکه بخشی از تیر حد فاصل ستون فرعی تا ستون اصلی می‌تواند به نوعی تداعی کننده رفتار تیر پیوند باشد، ارزیابی رفتار غیرخطی این بخش از تیر در مطالعات تکمیلی آتی پیشنهاد می‌شود. بررسی شکل (۱۳-الف) نیز مؤید این نکته است که بخش بال تحتانی تیر پیوند تنش‌های متمرکز قابل توجهی را تحمل می‌کنند. به همین دلیل استفاده از ورق پیوستگی و توجه به چشمه اتصال ستون در مقابل بال‌های فوقانی و تحتانی تیر پیوند به ویژه در بارگذاری نزدیک گسل موضوع بسیار مهمی است. برای درک بهتر از رفتار زوال مقاومتی فولاد، مدل آسیب فولاد (شکست نرم) برای در نظر گرفته شد.

شکل ۱۴. الف. توزیع تنش فون مایسز در مدل SSSW تحت الگو نزدیک

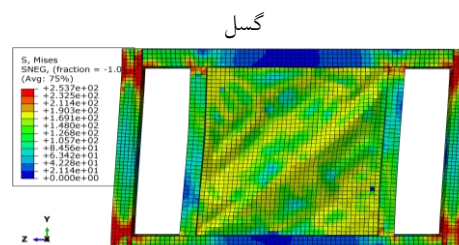


Fig. 14. A. Von Mises stress distribution in SSSW model under near-fault model

شکل ۱۴. ب. توزیع تنش فون مایسز در مدل SSSW تحت الگو دور از

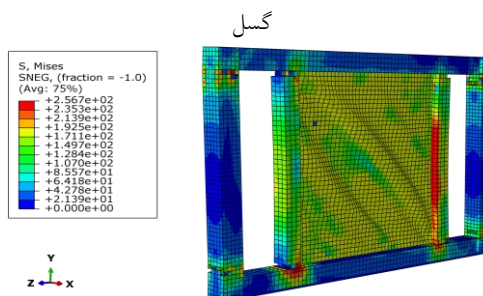


Fig. 14. B. Von Mises stress distribution in SSSW model under near-fault model

است. لازم به ذکر است افزایش به دست آمده در نتیجه بارگذاری یکنوا (مونوتیک) ۳۵٪ برآورد شد.

۴) برای الگوی نزدیک گسل تبدیل مدل از SSSW به SSCSW منجر شد ۶۷٪ انرژی تجمعی تلف شده بیشتری برآورد شود. این مقدار برای پروتکل دور از گسل حدود ۷۳٪ به دست آمد. این اختلاف به این ترتیب قابل توجه است که در پروتکل نزدیک، افزایش قابل توجه در سیکل بارگذاری در ابتدای پروتکل وجود داشته و موضوع خستگی کم چرخه منتفی است. درحالی که برای بارگذاری دور از گسل، افزایش تدریجی پروتکل بارگذاری با خستگی کم چرخه همراه بوده و انرژی ورود در تعداد چرخه های بیشتری مستهلک می شود. ۵) در مدل SSSW تحت الگو دور و نزدیک گسل بیشترین میزان تنشها در محل اتصال ستونهای اصلی به تیرها و ستونهای فرعی به دست آمد. درحالی که برای مدل SSCSW در برابر الگو نزدیک با توجه به اینکه در چرخه اول یک جابه جایی ناگهانی و بزرگ به مدل وارد شده است بتن شروع به ترک و خرد شدن می کند که تا چرخه ۵ تمام بخش بتنی خرد شده و مقاومت خود را از دست می دهد. بعلاوه در همان چرخه اول حدود ۶۰ درصد بتن خرد شده و به آسیب ۹۰ درصدی می رسد. برای مدل SSCSW در الگو دور با توجه به ماهیت پروتکل، آسیب از چرخه ۴ به تدریج آغاز و دیوار بتنی در چرخه ۱۰ به طور کامل گسیخته و خرد شده است.

