

مطالعه عددی بر روی دیوار برشی فولادی کامپوزیتی نیمه مقید در لبه ها تحت بارگذاری دور و نزدیک گسل

سینا مؤمنی^۱، نوید سیاه پلو^{۲*}، علیرضا جهان پور^۳

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده تحصیلات تکمیلی، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان

۲- استادیار، دانشکده تحصیلات تکمیلی، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان

۳- استادیار، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر

پست الکترونیکی نویسندگان:

۱- sinamomeni936@gmail.com

۲- siahpolo@acecr.ac.ir

۳- a.jahanpour@gmail.com

چکیده:

دیوار برشی یکی از مهم ترین سیستم های مقاوم در برابر بارهای جانبی در ساختمان است. این سیستم علاوه بر کنترل تغییر مکان جانبی سازه و مقابله با نیروی جانبی، سختی سازه را به صورت چشمگیری افزایش می دهد. هدف از انجام این مقاله بررسی رفتار غیرخطی دیوار برشی فولادی مرکب (کامپوزیت) نیمه مقید در لبه ها تحت بارگذاری یکنوا و چرخه ای دور و نزدیک گسل است. در این مقاله پس از صحت سنجی، نخست دیوار برشی فولادی نیمه مقید برای انتخاب اعضای مرزی و انتخاب دهانه بحرانی در نرم افزار ETABS مدل سازی و تحلیل می شود، سپس مدل مینا دیوار برشی نیمه مقید فولادی به دیوار برشی نیمه مقید مرکب تبدیل و در نهایت در نرم افزار ABAQUS مدل سازی و بررسی می شود. از جمله متغیرهای مورد بررسی، کاهش ضخامت روکش بتنی در دو طرف ورق فولادی دیوار، استفاده از روکش بتنی در یک طرف ورق فولادی دیوار و افزایش ضخامت ورق فولادی دیوار می باشند. نتایج نشان داد که اضافه شدن بتن به مدل SSSW (تبدیل مدل به SSCSW) سختی اولیه درون صفحه را ۳۵٪ افزایش می دهد همچنین زمانی که بتن به مدل SSSW اضافه شد، شکل پذیری در دو حالت دور و نزدیک گسل، ۱۵٪ افزایش پیدا کرد و مقایسه مقاومت نهایی (قله نمودار چرخه ای) نیز نشان داد که فارغ از نوع الگوی بارگذاری چرخه ای، مقدار محاسبه شده برای SSCSW ۲۸٪ بیشتر از SSSW است.

واژگان کلیدی:

بارگذاری چرخه ای، آباکوس، دیوار برشی فولادی مرکب نیمه مقید در لبه ها، ظرفیت باربری، تحلیل غیر خطی

Numerical study on semi-supported steel composite shear wall at the edges under near and far-fault loading

Sina Momeni ¹, Navid Siahpolo ^{2*}, Alireza Jahanpour ³

¹- Master of structural engineering, Institution for Higher Education ACECR Khuzestan

²- Assistant Professor, Institution for Higher Education ACECR Khuzestan

³- Assistant Professor, Malayer University

Abstract:

The shear wall is one of the most important systems to resist lateral loads in the building. In addition to controlling the lateral displacement of the structure and dealing with the lateral force, this system significantly increases the stiffness of the structure. The purpose of this article is to investigate the nonlinear behavior of semi-supported steel composite shear wall at the edges under monotonic and cyclic loading near and far-fault. In this article, after verification, firstly, the semi-supported steel shear wall is modeled and analyzed in ETABS software to select the boundary members and select the critical opening, then the base model of the semi-supported steel shear wall is converted to a semi-supported composite shear wall and in Finally, it is modeled and checked in ABAQUS software. Among the investigated variables are reducing the thickness of the concrete coating on both sides of the steel plate of the wall, using concrete coating on one side of the steel plate of the wall and increasing the thickness of the steel plate of the wall. The results showed that the addition of concrete to the SSSW model (converting the model to SSCSW) increases the initial in-plane hardness by 35%. Also, when concrete was added to the SSSW model, the ductility increased by 15% in two states near and far from the fault. And comparing the ultimate strength (peak of the cyclic diagram) also showed that regardless of the type of cyclic loading pattern, the calculated value for SSCSW is 2% higher than SSSW.

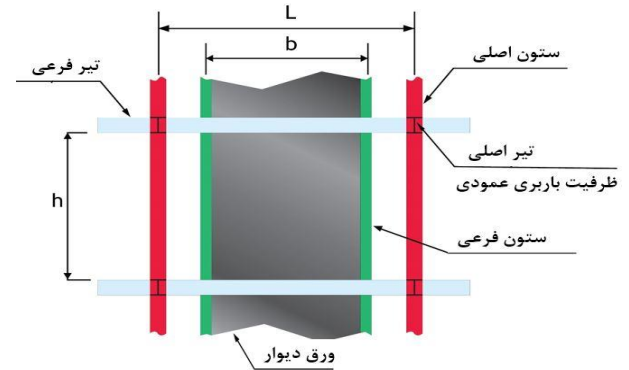
Keywords: Cyclic loading, ABAQUS, semi-supported steel composite shear wall at the edges, bearing capacity, nonlinear analysis

۱- مقدمه و تاریخچه مطالعات قبلی

سازه های فولادی به علت برتری شان در ارتباط با وزن و شکل پذیری در ساخت و سازه های ساختمانی به طور گسترده ای در مناطق زلزله خیز استفاده شده اند و می توانند نقش مؤثری در کاهش آسیب وارده به سازه ها تحت بارهای لرزه ای ایفا کنند. سیستم دیوار برشی فولادی از قاب فولادی که به عنوان اجزاء مرزی عمل می کند و ورق فولادی میان قاب که به عنوان دستگاه جاذب انرژی عمل می کند، تشکیل شده است. سیستم مذکور دارای سختی کشسان، رفتار چرخه ای پایدار، ظرفیت جذب انرژی بالا و شکل پذیری مناسبی است که به خوبی نیاز سیستم های جاذب انرژی را برآورده می کند [۱]. به طور کلی از نظر مکانیسم خرابی، دیوارهای برشی قادر هستند حتی پس از پذیرش ترک های زیاد در برابر بارهای ثقلی مقاومت کنند در صورتی که این مورد به طور کامل از ستون ها قابل انتظار نیست. دیوار برشی فولادی کامپوزیت یک سیستم نوین برابر جانبی و متشکل از یک ورق فولادی به همراه پوشش بتن آرمه است که این پوشش به یک سمت یا هر دو سمت آن توسط برش گیرهایی متصل شده است. در دیوار برشی فولادی کامپوزیت، پوشش بتنی مسلح با مهار کردن ورق فولادی و جلوگیری از کمانش آن باعث افزایش ظرفیت برشی دیوار برشی فولادی تا حد تسلیم برش شود [۲]. مطالعات مختلفی درخصوص دیوار برشی مرکب انجام شده است از جمله شاکری و بهنام فر در سال ۱۳۹۸ رفتار جانبی غیرخطی دیوارهای برشی فولادی-بتنی را مورد بررسی قرار دادند. اثر عواملی مانند ضخامت صفحه فلزی، ضخامت پوشش بتنی، فاصله برشگیرها و مقاومت مشخصه بتن بر روی مشخصات رفتار جانبی دیوار برشی مرکب فولادی-بتنی بررسی شد. نتایج نشان داد، سختی جانبی دیوار برشی مرکب عملاً فقط به ضخامت صفحه فلزی بستگی داشت و مستقل از دیگر پارامترها بود. با افزایش ۶ برابری ضخامت ورق فولادی، سختی جانبی در حدود دو و نیم برابر افزایش یافت. همچنین، مقاومت فشاری بتن رویه بر مقاومت جانبی و شکل پذیری سیستم تقریباً بدون اثر بوده و افزایش فاصله بین برشگیرها به کاهش نسبی مقاومت جانبی و افزایش اندک شکل پذیری آن منجر شد [۳]. همچنین ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ دیوار برشی مرکب با مهاربند های داخلی فولادی (دیوار ESB) که نوع جدیدی از دیوار

فولادی کامپوزیت بود و از یک قاب مهاربندی فولادی ساخته شده در بتن آرمه تشکیل شده بود، را معرفی کردند. نتایج نشان داد که با پوسته پوسته شدن و خرد شدن این دیوار، بخش های بتنی آن از هم جدا شده و مجموعه ای از ترک های مورب در آن ایجاد شد و به دنبال آن کمانش مهاربند مورب به دلیل عدم مهار، در مد برشی شکست خورده است. بررسی نمونه دیواری که دارای مهاربند صفحه فولادی محکم و سختی برشی و مقاومت مشابه دیوارهای همتای خود با یک مهاربند ضربدری شکل است. نشان داد احتمال پذیرش مهاربند صفحه فلزی (قطری) به عنوان جایگزینی برای مهاربند ضربدری شکل متداول برای دیوارهای ESB، بیشتر است، زیرا تجربه نشان داد امکان بهبود کارایی و کیفیت ساخت را فراهم کرده است [۴]. نوع جدیدی از دیوار برشی وجود دارد که به آن دیوار برشی نیمه مقید گفته می شود. برای مثال یک دیوار برشی فولادی نیمه مقید (SSSW) را در نظر بگیرید، در این دیوار که صفحه داخلی آن به جای ستون های اصلی قاب به ستون های ثانویه (فرعی) متصل است، به عنوان یک دیوار برشی فولادی جایگزین برای نوع سنتی در نظر گرفته شده بود [۵]. در این نوع دیوار برشی ها صفحه داخلی دیوار تمام دهانه را نمی پوشاند 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 می شود. اتصال دو ستون فرعی به وسیله جوش به دو تیر اصلی در بالا پایین دهانه انجام می شود و فاصله بین دو ستون فرعی با ستون های اصلی (المان های مرزی) فضای خالی می باشد (شکل ۱). مزیت چنین دیواری کاهش شماره مقطع ستون مجاور دیوار و افزایش ایمنی ستون از پلاستیک شدگی کامل و پرهیز از تشکیل مکانیسم در طبقه است. این در حالی است که در سیستم متداول (اتصال دیوار به ستون های قائم اصلی) علاوه بر آنکه مقطع ستون عددی بزرگ است، با ورود ستون به ناحیه غیرخطی و احتمال تشکیل مفصل پلاستیک، سلامت سازه ممکن است به مخاطره بیفتد [۶]. یک مزیت دیگر در این نوع دیوار ها این است که ستون های فرعی در باربری جانبی مشارکت می کنند. یعنی این ستون ها از یک طرف در صفحه دیوار دچار خمش شده و از طرف دیگر از کمانش خارج از صفحه آن ها جلوگیری می شود. همچنین اثر میدان کشش روی ستون های اصلی از بین رفته و یا محدود می شود. در این

مقاله نوع جدیدی از دیوار برشی نیمه مقید مطرح شده است که دیوار آن مرکب بوده که هسته آن از ورق فولادی تشکیل شده است و ظاهر آن با بتن پوشیده شده است (SSCSW)^۳.