۶) پیشنهاد می شود در پروتکل نزدیک گسل توجه ویژه ای به المانهای اصلی (ستونها قاب) توسط طراح مبذول شود. به علاوه با توجه به اینکه بخشی از تیر حد فاصل ستون فرعی تا ستون اصلی می تواند به نوعی تداعی کننده رفتار تیر پیوند باشد، ارزیابی رفتار غیرخطی این بخش از تیر در مطالعات تکمیلی آتی پیشنهاد می شود.

در این مقاله دیوار برشی نیمه مقید فولادی مرکب برای اولین بار به صورت عددی مدل سازی شد و هنوز جنبه های ناشناخته زیادی از رفتار این نوع دیوار وجود دارد. بنابراین برای تکمیل تحقیق پیشنهاد می شود سیستم پیشنهادی در آزمایشگاه ساخته و در برابر بارگذاری چرخه ای ارزیابی شود.

دیوار برشی نیمه مقید در مطالعات قبلی مورد توجه نبوده است. بدین لحاظ در مقاله حاضر تلاش شد تا مدل آزمایشگاهی مندرج در مرجع [14] ابتدا در نرم افزار ABAQUS درستی آزمایی شود. سپس یک ساختمان ۸ طبقه به صورت سه بعدی در نرم افزار ETABS مجهز به سیستم SSSW به کمک روش مهاربند معادل طراحی شد. آنگاه برای بحرانی ترین دهانه مدل اجزا محدود SSSW دقیقاً مطابق روند مدل درستی آزمایی توسعه یافت. آنگاه بر اساس ضوابط موجود در آیین نامه فولاد آمریکا، مدل SSSW به وسیله روکش بتنی به مدل دیوار برشی فولادی مرکب (SSCSW) تبدیل شد. آنگاه در برابر بارگذاری چرخه ای دور و نزدیک گسل مدل تحلیل شده و مقایسه ای بین مدلها صورت گرفت. در چارچوب فرضهای استفاده شده در این تحقیق، نتایج نشان داد:

۱) اضافه شدن بتن به مدل SSSW (تبدیل مدل به SSCSW) سختی اولیه درون صفحه را ۴/۵ برابر کرد. البته این افزایش سختی به خاطر بتن در دو سمت ورق فولادی دور از انتظار نیست. نکته بسیار مهم اینکه با ایجاد ترک در بتن به سرعت سختی کاهش یافته و شیب ناحیه پسا تسلیم منحنی ظرفیت ابتدا منفی و سپس به علت سخت شدگی کرنشی ورق فولادی اندکی افزایش را تجربه می کند.

۲) با اضافه شدن بتن به مدل فولادی شکل پذیری در دو حالت دور و نزدیک گسل افزایش می یابد. اندازه افزایش حدود ۲/۵ برابر است و این افزایش چندان تابع نوع الگوی بارگذاری نیست. البته لازم به ذکر است که در مدل های این مقاله آثار پارگی ورق فولادی مدل سازی نشده است پس شکل پذیری محاسبه شده در این مطالعه با ظرفیت واقعی شکل پذیری اختلاف داشته و نیازمند مدل های تکمیلی دقیق تری است تا بتوان نتیجه جامع تری به دست آورد.

۳) از حیث مقاومت نهایی (قله نمودار چرخه ای) مقایسه نتایج نشان می دهد فارغ از نوع الگوی بارگذاری چرخه ای، مقدار محاسبه شده برای SSCSW ۲۸٪ بیشتر از SSSW

[10] Faleiro, J. & Oller, S. & Barbat, A.H., (2010). Plastic- damage analysis of reinforced concrete frames, *Engineering Computations*, Volume 27, pp. 57-83.

[11] Hassani Sokhtesaraei, M. & Ghassemieh, M. & Mirghaderi, S R., (2019). Comparing Seismic Performance of WUF-W & RBS Moment Connections in Box-Section Columns Under SAC & ATC-24 Loading Protocols, *Journal of structure & steel*, Volume 13, pp. 91-109. (In Persian).

[12] Davoodi, M. & Feizi, R. & Hadiani, N., (2011). Investigation of the effect of near and far field earthquakes on the seismic behavior of several different structures, *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, Volume 4, pp. 9-21. (In Persian).

[13] ABAQUS. (2017). reference manual, ABAQUS Inc

[14] Jahanpour, A. & Moharrami, H. & Jönsson, J., (2012). Seismic behavior of semi-supported steel shear walls, *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 74, pp. 118-133.

[15] AISC 341-16, (2016). supersedes the seismic Provisions for Structural Steel Buildings, USA. Chicago.

[16] ETABS. (2015). Integrated building design software, Berkeley. CA: Computers and structures.

[17] Jahanpour, A. & Moharrami, H., (2017). Software Design and control of semi-supported steel shear walls. Tarbiat Modares University Tehran publications, (In Persian).

[18] Standard No 2800., (2015). Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, 4th Edition, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran, (In Persian)

[19] National Building Regulation No 10., (2014). Design and implementation of steel buildings, Office for Development and Promotion of National Building Regulations, Publications of the Ministry of Housing and Urban Development, (In Persian)

[20] ASCE 7, (2016). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, USA, Virginia.

[21] Jahanpour, A. & Moharrami, H., (2017). Limit analysis and design of semi-supported steel shear walls. Tarbiat Modares University Tehran publications, (In Persian).

[22] Hognestad, E., (2007). A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete

ضمناً ارائه یک چارچوب به منظور طراحی حرفه‌ای این سیستم در نرم‌افزارهای تجاری نیز می‌تواند زمینه ساز مطالعات آتی باشد.

## ۶- مراجع

[1] Wallace, J. W & . Moehle, J. P., (1992). Ductility and detailing requirements of bearing wall buildings, *J. Struct. Eng.*, 10.1061/ (ASCE), pp. 1625-1644.

[2] Timler, P. & Ventura, C. & Prion, H. & Anjan, R ., (1998). Experimental and Analytical Studies of Steel Plate Shear Walls as Applied to the Design of Tall Buildings, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Volume. 7, pp. 233-249.

[3] Munesi, A. & Gholhaki, M. & Sharbatdar, M., (2023). Study on the gap width between the steel plate and concrete panels on behavior of the buckling-restrained steel plate shear walls, *Structural Concrete*, Volume. 24, pp. 5872-5886.

[4] Gholhaki, M. & Pachideh, G. & Javahertarash, A., (2020). Capacity spectrum of SPSW using pushover and energy method without need for calculation of target point, *Structures*, Volume. 26, pp. 516-523.

[5] Yan, J. & Li, Z. & Wang, T., (2018). Seismic behaviour of double skin composite shear walls with overlapped headed studs, *Journal of Construction and Building Materials*, Volume 191. 590-607.

[6] Wang, W. & Ren, Y. & Lu, Z. & Song, J. & Han, B. & Zhou, Y., (2019). Experimental study of the hysteretic behaviour of corrugated steel plate shear walls and steel plate reinforced concrete composite shear walls, *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 160, pp 136-152.

[7] Jahanpour, A. & Moharrami, H., (2015). Evaluation of behavior of the secondary columns in semi-supported steel shear walls, *Thin-Walled Structures*, Volume 93, pp. 94-101.

[8] Siahpolo, N. & Bahmaie, J., (2021). Evaluation of behavior of semi-supported steel shear walls against monotonic and cyclic loading, *Amirkabir J. Civil Eng*, Volume 53, pp. 18-33. (In Persian).

[9] Aragheizadeh, E. & Tabatabaei Mirhosseini, R., (2021). Effect of Tensile Damage Parameter Reducing in Non-linear Analysis of Reinforced Concrete Structures using Concrete Damage Plasticity Method, *Amirkabir J. Civil Eng*, Volume 53, pp. 57-70. (In Persian).