شکل ۱: جزئیات دیوار برشی فولادی نیمه مقید در لبه ها [۷]

این مقاله به کاربرد و استفاده دیوار برشی نیمه مقید مرکب در سازه های اسکلت فلزی می پردازد که در آن رفتار غیر خطی دیوار برشی مرکب نیمه مقید در لبه ها به صورت عددی تحت بارگذاری چرخه ای^۴ با استفاده از نرم افزار ABAQUS [۸] مورد تحلیل قرار می گیرد. در این مقاله با بررسی رفتار غیر خطی مدل های SSCSW پارامترهایی همانند ظرفیت باربری، سختی اولیه، شکل پذیری، اتلاف انرژی جمععی، تنش فون میسز و خرابی فشاری بتن دیوار مورد بررسی قرار می گیرد. تاکنون آزمایش های عددی و تجربی بر روی این نوع دیوار نیمه مقید انجام نشده است. در این مقاله پارامترهای فوق الذکر را در این دیوار با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS تحت بارگذاری چرخه ای و یکنوا بررسی شده است. استفاده از دیوار برشی نیمه مقید فولادی و یا نیمه مقید مرکب می تواند علاوه بر سبک سازی سازه نسبت به استفاده از نمونه دیوار برشی بتنی تمام مقید^۵ (CSW)، مقاومت بالاتری نیز نشان دهد که در نتیجه باعث کاهش نیروی گرانشی و لرزه ای در ساختمان می شود. متغیرهای مورد مطالعه شامل افزایش ضخامت ورق فولادی دیوار، کاهش ضخامت بتن مورد استفاده برای پوشش ورق فولادی داخلی در مدل دو طرف بتن و استفاده از روکش بتنی تنها در یک طرف ورق فولادی دیوار، می باشند. در این مقاله برای آسیب بتن از مدل آسیب پلاستیسیته بتن استفاده شده است. در این مدل فرض می شود که مهم ترین مکانیسم های خرابی برای بتن ترک خوردن در کشش و خورد شدن در فشار باشد. در این

معیار فرض می شود که پاسخ بتن تحت اثر کشش و فشار تک محوری با استفاده از پلاستیسیته مبتنی بر خسارت تعریف شود. تحت اثر کشش تک محوری پاسخ تنش - کرنش تا رسیدن به تنش خرابی^۶ σ_{t0} از یک رابطه خطی پیروی می کند [۹]. مدل پلاستیسیته برای بتن می تواند با سخت شدن ایزوتروپیک توصیف شود، اگرچه آسیب بسیاری از موارد ایزوتروپیک نیست اما ترجیحاً از جهاتی قابل توجیه است [۱۰ و ۱۱].

به شکل کلی ایجاد یک بار (اعم از جابجایی یا نیرو) به شکل تناوبی یا در اصطلاح رفت و برگشتی در یک عضو، بارگذاری چرخه ای^۶ نامیده می شود. مفهوم چرخه ای (هیستریزس) اصطلاحی که در ادبیات مهندسی عمران خصوصاً در مهندسی زلزله به چشم می خورد و با اصطلاحاتی خصوصاً پاسخ لرزه ای مناسب، قابلیت جذب انرژی چرخه ای، حلقه های چاق و یا لاغر، کاهش سختی و افت مقاومت در منحنی چرخه ای شناخته می شود. منحنی بار - تغییر شکل تحت اثر بارگذاری رفت و برگشتی منحنی چرخه ای یا همان هیستریزس نامیده می شود [۱۲]. داده های ثبت شده از زمین لرزه های اخیر نشان می دهد که زلزله های حوزه نزدیک دارای ویژگی های متفاوتی نسبت به زلزله های حوزه دور می باشند. در مجموع بیشتر این ویژگی ها، در اثر پدیده مهم جهت پذیری پیشرونده در زلزله های حوزه نزدیک می باشد [۱۳]. در این مقاله نیز دیوار برشی نمونه های SSCSW و SSSW تحت دو پروتکل بارگذاری حوزه دور و نزدیک گسل قرار می گیرند و نتایج با یکدیگر مقایسه می شوند.

در این مقاله دیوار برشی مرکب مدل ژائو و آستانه اصل [۱۴]، تحت بارگذاری دینامیکی غیرخطی با استفاده از پروتکل بارگذاری چرخه ای دور از گسل آیین نامه AISC [۱۵] در نرم افزار ABAQUS صحت سنجی می شود تا اطمینان حاصل شود فرآیند مدل سازی عددی صحیح است. در ادامه یک سازه سه بعدی ۸ طبقه مجهز به دیوار برشی فولادی نیمه مقید مدل سازی و طراحی شده است. برای مدل سازی ورق دیوار از ایده مهاربند معادل استفاده شد. در نهایت بحرانی ترین دهانه (بزرگترین مقطع مورد نیاز برای ورق فولادی و المان های مرزی) انتخاب و به عنوان مدل SSSW در ABAQUS مدل سازی می شود. همین مدل بر اساس ضوابط طراحی دیوار برشی مرکب ۱۶-۳۴۱ AISC [۱۶]، به یک سیستم SSCSW تبدیل گردید. در انتها مدل SSCSW در برابر پروتکل بارگذاری

دور و نزدیک گسل قرار گرفته و نمودار چرخه‌ای مدل های SSSW و SSCSW با هم مقایسه می شوند. در این مقاله، پارامترهای ظرفیت باربری، سختی اولیه، شکل پذیری، اتلاف انرژی تجمعی^۷، تنش فون میسز^۸ و آسیب فشاری بتن دیوار، مورد بررسی قرار می گیرند. شایان ذکر است که تاکنون آزمایش های عددی و تجربی بر روی این نوع دیوار نیمه مقید 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.

۲- طراحی و مدل سازی

۲-۱- طراحی مدل SSSW

دیوار برشی فولادی کامپوزیتی نیمه مقید در لبه ها (SSCSW)، نمونه توسعه یافته مدل SSSW می باشد که تا کنون تحقیق و آزمایش تجربی در ارتباط با آن انجام نشده است. از طرفی با توجه به کوچک بودن ابعاد المان ها مرزی و فرعی دیوار نیمه مقید فولادی در مطالعات گذشته، امکان توسعه آن نمونه‌ها به نمونه فولادی مرکب وجود نداشت. بنابراین هیچ مدل مبنایی برای این دیوار وجود ندارد، در نتیجه قبل از بررسی و تحلیل این دیوار تحت پرتوکل های بارگذاری در نرم افزار ABAQUS ابتدا باید یک مدل مینا برای این دیوار، مدل سازی و مشخصات هندسی و نوع مقاطع استفاده شده در این دیوار مشخص و سپس جهت تحلیل چرخه ای تحت پرتوکل های بارگذاری در نرم افزار ABAQUS، مورد ارزیابی قرار می گیرد. برای ساخت مدل مینا، ابتدا اعضا مرزی فرعی و اصلی و ضخامت ورق فولادی دیوار، به کمک نرم افزار ETABS [۱۷] به دست آمد، سپس ستون های فرعی و کنترل ضخامت ورق دیوار با استفاده از نرم افزار جهان پور و محرمی [۱۸] کنترل و نهایی شد. در ادامه و با استفاده از ضوابط آیین نامه AISC ۳۴۱-۱۶ به دیوار برشی نیمه مقید فولادی مرکب تبدیل گردید. در نهایت هم مدل فولادی و هم مدل مرکب در برابر بارگذاری چرخه ای تحلیل شدند. نکته حائز اهمیت اینکه 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، المان های مرزی دیوار مطابق با ضوابط طراحی دیوار برشی

تمام مقید مرکب در آیین نامه ۱۶-۳۴۱ AISC 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 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 می باشد. تولید مدل و بارگذاری و کنترل های طراحی این سازه منطبق با استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم [۱۹] و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۲۰] 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 SSCSW، به کمک مقدار پیشنهادی برای دیوار برشی فولادی ارائه شده در ASCE [۲۱] انتخاب گردید. در ادامه با توجه به نسبت تنش های به دست آمده بحرانی ترین طبقه مهاربندی جهت تبدیل مهاربندها به ضخامت ورق دیوار برشی انتخاب گردید. ضمناً با توجه به اینکه در استانداردها و آیین نامه ها رابطه ی تبدیل سطح مقطع مهاربند معادل به ضخامت ورق سیستم SSCSW وجود ندارد، در این مقاله رابطه ارائه شده در ۱۶-۳۴۱ AISC (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 مکانیسمی چندان محتمل نیست.

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

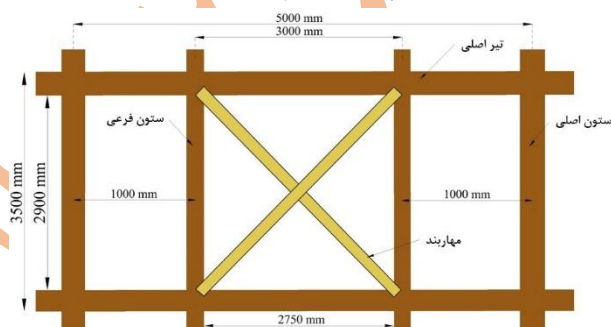
در رابطه ۱، α زاویه بین شیب میدان کشش با ستون که تقریباً برابر ۴۰ درجه در نظر گرفته شد. Ω_s ضریب اضافه مقاومت که برای دیوارهای برشی فولادی طبق ۱۶-۳۴۱ AISC برابر با ۱/۲ معرفی گردیده است که از همین مقدار در طراحی استفاده شد. I فاصله مرکز به مرکز دو ستون فرعی ۳۰۰۰ میلی متر است. A مساحت مقطع مهاربند معادل که 4070 mm^2 در دهانه بحرانی محاسبه شد. همچنین θ زاویه بین مهاربند و ستون در سازه مهاربندی معادل که 45° 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 ۱۶-۳۴۱ AISC حداقل ضخامت ورق

ستون‌های فرعی در ETABS معادل 250×10 BOX در نظر گرفته شده‌اند درحالی‌که در نرم‌افزار مذکور امکان تعریف مقطع جعبه‌ای وجود ندارد، لذا با معادل‌سازی مقطع جعبه به دوپل ناودانی، از $2 \text{ UNP } 260$ 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 گردید. برای محاسبه لنگر واژگونی با توجه به استاندارد 2800 به نیروی برشی وارده 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 623 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 به‌نوعی همگرایی برنامه را نشان می‌دهند، نزدیک به ۱ باشند و اختلاف این دو از عدد $0/005$ 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 $0/9999$ به دست آمدند، بدین ترتیب مدل با توجه با مقادیر ورودی همگراست و مقطع 250×10 BOX برای ستون‌های فرعی با توجه به ضخامت ۳ میلی‌متری ورق فولادی دیوار، مناسب است.

جدول ۱: مشخصات ورودی به نرم‌افزار جهان‌پور و محرمی [۱۸]

مشخصات	ورودی
طول آزاد ستون	290 cm
عرض دیوار	300 cm
ضخامت ورق فولادی دیوار	3 mm
میزان لنگر واژگونی	4795 KN.m
نوع اتصال ستون‌های فرعی با تیرهای مرزی	مفصلی
نوع مقطع ستون‌های فرعی	$2 \text{ UNP } 260$
تنش تسلیم ورق فولادی دیوار	180 MP
تنش تسلیم ستون‌های فرعی	240 MP
B_c	0.975
B_t	0.975
تخمین ظرفیت برشی دیوار	623 KN

دیوار 10 mm در دیوار برشی فولادی مرکب تعیین شده است اما با توجه به اینکه دیوار برشی مورد بررسی در این مطالعه، نیمه مقید بوده و لزومی به رعایت ضوابط $AISC 341-16$ برای این سیستم نیست، لذا از همان ۳ میلی‌متر به‌عنوان ضخامت ورق فولادی در سیستم مرکب هم استفاده شد. (شکل ۲) دهانه مهاربندی انتخابی در مدل ETABS برای تبدیل مهاربندها به ضخامت ورق فولادی دیوار را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد. در (شکل ۲)، تیرها با مقطع $2 \text{ IPE } 300$ ، ستون‌های اصلی با مقطع 300×25 BOX، ستون‌های فرعی با مقطع 250×10 BOX و مهاربندها با مقطع $2 \text{ UPN } 140$ طراحی شده‌اند. یادآور می‌شود فولاد کلیه اعضا (به‌جز ورق دیوار) $ST 37$ و ورق دیوار از فولاد کم مقاومت (LYP) با مقاومت تسلیم 180 مگا پاسکال انتخاب گردید.



شکل ۲: دهانه بحرانی جهت تبدیل مهاربند به ضخامت ورق دیوار برشی نیمه مقید فولادی

از آنجا که ETABS قابلیت طراحی ستون‌های فرعی و ورق فولادی سیستم $SSSW$ را ندارد، بنابراین برای طراحی ستون‌های فرعی، از نرم‌افزار جهان‌پور 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 راه‌حل‌های ارائه شده در کتاب جهان‌پور و محرمی [۷] طراحی شده است، طول آزاد ستون، عرض دیوار، ضخامت ورق فولادی دیوار، میزان لنگر واژگونی و ظرفیت برشی تخمینی دیوار به‌صورت 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 مقادیر B_c و B_t که مقادیر آن با توجه به راهنمای برنامه به جهت همگرایی در جواب نهایی مؤثرند، به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار داده می‌شوند. مقطع

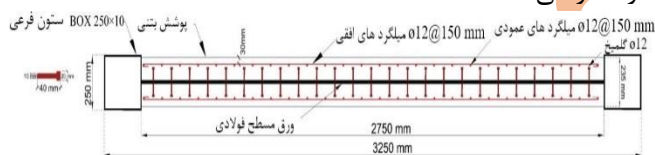
۲-۲- طراحی مدل SSCSW

پس از طراحی مدل SSCSW در بخش ۲-۱، ورق دیوار از فولادی به فولادی مرکب تبدیل می‌شود، دو طرف ورق فولادی دیوار با استفاده از ضوابط طراحی دیوار برشی مرکب AISC ۳۴۱-۱۶ روکش بتنی گذاشته می‌شود. همچنین با توجه به اینکه راهنما و آیین نامه ای برای تبدیل نمونه نیمه مقید فولادی (SSSW) به نمونه نیمه مقید فولادی مرکب (SSCSW) وجود ندارد، لذا از ضوابط طراحی دیوار برشی تمام مقید مرکب مندرج در آیین نامه AISC ۳۴۱-۱۶ تا جایی که بندهای آن برای طراحی این دیوار محدودیت ایجاد نکند، برای تبدیل نمونه نیمه مقید فولادی به نمونه نیمه مقید فولادی مرکب استفاده می‌شود. به‌طور نمونه اعضای مرزی قائم و افقی (به‌صورت فولادی یا با مقطع مرکب)، باید دارای نسبت پهنا به ضخامت با محدودیت λ_{pd} برای تأمین شکل پذیری زیاد باشند. همچنین تلاش شد تا ضابطه ستون قوی-تیر ضعیف مطابق ضوابط قاب‌های با دیوار برشی فولادی ارضا شود. باید به این نکته توجه داشت که مطابق بند ۱۶-۳۴۱ AISC در طراحی دیوار برشی مرکب فاصله^۱ ای بین دیوار بتنی و اعضای مرزی وجود ندارد که این امر سختی کل سیستم را افزایش می‌دهد. پس از طراحی مدل نیمه مقید فولادی (SSSW) و تبدیل آن به دیوار نیمه مقید فولادی کامپوزیت دو طرف بتن مطابق ضوابط گفته شده (SSCSW) نمونه‌ها با توجه به متغیرها مدل‌سازی می‌شوند. با توجه به توضیحات گفته شده در بخش‌های قبل نام مدل‌های متغیر و تغییرات آن‌ها نسبت به دو مدل مبنا SSSW و توسعه داده شده SSCSW به شرح زیر می‌باشد:

- **مدل SSCSW OSC:** در این مدل، بتن بر خلاف نمونه توسعه داده شده SSCSW بجای وجود بتن در دو طرف ورق فولادی دیوار، تنها در یک طرف ورق دیوار وجود دارد.
- **مدل SSCSW CW^{۸۶}:** در این مدل، تمام جزئیات مشابه نمونه توسعه داده شده SSCSW می‌باشد با این تفاوت که ضخامت بتن موجود بر روی ورق فولادی دیوار در هر طرف ورق کاهش پیدا کرده است و بجای ۱۱۶ میلی‌متر در هر طرف در مدل مبنا، ۸۶ میلی‌متر می‌باشد.
- **مدل SSCSW PL^۷:** در این مدل نیز تمام جزئیات طراحی و مدل‌سازی مشابه مدل SSCSW می‌باشد اما ضخامت ورق

فولادی مدفون در بتن دیوار بجای ۳ میلی‌متر در نمونه مبنا به ۷ میلی‌متر افزایش پیدا کرده است.

در نهایت (شکل ۳) جزئیات مدل توسعه داده شده SSCSW را نشان می‌دهد. پس از طراحی سیستم SSSW و تبدیل آن به سیستم SSCSW، دو مدل به همراه مدل‌های متغیر تعریف شده، در نرم افزار ABAQUS مدل‌سازی و تحت پروتکل‌های بارگذاری مربوطه بررسی و ارزیابی می‌شوند. مقاطع مورد استفاده در مدل SSSW برای تیرها ۳۰۰ IPE^۲، برای ستون‌های اصلی BOX ۲۵۰×۲۵۰ و ورق فولادی به ابعاد ۳×۲۷۵۰×۲۹۰۰ استفاده شده است. همچنین در مدل توسعه داده شده SSCSW، مشخصات مقاطع مشابه نمونه SSSW می‌باشد به این تفاوت که روکش بتنی به ابعاد ۲۹۰×۲۷۵۰ و آرماتور طولی و عرضی با مشخصات ۱۵۰@۱۲ ϕ و گلمیخ‌های طولی و عرضی به ابعاد ۱۵۰@۲۰×۴۰ ϕ به مدل اضافه شد. البته در مدل عددی گلمیخ استفاده نشده است و از قید Tie استفاده شده است و فقط صرفاً طراحی شده‌اند.



شکل ۳: مقطع دیوار برشی فولادی مرکب نیمه مقید و جزئیات آن

۲-۳- روند مدل‌سازی عددی مدل SSCSW

در مدل‌سازی عددی از المان پوسته ای برای مدل‌سازی اعضای فولادی و پنل بتنی، استفاده شده است. پس از مدل‌سازی اعضا با المان پوسته ای باید ضخامت هر یک از اعضا در بخش مشخصات مصالح تعریف شود، ورق‌های پیوستگی نیز درون چشمه‌های اتصال مدل‌سازی شدند که به صورت ورق‌های مستطیل شکل درون ستون‌های باکس اصلی و در امتداد دو بال بالا و پایین تیرها در دو سمت مدل قرار گرفته‌اند که ضخامت آن‌ها ۲۵۰×۲۵۰ می‌باشد. پس از آن ضخامت به مقاطع اختصاص داده شد. پس از اختصاص ضخامت مقاطع، سطح مقطع اعضا چون با المان پوسته ای مدل شده‌اند، با استفاده از انتگرال‌گیری تجزیه و تحلیل می‌شود. برای بررسی رفتار چرخه ای سیستم SSCSW و اندرکنش بین اعضای قاب و ورق دیوار با پوشش بتن، یک مدل اجزاء محدود

برای آن که رفتار مدل اجزا محدود به مدل آزمایشگاهی و واقعی نزدیک باشد و همچنین همانند یک مدل واقعی زوال مقاومت چرخه‌ای دیده شود، در نرم‌افزار برای مصالح مورد استفاده مدل آسیب تعریف می‌گردد. برای تعریف مدل آسیب بتن در کشش و فشار در نرم‌افزار از مدل آسیب پلاستیسیته بتن^{۱۱} (CDP) استفاده شد که در این مقاله برای تعریف مدل رفتاری آسیب بتن در فشار از رابطه Hognestad [۲۲] به شرح زیر استفاده گردید:

$$\sigma_c = f_c'' \left(\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c'} \right)^2 - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c'} \right) \right) \quad (۲)$$

در رابطه (۲) حداکثر تنش فشاری حداکثر بتن، ε_c مقادیر کرنش، f_c'' مقاومت فشاری بتن می باشد که از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$f_c'' = f_c' K_s \quad (۳)$$

در رابطه (۳) K_s یک ضریب است که مقدار آن برای بتن هایی 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 می باشد. f_c' نیز مقاومت فشاری بتن می باشد. همچنین در رابطه (۲) ε_c کرنش نظیر تنش حداکثر می باشد که مقدار آن از رابطه (۴) محاسبه می شود.

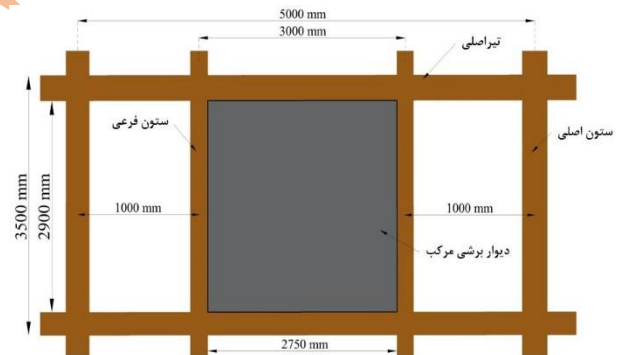
$$\varepsilon_c = 1.8 \frac{f_c''}{E_c} \quad (۴)$$

در رابطه (۴) E_c مدول الاستیسیته اولیه بتن می باشد. برای محاسبه منحنی تنش-کرنش بتن در کشش با توجه به اینکه مدل ها در این مقاله عددی هستند و نتایج آزمایشگاهی حاصل آزمایش شکافت استوانه و یا کشش مستقیم در دسترس نمی باشند، برای به دست آوردن بیشینه تنش کششی می توان از رابطه ی (۵) استفاده کرد [۲۳].