Members, University of Illinosi Engineering Expriment Station.

[23] Kmiecik, P. & Kaminski, M., (2011). Modelling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration, Archives Of Civil And Mechanical Engineering , Volume. Xi. pp. 623-636.

[24] Krawinkler, H. & Gupta, A. & Medina, R. & Luco, N., (2000). Development of Loading Histories for Testing of Steel Beam to-Column Assemblies, SAC Background Report SAC/BD-00/10.

[25] European convention for constructional steelwork., (1986). Recommended testing procedure for assessing the behaviour of structural steel elements under cyclic loads, Brussels. Belgium. ECCS.

# Feasibility study of using concrete veneer in semi-supported steel shear wall at the edges

S. Momeni<sup>1</sup>, N. Siahpolo<sup>2\*</sup>, A. Jahanpour<sup>3</sup>

1 Master of structural engineering, Institution for Higher Education ACECR Khouzestan

2 Assistant Professor, Institution for Higher Education ACECR Khouzestan

3 Assistant Professor, Malayer University

Email: [siahpolo@acecr.ac.ir](mailto:siahpolo@acecr.ac.ir)

## Abstract:

In steel shear wall, to avoid nonlinearization of boundary elements, capacity-based design is performed, which results in a significant increase in the amount of steel used in boundary elements. To reduce the boundary element steel, a semi-supported steel shear wall (SSSW) has been proposed and its efficiency has been proven in previous studies. In addition, it seemed that the use of concrete coating on steel plates could improve the strength and ductility of the SSSW system. For this purpose, an 8-storey building equipped with SSSW was first designed and its most critical opening was converted to a composite model (SSCSW) and its finite element model was produced. This model was presented against near and far fault cycle loading analysis and cyclic curve, capacity, dissipation energy, von Mises stress distribution and compressive damage of concrete. The results showed that Adding concrete to the SSSW model (converting the model to SSCSW) increased the initial in-plane stiffness by 4.5 times. Of course, this increase in stiffness is not unexpected because of the concrete on both sides of the steel plate. A very important point is that with the creation of cracks in the concrete, the stiffness quickly decreases and the slope of the post yielding area of the capacity curve is first negative and then experiences a slight increase due to the strain hardening of the steel plate. By adding concrete to the steel model, the ductility increases in two states near and far from the fault. The size of the increase is about 2.5 times and this increase does not depend much on the type of loading pattern. Of course, it should be noted that in the models of this article, the effects of steel plate tearing have not been modeled, so the ductility calculated in this study is with real capacity. The ductility is different and requires more accurate supplementary models to obtain a more comprehensive result. In terms of ultimate strength (peak of the cyclic diagram), the comparison of the results shows that regardless of the type of cyclic loading pattern, the calculated value for SSCSW is 28% higher than SSSW. It should be noted that the increase obtained as a result of pushover loading was estimated at 35%. For the pattern near the fault, the transformation of the model from SSSW to SSCSW led to estimate 67% more cumulative wasted energy. This value was about 73% for the far-fault protocol. This difference can be justified by the fact that in the close protocol, there was a significant increase in the loading cycle at the beginning of the protocol, and the issue of low cycle fatigue is excluded. While for the loading corresponding to the far fault, the gradual increase of the loading protocol is associated with low cycle fatigue and the input energy is depleted in more cycles. It is suggested that the designer pays special attention to the main elements (frame columns) in the near-fault protocol. In addition, considering that a part of the beam between the sub-column and the main column can somehow evoke the behavior of the link beam, it is suggested to evaluate the nonlinear behavior of this part of the beam in the future supplementary studies.

**Keywords:** Semi-supported composite shear wall at the edges, Von Mises stress, Concrete Damaged Plasticity, near-fault loading protocol, cyclic curve