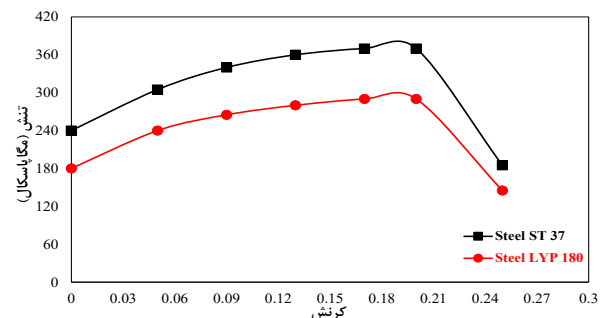
$$\sigma_t = 0.3 f_c'' \quad (۵)$$

در رابطه (۵) σ_t بیشینه تنش کششی می باشد. با محاسبه و جایگذاری در روابط گفته شده، منحنی تنش-کرنش بتن مطابق (شکل ۵) به دست می‌آید.

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 نرم‌افزار از قید Tie استفاده شد. همچنین برای اتصال دیوار بتنی به ورق فولادی، می‌توان 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 بار افزون 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 LYP ۱۸۰ و برای بقیه اعضا از فولاد ST ۳۷ استفاده شد. (شکل ۴- الف) مدل دیوار برشی نیمه مقید SCSW و (شکل ۴-ب) منحنی تنش-کرنش فولادها را نشان می‌دهد. لازم به یادآوری است در این مقاله برای فولاد و بتن مدل آسیب تعریف شده لذا در تعریف منحنی تنش-کرنش، تنش و کرنش متناظر با ناحیه شکست تعریف شده است و نیازی به بخش خطی اولیه این نمودار نمی باشد.



شکل ۴: الف) نمایه جانبی دیوار برشی مدل SCSW و اعضای مرزی آن



۴-ب) منحنی تنش - کرنش فولاد ST ۳۷ و LYP ۱۸۰ [۸]

تنش شکست، σ_y تنش نهایی باتوجه به جنس فولاد استفاده شده برای هر المان و L برای المان های ۲ بعدی برابر با طول هر المان (تیر، ستون و ...) و برای المان های ۳ بعدی از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$L = 1. b. h / 2 \text{ بعدی المان} \quad (8)$$

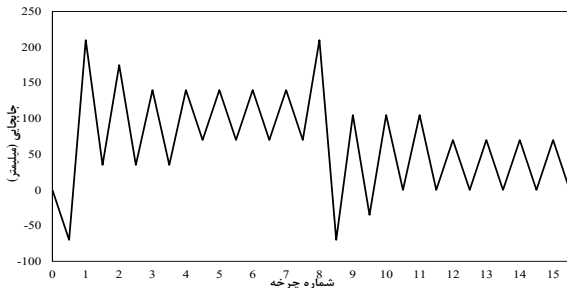
در رابطه (۸)، L میانگین طول المان برای المان های ۳ بعدی، l طول المان، b عرض المان و h طول المان در راستای Z می باشد. با توجه به توضیحات فوق خرابی از نوع انرژی شکست با توجه به رابطه (۷) برای هر یک از اعضا مطابق جدول ۲ تعریف می گردد:

جدول ۲: انرژی شکست برای المان ها در مدل های SSSW و SSCSW

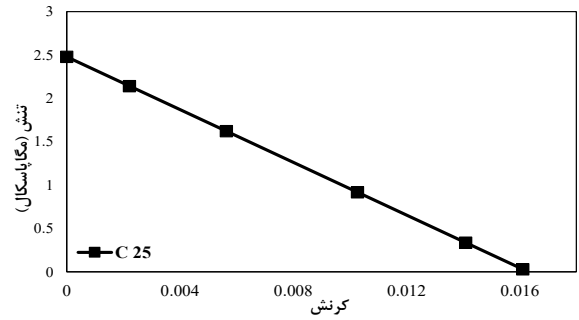
مقطع	پارامتر انرژی شکست $\frac{mJ}{mm^2} (G_f)$
ستون اصلی	۶۴۷۵
ستون فرعی	۴۶۲۵
تیر	۵۵۵۰
ورق دیوار	۵۰۸۷۵

همچنین در تعریف مشخصات مصالح در مدل ها برای هر یک از فولاد ها و بتن تعریف شده، سه مشخصه چگالی، تنش و کرنش در ناحیه الاستیک و ناحیه پلاستیک تعریف شد که ضریب پواسون برای فولاد ۰/۳ و برای بتن ۰/۲ در نظر گرفته شده است و کرنش نهایی برای تمام فولاد ها ۰/۲ می باشد. همچنین مقاومت فشاری بتن ۲۵ مگاپاسکال، چگالی بتن $2/4 \times 10^{-9}$ و مدول الاستیسیته بتن ۲۳۵۰۰ در نظر گرفته شده است.

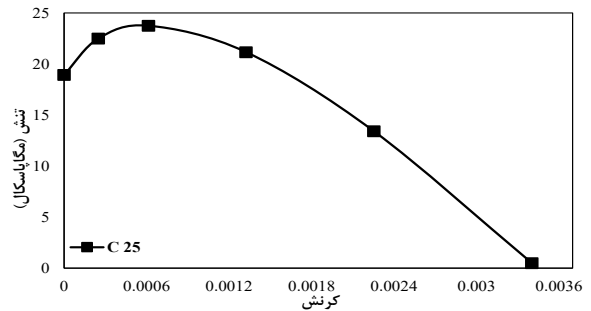
پس از مدل سازی و تعریف مصالح و شرایط مرزی، پروتکل بارگذاری تعریف می گردد که در این مقاله از پروتکل بارگذاری دور و نزدیک گسل SAC [۲۴] جهت بررسی رفتار مدل ها استفاده می شود که دور پروتکل جهت تعریف در نرم افزار مطابق (شکل ۶) می باشند.



شکل ۶: الف) پروتکل بارگذاری نزدیک گسل SAC تعمیم یافته به مدل های مورد مطالعه در این مقاله



شکل ۵: الف) رفتار بتن در ناحیه کشش با مقاومت ۲۵ مگاپاسکال [۲۳]



۵- ب) رفتار بتن در ناحیه فشار با مقاومت ۲۵ مگاپاسکال [۲۲]

برای نمایش آسیب در قسمت های مختلف المان های فولادی و همچنین تأثیر زوال مقاومت در خروجی ها جهت نزدیک شدن به یک نمونه آزمایشگاهی، مدل آسیب فولاد به صورت آسیب نرم^{۱۲} تعریف می گردد. برای تعریف آسیب نرم مطابق کتابخانه ABAQUS به روش زیر ورودی ها تعریف می گردد.

ابتدا ۳ پارامتر کرنش متناظر با تنش نهایی، تنش ۳ محوره و نرخ کرنش که تنش ۳ محوره از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$\eta = \frac{-\frac{1}{3}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})}{\sigma_{mises}} \quad (6)$$

در رابطه (۶) η تنش ۳ محوره، σ_{xx} ، σ_{yy} ، σ_{zz} به ترتیب تانسور تنش در راستای x ، y و z و σ_{mises} تنش فون میسز می باشد. در نرم افزار از مدل آسیب نرم برحسب شکست انرژی برای المان های فولادی استفاده می شود، بدین صورت که شکست انرژی باتوجه به ابعاد هر المان و باتوجه به جنس فولاد و منحنی تنش-کرنش مطابق (شکل ۴-ب)، با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می شود...

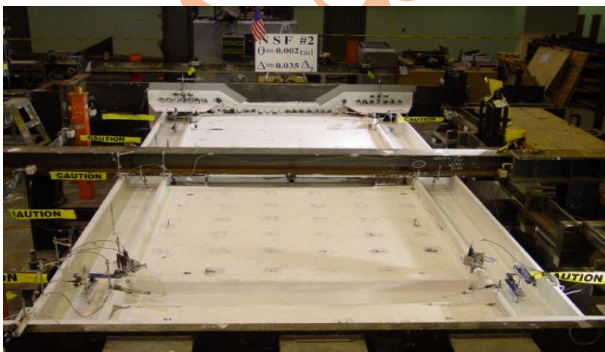
$$G_f = \int_{\bar{\epsilon}_f^{pl}}^{\bar{\epsilon}_f^{pl}} L \sigma_y d\bar{\epsilon}^{pl} \quad (7)$$

در رابطه (۷) G_f انرژی شکست، $\bar{\epsilon}_f^{pl}$ کرنش متناظر با شروع شکست که همان کرنش متناظر با تنش نهایی، $\bar{\epsilon}_f^{pl}$ کرنش متناظر با پایان

قاب جلوگیری شود. سپس محل اعمال بارگذاری جانبی برای قاب تعیین می‌گردد که با توجه به تعریف گره مرجع در بالای مدل، محل اعمال بار که همان پرتوکل های بارگذاری می باشند، در گره مرجع تعریف می‌گردد.

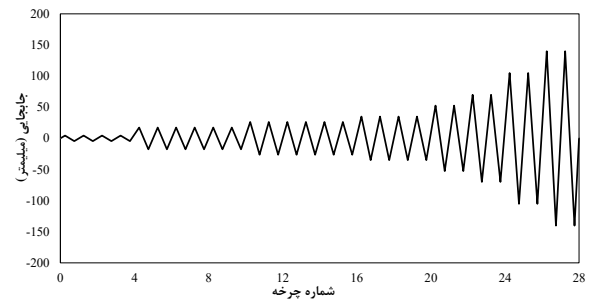
۳- صحت سنجی

در این مقاله برای صحت سنجی از مدل شماره ۱ مقاله ژائو و آستانه اصل استفاده شده است که این صحت سنجی در نرم افزار ABAQUS انجام شده است در مدل سازی این دیوار به صورت ترکیبی از المان پوسته‌ای^۳ و المان^۳ بعدی^۴ استفاده شده است. بررسی پارامترهایی مورد بررسی تنها در صورتی امکان پذیر است که نتایج به دست آمده از تحلیل‌ها صحیح بوده و از دقت بالایی برخوردار باشند. برای رسیدن به این هدف بهترین روش استفاده از تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده بر روی مدل SSCSW است اما با توجه به اینکه در ارتباط با این مدل هیچ گونه تحقیق قبلی انجام نشده است بنابراین جهت صحت سنجی از دیوار برشی تمام مقید کامپوزیت استفاده شده 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 گردید. در صورت تطابق قابل قبول نتایج می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل سازی و فرضیات در نظر گرفته شده در تحلیل از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و می‌توان از مدل سازی انجام شده برای بررسی پارامترهای مختلف استفاده نمود. (شکل ۸) نمونه آزمایشگاهی مقاله ژائو و آستانه اصل را نشان می‌دهد:



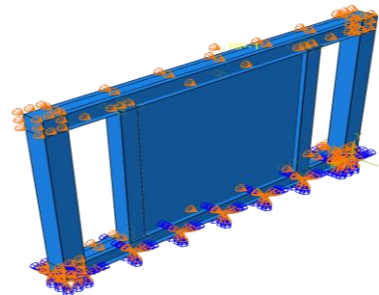
شکل ۸: نمای دیوار برشی مرکب مدل ژائو و آستانه اصل [۱۴]

در مدل صحت سنجی ژائو و آستانه اصل برای دیوار برشی مرکب ۳ نوع فولاد با تنش و کرنش مختلف به کار برده شده است، بدین



۶-ب) پرتوکل بارگذاری دور از گسل SAC تعمیم یافته به مدل های مورد مطالعه در این مقاله

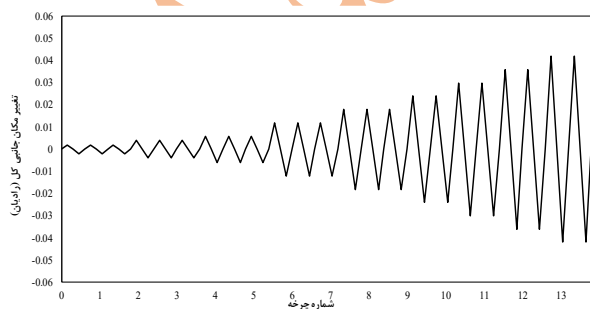
در خصوص شکل ۶-الف و ۶-ب دو تصویر از روی چرخه پایه SAC برداشت شدند. با توجه به اینکه دو پرتوکل دور و نزدیک در آیین نامه مرجع [۲۴] به صورت دریافت طبقه بودند، برای تعمیم آن ها به مدل های مورد مطالعه در این مقاله یعنی تبدیل به جابجایی (میلیمتر)، اعداد محور Y پرتوکل (دریافت طبقه) چرخه پایه، در ارتفاع مدل ضرب و سپس برای تبدیل به میلیمتر تقسیم بر ۱۰۰ شدند. همچنین شکل ۷ جزئیاتی از اعمال شرایط مرزی مدل SCSW را در محیط آباکوس نشان می‌دهد:



شکل ۷: جزئیات اعمال بارگذاری و شرایط مرزی در مدل عددی SCSW محیط آباکوس

پس از مدل سازی هندسه دیوار شرایط مرزی تعریف می‌گردد. اتصال ستون های فرعی به دو تیر بالا و پایین با توجه به اینکه مفصلی می باشند، از نوع قید کوپلینگ تعریف می‌گردد. در گام بعد یک گره مرجع در بالای مدل تعریف و به مدل کوپل می‌شود. تعریف این نقطه به این دلیل است که میزان جابجایی مدل نسبت به این نقطه در نظر گرفته شود. پس از تعریف شرایط تکیه گاهی، شرایط مرزی تعریف می‌گردد. ابتدا پای ستون های قاب در مدل تمام درجات آزادی بسته می‌شود تا از حرکت آن جلوگیری شود. سپس در راستای عمود بر صفحه چشمه های اتصال در قاب به دلیل مهار جانبی مقید گذاشته شدند تا از حرکت خارج از صفحه

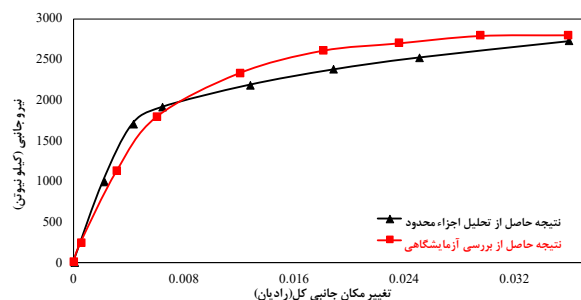
عددی نیز برای اتصال این اعضا از قید Tie استفاده شد همچنین برای اتصال پنل بتنی به ورق فولادی دیوار میتوان گل‌میخ مدل کرد و یا پنل را به دیوار با قید Tie متصل کرد که در مدل عددی از قید Tie استفاده شده است. همچنین برای مدفون کردن آرماتوربندی در دل پنل های بتنی از قید محل جاسازی^{۱۸} استفاده شده است. در گام بعد یک گره مرجع در بالای مدل تعریف و به مدل کوپل شد. تعریف این نقطه به این دلیل است که میزان جابجایی مدل نسبت به این نقطه در نظر گرفته شود. پس از تعریف شرایط تکیه گاهی، شرایط مرزی تعریف شد. ابتدا پای ستون های قاب و ورق گاست در پای مدل تمام درجات آزادی بسته شد تا از حرکت آن جلوگیری شود. سپس در راستای عمود بر صفحه چشمه های اتصال در قاب به دلیل مهار جانبی مقید گذاشته شدند تا از حرکت خارج از صفحه قاب جلوگیری شود. سپس محل اعمال بارگذاری جانبی برای قاب تعیین گشت که با توجه به تعریف گره مرجع در بالای مدل، محل اعمال بار که همان پرتوکل بارگذاری می باشد، تعریف شد. توضیحات بیشتر در خصوص ابعاد هندسی این مدل و مقاومت تسلیم و نهایی فولاد های مورد استفاده جهت صحت سنجی در مقاله مرجع [۱۴] موجود می باشد. در مدل عددی الگو بارگذاری به گره مرجعی که در بالای مدل تعریف شد، اعمال شده است. سطح بالایی مدل و گره مرجع، به صورت کوپل به یکدیگر بسته شدند و نیرو و تغییر مکان این گره برای مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ثبت شد. (شکل ۹-الف) پرتوکل بارگذاری چرخه ای دور از گسل اعمالی به مدل و (شکل ۹-ب) نمونه عددی مدل اول مقاله ژائو و آستانه اصل را نشان می دهد:



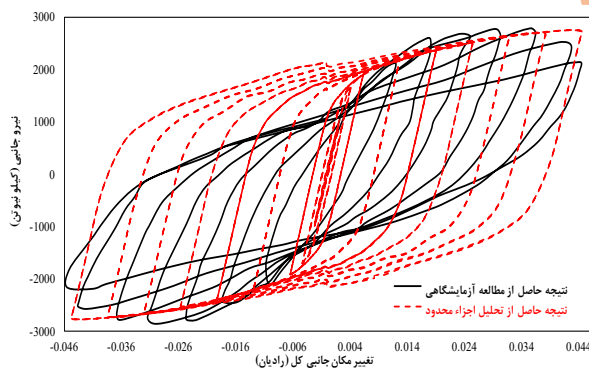
شکل ۹-الف) پرتوکل بارگذاری چرخه دور از گسل آیین نامه AISC [۱۵] تعمیم یافته به مدل ژائو و آستانه اصل [۱۴]

صورت که ورق دیوار یک نوع فولاد و اعضای مرزی نوع دیگر و در میلگرد ها نیز از نوع متفاوتی از فولاد استفاده شده است. جنس ورق فولاد دیوار ASTM A36 و اعضای قاب از ورق هایی با مصالح تعریف شده طبق استاندارد ASTM A572 بودند. در تعریف مشخصات مصالح در صحت سنجی مذکور برای هر یک از فولاد ها و بتن تعریف شده، سه مشخصه چگالی، تنش و کرنش در ناحیه الاستیک و ناحیه پلاستیک تعریف شد برای بتن بجای تعریف مشخصات پلاستیک، ۳ مشخصه چگالی، رفتار الاستیک و آسیب پلاستیسیته بتن (CDP) تعریف گشت که تعریف مشخصات آسیب پلاستیسیته بتن خود ۳ قسمت شامل رفتار پلاستیسیته، رفتار فشاری و رفتار کششی می باشد. برای تعریف مشخصات پلاستیک مواد، از دو نوع سخت شوندگی ایزوتروپیک^{۱۵} (که در آن سطح جاری شدن در هنگام تحمل کرنش های پلاستیک، گسترش می یابد) و کینماتیک^{۱۶} (که در آن در هنگام کرنش های پلاستیک، سطح جاری شدن بدون گسترش، انتقال می یابد) می توان استفاده نمود. در تحلیل های چرخه ای باید روش کینماتیک و یا ترکیبی از کینماتیک و ایزوتروپیک^{۱۷} 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 نقص های هر یک از دو روش را برطرف می کند. تمامی اعضا با استفاده از المان های چهار گرهی S4R و روش انتگرال گیری 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 چرخش های بزرگ و کرنش های اجزاء محدود را در نظر گرفته و امکان تغییر در ضخامت را ایجاد می کند. بنابراین برای تحلیل هایی با کرنش بزرگ و برای مصالحی که ضریب پواسون مؤثر آن ها غیر صفر است و همچنین مواردی که غیرخطی شدن هندسی ممکن است رخ دهد، مناسب می باشد. الگو بارگذاری در این مدل به صورت بارگذاری چرخه ای دور از گسل و بار اعمالی به شکل تغییر مکانی، به صورت رفت و برگشت و بر اساس استاندارد AISC می باشد. پس از مدل سازی هندسه و تعریف مصالح دیوار شرایط تکیه گاهی تعریف گردید. ابتدا ورق دیوار برشی به ستون ها و دو تیر بالا و پایین جوشش داده شد برای این اتصال در ABAQUS از قید Tie استفاده شد. در مدل آزمایشگاهی اتصال تیرها به ستون ها به صورت گیردار بود بنابراین در مدل

بوده و می توان برای مدل های مورد بررسی در این مقاله از این روند مدل سازی استفاده نمود. (شکل ۱۰- الف) نتیجه حاصله از صحت سنجی مدل تحت بارگذاری یکنوا و (شکل ۱۰- ب) نتیجه حاصله از صحت سنجی مدل تحت بارگذاری دور از گسل را نشان می دهد:



شکل ۱۰- الف) مقایسه خروجی عددی و آزمایشگاهی مدل ۱ مقاله ژائو و آستانه اصل [۱۴] تحت بارگذاری یکنوا



شکل ۱۰- ب) مقایسه خروجی عددی و آزمایشگاهی مدل ۱ مقاله ژائو و آستانه اصل [۱۴] تحت بارگذاری چرخه ای دور از گسل

۴- نتایج و یافته ها

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

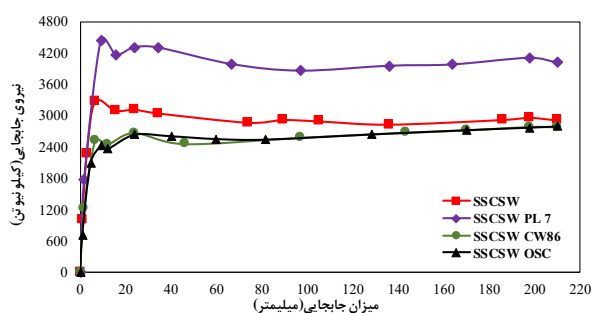
پس از طراحی مدل مبنا SSSW و توسعه آن به نمونه SSCSW و در نهایت صحت سنجی مدل ۱ مقاله ژائو و آستانه اصل در این مطالعه، در این بخش به مقایسه خروجی های مختلف برای دو مدل یاد شده به همراه مدل های متغیر تعریف شده در بخش ۲-۲ پرداخته می شود. مدل های طراحی شده و مدل سازی شده در نرم افزار با استفاده از آیین نامه های مختلف در این مقاله، تحت تحلیل بارگذاری یکنوا^۲، پرتوکل بارگذاری نزدیک و همچنین دور از گسل SAC قرار گرفته و نتایج حاصله از جمله خروجی هیستریسیس، بار افزون، شکل پذیری، اتلاف انرژی، سختی اولیه، مقاومت نهایی،



شکل ۹- ب) مدل اجزاء محدود نمونه آزمایشگاهی در ABAQUS

پس از مدل سازی و صحت سنجی عددی، نتایج نشان داد که میزان سختی اولیه در نمونه آزمایشگاهی 171 KN/mm و در نمونه عددی 204 KN/mm بود که اختلاف ۱۹٪ در سختی اولیه را نشان می داد در ادامه با افزایش بار در تحلیل چرخه ای، مقاومت در نمونه آزمایشگاهی نسبت به نمونه عددی پیشی گرفت البته این اختلاف چندان مشهود نبود. میزان مقاومت نهایی در نمونه آزمایشگاهی 2780 KN و در نمونه عددی حدوداً 2700 KN برآورد گردید که اختلاف تنها ۳٪ بود. همچنین لهیدگی^{۱۹} در چرخه های مدل آزمایشگاهی بیشتر بود دلیل این امر در مقایسه با مدل عددی، می تواند عدم مدل کردن گل میخ ها و استفاده از قید Tie در نمونه عددی به دلیل ایجاد هندسه پیچیده و زمان تحلیل بسیار طولانی باشد. استفاده از قید Tie به جای مدل کردن اتصالاتی چون گل میخ و پیچ و مهره و لغزش پیچ های متصل کننده ورق دیوار به اعضای مرزی در نمونه آزمایشگاهی باعث آسیب شد که در حین آزمایش لغزش ها باعث آسیب در ورق فولادی دیوار شد. این موارد باعث می شود که در هر چرخه حرکت هایی افقی بین ورق و اعضای مرزی ایجاد گردد و همین امر باعث ایجاد اختلاف در نمونه آزمایشگاهی و عددی می گردد البته در مطالعات قبلی وجود گلمیخ در مدل عددی و عدم استفاده از قید Tie نشان داد که تأثیر مدل سازی گلمیخ ناچیز است. بنابراین می توان از صحت سنجی انجام شده در بخش ۳ نتیجه گرفت که خروجی مدل عددی در مقایسه با خروجی آزمایشگاهی با توجه به توضیحات فوق الذکر قابل قبول

و SSCSW OSC عملکردی مشابه داشتند یعنی سختی اولیه و مقاومت نهایی این دو مدل مشابه بود و مقاومت نهایی در این دو مدل متغیر برابر با $2795 KN$ بود که در مدل SSCSW مقاومت نهایی $2964 KN$ بود. به طور کلی مقاومت نهایی تحت بارگذاری یکنوا در دو مدل متغیر یاد شده نسبت به نمونه SSCSW 6% کاهش پیدا کرد. در مدل متغیر $SSCSW PL 7$ با توجه به افزایش ضخامت ورق فولادی دیوار از 3 میلی‌متر به 7 میلی‌متر نسبت به مدل SSCSW، سختی اولیه و مقاومت نهایی به شکل قابل توجهی افزایش یافت. مقاومت نهایی در این مدل متغیر $4023 KN$ برآورد شد که نسبت به مقاومت نهایی مدل SSCSW حدوداً 36% افزایش را نشان داد. (شکل ۱۲) عملکرد مدل های متغیر نسبت به نمونه توسعه داده شده SSCSW تحت بارگذاری یکنوا را نشان می دهد:

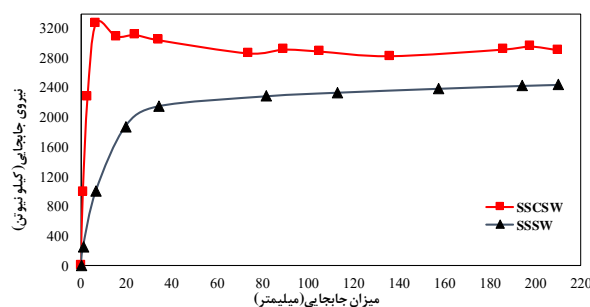


شکل ۱۲: مقایسه منحنی ظرفیت حاصل از تحلیل بار یکنوا برای مدل های متغیر در مقایسه با نمونه SSCSW

۴-۲- خروجی رفتار مدل SSSW و مدل های SSCSW تحت بارگذاری چرخه ای

پس از بررسی مدل های مبنا و متغیر تحت بارگذاری یکنوا در بخش ۴-۱، در این بخش مدل ها تحت بارگذاری چرخه ای دور و نزدیک گسل با استفاده از پروتکل بارگذاری SAC که در انتهای بخش ۲-۳ تعریف شدند، قرار می گیرند. ابتدا نتایج مدل های مبنا SSSW و توسعه داده شده SSCSW تحت دو پروتکل یاد شده با یکدیگر مقایسه شدند که (شکل ۱۳) نتایج این مقایسه را نشان می دهد. بررسی ها نشان داد در مدل SSCSW سختی اولیه برابر با $469 KN/mm$ و در مدل SSSW برابر $104 KN/mm$ می باشد که این افزایش قابل توجه سختی اولیه که حدوداً 350% برآورد شد به دلیل وجود بتن در دو طرف ورق فولادی دیوار در مدل SSCSW می باشد. ضریب شکل پذیری نیز تحت الگوی دور از گسل در

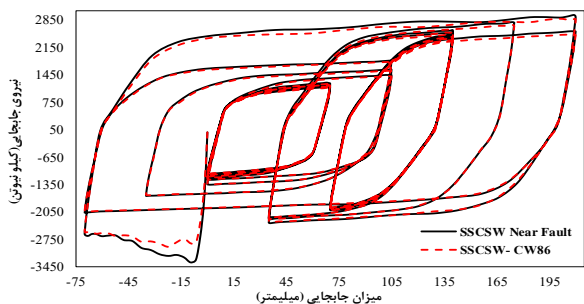
توزیع تنش فون میسر برای مدل SSSW و توزیع خرابی فشاری بتن برای مدل های فولادی، مورد بحث و بررسی قرار گرفتند. هدف اصلی در این مقاله بررسی متغیرهای یاد شده بر روی نمونه SSCSW و مقایسه دو مدل SSCSW و SSSW می باشد. در ابتدا مدل ها تحت بارگذاری یکنوا بررسی شدند در این بررسی مدل ها تا 4% ارتفاع قاب پوش داده شده اند. نتایج نشان داد سختی اولیه، شکل پذیری و مقاومت نهایی در نمونه دیوار برشی نیمه مقید فولادی کامپوزیتی نمونه SSCSW که در آن بتن در دو سمت ورق فولادی است، افزایش یافته است. این افزایش برای مقاومت نهایی 35% برآورد گردید. همین ارزیابی اولیه نشان می دهد که استفاده از روکش بتنی می تواند 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 $3200 KN$) روکش بتنی در مجاورت اتصال به تیرها و ستون ها 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) که در مدل های متغیر تعریف شده نیز این مورد صدق می کند. به همین دلیل به نظر می رسد که اجرای روکش بتنی می تواند با اعمال یک فاصله نسبت به تیر و ستون اجرا شود. (شکل ۱۱) این تغییرات را نشان می دهد:



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

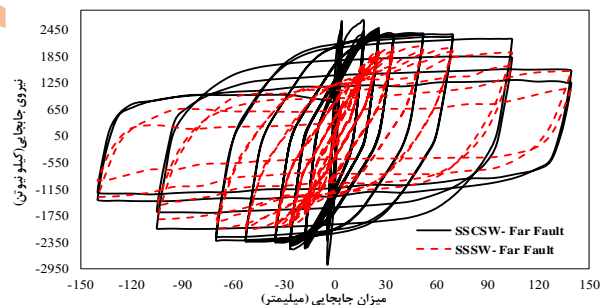
در مدل های متغیر SSCSW OSC با توجه به وجود روکش بتنی تنها در یک طرف ورق فولادی دیوار و $SSCSW CW86$ با توجه به کاهش ضخامت روکش بتنی روی ورق فولادی دیوار به 86 میلی متر نسبت به مدل SSCSW، مقاومت نهایی کاهش پیدا کرد. اما نکته حائز اهمیت این بود که مدل های متغیر $SSCSW CW86$

نشان داد که سختی اولیه در مدل متغیر $SSCSW\ CW^{۸۶}$ به میزان $۳۶۰\ KN/mm$ بود که در مقایسه با نمونه $SSCSW$ که $۴۶۹\ KN/mm$ محاسبه شده بود، ۳۰٪ کاهش پیدا کرد. از حیث مقاومت نهایی نیز در مدل $SSCSW\ CW^{۸۶}$ $۲۹۱۵\ KN$ محاسبه شد که در مقایسه با مقاومت نهایی نمونه $SSCSW$ که $۳۰۰۴\ KN$ محاسبه شده بود، تنها ۳٪ کاهش را نشان داد (شکل ۱۴-الف). به طور کلی که می توان نتیجه گرفت که پس از خورد شدن بتن در چرخه های ابتدایی، عملاً میزان زیادی از مقاومت بتن از دست رفته و رفتار مدل تنها رفتاری شبیه نمونه کاملاً فولادی بوده به همین دلیل مقاومت نهایی دو مدل یاد شده تقریباً مشابه یکدیگر است. نتایج مدل $SSCSW$ در مقایسه با $SSCSW\ OSC$ نشان داد که سختی اولیه مدل در نمونه $SSCSW\ OSC$ $۳۴۶\ KN/mm$ است که نسبت به مدل $SSCSW$ حدوداً ۳۶٪ کاهش در سختی اولیه را نشان داد همچنین مقاومت نهایی در نمونه $SSCSW\ OSC$ به میزان $۲۸۰۶\ KN$ محاسبه شد که نسبت به نمونه $SSCSW$ ۷٪ کاهش در مقاومت نهایی را نشان داد (شکل ۱۴-ب). در ادامه سختی اولیه در مدل متغیر $SSCSW\ PL^۷$ به میزان $۶۳۶\ KN/mm$ محاسبه شد که در مقایسه با نمونه $SSCSW$ ، سختی اولیه ۳۵٪ افزایش پیدا کرد. از حیث مقاومت نهایی نیز در مدل $SSCSW\ PL^۷$ $۴۰۴۲\ KN$ محاسبه شد که در مقایسه با مقاومت نهایی نمونه $SSCSW$ ، ۳۴٪ افزایش را نشان داد (شکل ۱۴-ج).

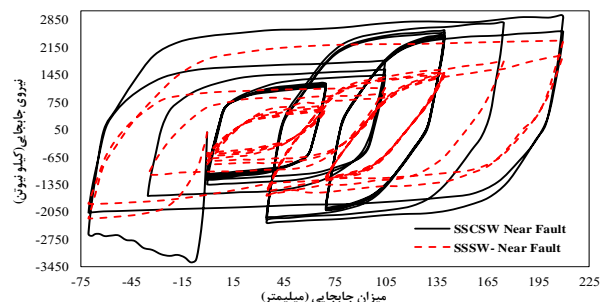


شکل ۱۴-الف) مدل $SSCSW$ و $SSCSW\ CW^{۸۶}$ تحت الگو نزدیک به گسل

مدل $SSCSW$ ۲۵ و در مدل $SSSW$ ۱۰ به دست آمد که نشان می دهد تحت یک پروتکل بارگذاری یکسان، با اضافه شدن بتن به مدل فولادی میزان شکل پذیری حدوداً ۱۵۰٪ افزایش پیدا کرده است همچنین نتایج مشابهی برای الگوی نزدیک گسل هم به دست آمد. بنابراین می توان گفت افزایش شکل پذیری تحت الگو دور و نزدیک با یکدیگر برابر و این عامل تابع الگوی بارگذاری نیست. مقاومت نهایی در مدل $SSCSW$ برابر $۳۰۰۴\ KN$ و در مدل $SSSW$ برابر $۲۳۵۳\ KN$ به دست آمد در نتیجه به دلیل وجود بتن در دو طرف ورق فولادی دیوار در نمونه $SSCSW$ ، مقاومت نهایی ۲۸٪ افزایش یافت که در مقایسه با افزایش ۳۵٪ بار یکنوا میزان افزایش کمتری را نشان می دهد. البته نکته بسیار مهم این است که در مدل های توسعه داده شده در این مطالعه پارگی ورق در نظر گرفته نشده است لذا اعداد به دست آمده صرفاً برای حالتی است که مطمئن باشیم مدل در خلال بارگذاری دچار هیچ گونه شکستی (پارگی) نخواهد شد که در این صورت می توان استفاده کرد.

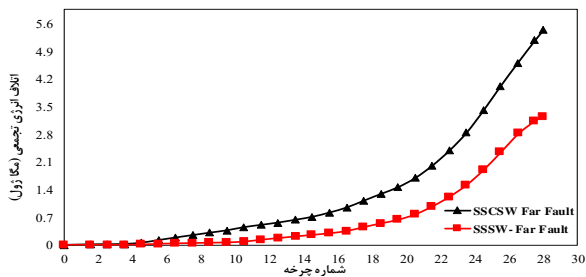


شکل ۱۳-الف) مدل $SSCSW$ و $SSSW$ تحت الگو دور از گسل

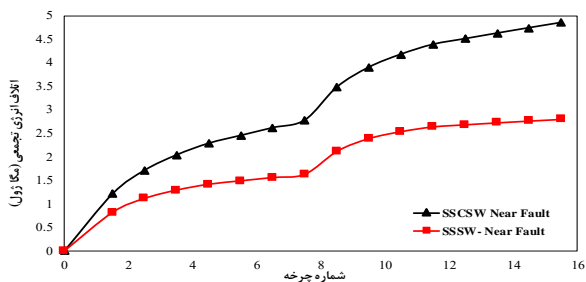


شکل ۱۳-ب) مدل $SSCSW$ و $SSSW$ تحت الگو نزدیک به گسل

در ادامه مدل های متغیر تحت بارگذاری چرخه ای نزدیک گسل قرار گرفتند و نتایج آن ها با خروجی حاصل از بارگذاری چرخه ای نزدیک گسل مدل توسعه داده شده $SSCSW$ مقایسه شدند. نتایج

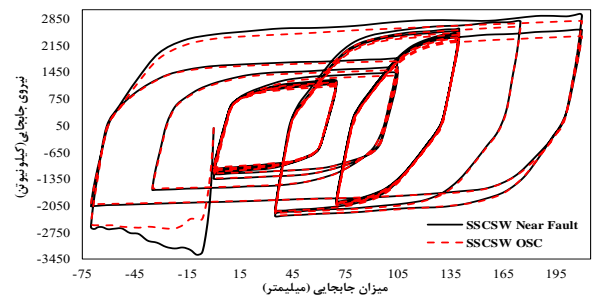


شکل ۱۵-الف) مقایسه اتلاف انرژی تجمعی دو مدل SSCSW و SSSW تحت الگو دور از گسل

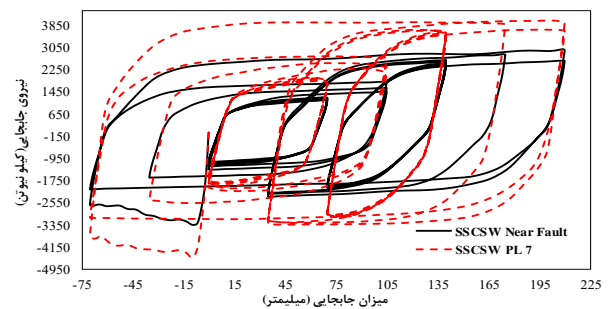


شکل ۱۵-ب) مقایسه اتلاف انرژی تجمعی دو مدل SSCSW و SSSW تحت الگو نزدیک به گسل

پس از بررسی دو نمونه یاد شده اتلاف انرژی مدل های متغیر با نمونه SSCSW تحت الگو نزدیک گسل مقایسه شد. ابتدا نتایج مدل SSCSWC^{۸۶} با SSCSW مقایسه شد. نتایج نشان داد که در نمونه SSCSWC^{۸۶} بیشترین میزان انرژی تلف شده چرخه ای ۴/۶ مگاژول محاسبه شد و با توجه با میزان انرژی تلف شده چرخه ای ۴/۸۴ مگاژولی در نمونه SSCSW کاهش ۵٪ را نشان می دهد (شکل ۱۶-الف). مقایسه اتلاف انرژی در نمونه SSCSW OSC در مقایسه با نمونه SSCSW نشان داد که میزان اتلاف انرژی در هر دو مدل به میزان ۴/۴ مگاژول بود و کاهش روکش بتنی بر روی ورق فولادی دیوار تأثیری در اتلاف انرژی تجمعی ندارد (شکل ۱۶-ب). مقایسه اتلاف انرژی تجمعی در مدل SSCSW PL 7 با نمونه SSCSW نشان داد که بیشترین میزان اتلاف انرژی تجمعی چرخه ای در مدل SSCSW PL 7 ۷/۲ مگاژول می باشد که در مقایسه با نمونه SSCSW افزایش قابل توجه ۴۹٪ را در اتلاف انرژی تجمعی نشان می دهد (شکل ۱۶-ج).



شکل ۱۴-ب) مدل SSCSW OSC و SSCSW تحت الگو نزدیک به گسل

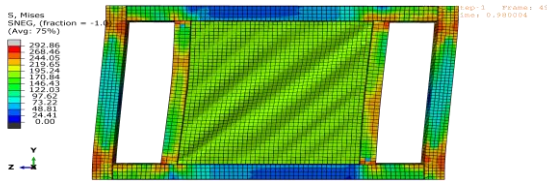


شکل ۱۴-ج) مدل SSCSW PL 7 و SSCSW تحت الگو نزدیک به گسل

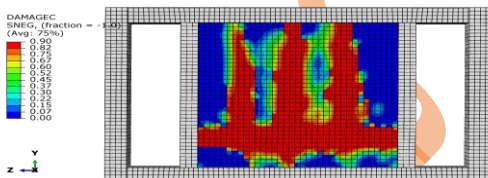
۳-۴. مقایسه اتلاف انرژی در مدل SSCSW و مدل های SSCSW

پس از بررسی نتایج مدل ها در بخش ۲-۴ تحت بارگذاری چرخه ای، اتلاف انرژی تجمعی ناشی از بارگذاری چرخه ای تحت الگو دور و نزدیک گسل بررسی شد. ابتدا نتایج اتلاف انرژی تجمعی دو مدل SSCSW و SSSW تحت بارگذاری دور از گسل بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان اتلاف انرژی در نمونه SSCSW ۳/۳ مگاژول و در مدل SSCSW ۵/۵ مگاژول بود که افزایش ۶۷٪ در نمونه SSCSW تحت الگو دور از گسل را نشان داد (شکل ۱۵-الف). در بررسی پارامتر یاد شده تحت الگو نزدیک گسل نتایج نشان داد که میزان اتلاف انرژی تجمعی در نمونه SSCSW ۴/۸۴ مگاژول و در نمونه SSCSW ۲/۸ مگاژول بود که در نمونه SSCSW ۷۳٪ رشد را نشان داد (شکل ۱۵-ب).

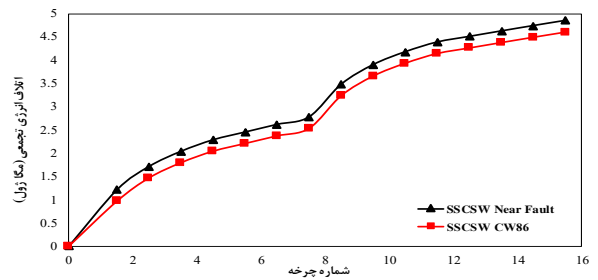
محل اتصال ستون‌های اصلی به تیرها است که وارد ناحیه گسیختگی شده و مقدار تنش بیشینه برابر با ۲۹۲ مگاپاسکال است.



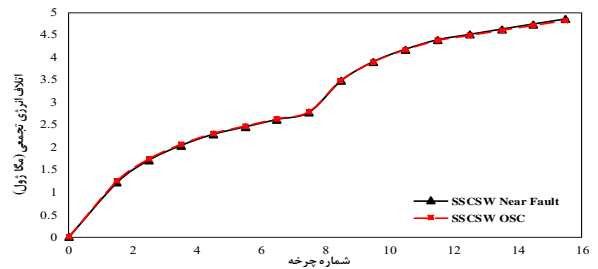
شکل ۱۷: توزیع تنش فون میسز در مدل SSSW تحت الگو نزدیک گسل اما در مدل SSCSW در پروتکل بارگذاری نزدیک، با توجه به ماهیت آن، شکست ناگهانی روکش بتن در چرخه های اولیه در همان چرخه ۱ حدود ۶۰٪ بتن خرد و تا چرخه ۴ به طور کلی روکش بتنی کامل خرد شد و مقاومت خود را به طور کامل از دست داد و باعث شد در چرخه ۵ به بعد اضافه نیروی وارده بر قاب-دیوار تحمیل شده و در نتیجه المان های اصلی از جمله ستون ها نیز غیرخطی شوند. بنابراین پیشنهاد می شود در پروتکل نزدیک گسل توجه ویژه ای به المان های اصلی (ستون ها قاب) توسط طراح مبذول گردد. این در حالی بود که در پروتکل دور از گسل با توجه به ماهیت پرتوکل، خرابی به طور ضعیف از چرخه ۱ آغاز اما در چرخه ۲۱ روکش بتنی کامل خراب و مقاومت خود را از دست داد. (شکل ۱۸)، خرابی روکش بتنی در مدل SSCSW را تحت الگو دور از گسل نشان می دهد.



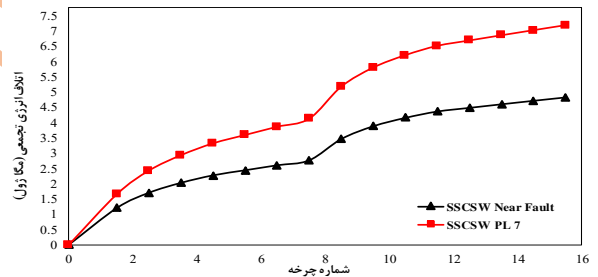
شکل ۱۸: توزیع آسیب فشاری بتن مدل SSCSW تحت الگو دور از گسل در ادامه عملکرد تیر بین ستون اصلی و فرعی در قاب در نمونه SSCSW بررسی شد نتایج در (شکل ۱۹) بیشینه توزیع تنش فون میسز در چشمه اتصال در مدل SSCSW را نشان می دهد که میزان بیشینه تنش فون میسز در محل اتصال ستون فرعی به تیر بالا در سمت چپ مدل به میزان ۲۵۷ مگاپاسکال رخ داد (این مقدار بیشینه مربوط به قسمت هایی است که حذف المان رخ نداده است). قسمتی از اتصال ستون فرعی به تیر نیز حذف شده است. که با توجه به تعریف مدل آسیب نرم برای فولاد و افزایش تنش نهایی از میزان تعریف شده یعنی ۳۷۰ مگاپاسکال، در محل مورد نظر، حذف المان رخ داده است.



شکل ۱۶-الف) مقایسه اتلاف انرژی تجمعی دو مدل SSCSW و SSCSW CW86 تحت الگو نزدیک به گسل



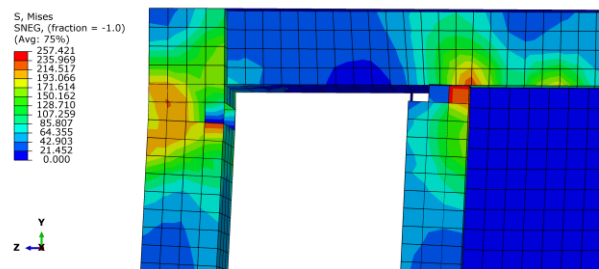
شکل ۱۶-ب) مقایسه اتلاف انرژی تجمعی دو مدل SSCSW OSC و SSCSW تحت الگو نزدیک به گسل



شکل ۱۶-ج) مقایسه اتلاف انرژی تجمعی دو مدل SSCSW PL 7 و SSCSW تحت الگو نزدیک به گسل

۴-۴- بررسی توزیع تنش فون میسز و مد های خرابی در مدل های مطالعه حاضر

پس از بررسی رفتار مدل های تعریف شده در این مقاله تحت بارگذاری یکنوا و چرخه ای دور و نزدیک گسل تحت پروتکل SAC در این بخش ابتدا به بررسی مد های خرابی بتن در مدل SSCSW و SSSW توزیع تنش فن میسز پرداخته می شود. در (شکل ۱۷) مشاهده می شود که با توجه به اینکه مدل فولادی تحت الگو نزدیک گسل قرار گرفته و در اولین چرخه این پروتکل بزرگترین جابجایی قرار دارد، مشاهده می شود که بیشترین میزان تنش ها در



شکل ۱۹: بیشینه توزیع تنش فون میسز (مگاپاسکال) در چشمه اتصال و تیر بین ستون اصلی و فرعی سمت چپ، در تیر بالا در نمونه SSCSW

۵- نتیجه گیری

دیوار برشی یکی از مهم‌ترین سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی در ساختمان است. از نظر مکانیسم خرابی، دیوارهای برشی قادر بودند حتی پس از پذیرش ترک‌های زیاد در برابر بارهای ثقلی مقاومت کنند در صورتی که این مورد به طور کامل از ستون‌ها قابل انتظار نیست. در دیوارهای برشی تمام مقید یکی از نگرانی‌ها غیرخطی شدن ستون‌ها مرزی و تأثیر آن بر ظرفیت باربری کلی است. برای رفع این نقیصه ایده استفاده از دیوار برشی نیمه مقید فولادی در لبه‌ها (SSSW) پیش‌تر پیشنهاد شده بود. به نظر رسید استفاده از خاصیت مرکب (اضافه کردن بتن به این سیستم) بتواند باعث بهبود ظرفیت باربری (افزایش مقاومت و سختی) دیوار (SSCSW) شود. بدین منظور در این مقاله ابتدا دیوار برشی فولادی کامپوزیت مدل ژائو و آستانه اصل جهت اطمینان از صحت مدل‌سازی عددی، در نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی شد در ادامه باتوجه به اینکه مدل‌های فولادی نیمه مقید مقالات پیشین قابلیت توسعه به دیوار نیمه مقید مرکب را نداشت، یک مدل مینا نیمه مقید فولادی مجدد طراحی (SSSW) و سپس به مدل نیمه مقید مرکب توسعه داده شد (SSCSW). پس از مقایسه دو مدل SSCSW و SSSW تحت پرتوکل بارگذاری دور و نزدیک گسل SAC در ادامه مدل‌های متغیر معرفی شده در بخش‌ها قبل با نمونه SSCSW تحت پرتوکل نزدیک گسل SAC مقایسه شدند. البته بررسی رفتار غیرخطی مدل‌ها در برابر بارگذاری یکنوا نیز مد نظر قرار گرفت. خروجی‌های مختلفی از قبیل سختی اولیه، منحنی چرخه‌ای، شکل‌پذیری، مقاومت نهایی، انرژی تلف شده تجمعی و توزیع تنش فون میسز استحصال و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج در حوزه دامنه مدل‌های ساخته شده نشان داد که:

(۱) اضافه شدن بتن به مدل SSSW (تبدیل مدل به SSCSW) سختی اولیه درون صفحه را ۳۵٪ افزایش داد. البته این افزایش سختی به خاطر بتن در دو سمت ورق فولادی دور از انتظار نیست. سختی اولیه در دو مدل متغیر $SSCSW^{۸۶}$ و $SSCSW^{OSC}$ در مقایسه با نمونه SSCSW به ترتیب به میزان ۳۰٪ و ۳۶٪ کاهش و در مدل $SSCSW^{PL}$ ۳۵٪ افزایش پیدا کرد. 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 شدن کرنشی ورق فولادی اندکی افزایش را تجربه می‌کند.

(۲) زمانی که بتن به مدل SSSW اضافه شد، شکل‌پذیری در دو حالت دور و نزدیک گسل، ۱۵٪ افزایش پیدا کرد. البته این افزایش چندان تابع نوع الگوی بارگذاری نبود. نکته حائز اهمیت این است که در مدل‌های این مقاله اثرات پارگی ورق فولادی مدل‌سازی نشده بود لذا شکل‌پذیری محاسبه شده در این مطالعه با ظرفیت واقعی شکل‌پذیری اختلاف داشته و نیازمند مدل‌های تکمیلی دقیق تری است تا بتوان نتیجه جامع تری به دست آورد.

(۳) مقایسه مقاومت نهایی (قله نمودار چرخه‌ای) نشان داد که فارغ از نوع الگوی بارگذاری چرخه‌ای، مقدار محاسبه شده برای SSCSW ۲۸٪ بیشتر از SSSW است. لازم به ذکر است افزایش به دست آمده در نتیجه بارگذاری یکنوا (مونوتیک) ۳۵٪ برآورد گردید. مقاومت نهایی تحت بارگذاری یکنوا در دو مدل‌های متغیر $SSCSW^{۸۶}$ و $SSCSW^{OSC}$ مشابه و به میزان ۶٪ نسبت به مدل SSCSW کاهش پیدا کرد اما در نمونه $SSCSW^{PL}$ ۳۶٪ افزایش پیدا کرد. در بارگذاری چرخه‌ای مقاومت نهایی دو مدل متغیر $SSCSW^{۸۶}$ و $SSCSW^{OSC}$ در مقایسه با نمونه SSCSW به ترتیب به میزان ۳٪ و ۷٪ کاهش و در مدل $SSCSW^{PL}$ ۳۴٪ افزایش پیدا کرد.

(۴) از حیث اتلاف انرژی تجمعی تحت الگو دور از گسل مقایسه نتایج نشان داد که در مدل SSCSW نسبت به SSSW، ۶۷٪ اتلاف انرژی بیشتر بود که در الگو نزدیک

گسل ۷۳٪ بود. در مدل های متغیر که با نمونه SSCSW تحت پرتوکل نزدیک گسل بررسی شدند نتایج نشان داد که در مدل SSCSW CW^{۸۶} تنها ۵٪ کاهش اتلاف انرژی رخ داد و در نمونه SSCSW OSC تغییر مشاهده نشد اما در نمونه SSCSW PL^۷ ۴۹٪ افزایش در اتلاف انرژی نسبت به نمونه SSCSW مشاهده شد.

(۵) نتایج حاصل از خروجی تنش فون میسز نیز نشان داد که بیشترین افزایش تنش در چشمه اتصال ستون فرعی به تیر رخ داد که به میزان ۲۵۷ مگاپاسکال بود البته قسمتی از این اتصال در خروجی حذف شده بود بدین معنی که تنش آن نقطه از میزان تعریف شده که ۳۷۰ مگاپاسکال بود، بیشتر شده و منجر به حذف المان شده بود.

(۶) در تحلیل های چرخه ای و مقایسه نمونه های دارای بتن مشاهده شد که اختلاف مدل ها در همان چرخه های ابتدایی بود سپس خروجی چرخه ای مدل ها تحت الگو دور و نزدیک مشابه و منطبق بر هم بودند بدین دلیل که بتن در همان چرخه های ابتدایی سختی و مقاومت خود را از دست داده و کامل خورد شده و تنها مقاومت و سختی فولاد باقی ماند. بنابراین وجود بتن تنها در سختی و مقاومت اولیه اثر گذار بود.

(۷) به طور کلی بررسی کلیه مدل ها در مقاله حاضر نشان داد که وجود بتن همراه با فولاد در نمونه های SSCSW باعث افزایش چشم گیری در سختی اولیه، مقاومت نهایی و اتلاف انرژی تجمعی نسبت به مدل SSSW شده است. ضریب شکل پذیری در مدل های متغیر مورد مطالعه در این مطالعه ارتباطی به میزان و شدت بارگذاری و تغییر متغیرهای مختلف نداشت. (با توجه اینکه در تمامی نمونه های مرکب جابجایی متناظر با مقاومت تسلیم یکسان بود)، بلکه هندسه مدل و در نتیجه میزان مقاومت تسلیم مدل در ضریب شکل پذیری اثر گذار است همچنین در بین متغیرهای مورد بررسی برای مدل SSCSW متغیر،

افزایش ضخامت ورق فولادی محاط در روکش بتنی بیشترین اثر در مقاومت نهایی، اتلاف انرژی تجمعی و سختی اولیه را داشت که باعث افزایش بسزای پارامترهای گفته شده در مدل SSCSW شد.

(۸) پیشنهاد می شود در پروتکل نزدیک گسل توجه ویژه ای به المان های اصلی (ستون ها قاب) توسط طراح مبذول گردد. بعلاوه 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.

پانوشت ها

۱. Encased steel brace
۲. Semi-Supported Steel Shear Wall
۳. Semi-Supported Steel Composite Shear Wall
۴. Cyclic Loading
۵. Concrete Shear Wall
۶. Cyclic Loading
۷. Total Energy Dissipation
۸. Von Mises Stress
۹. Low Yield Point
۱۰. Gap
۱۱. Concrete Damaged Plasticity
۱۲. Ductile Damage
۱۳. Shell Element
۱۴. Solid Element
۱۵. Isotropic Hardening
۱۶. Kinematic Hardening
۱۷. Combined Hardening
۱۸. Embedded region Constraint
۱۹. Pinching
۲۰. Monotonic

۶- مراجع

[۱] Ebadi jamkhaneh, M. and Ahmadi, M. ۲۰۲۱. Numerical andparametrical investigations of the behavior of composite steel plate shear walls with opening, *Sharif Journal of Civil Engineering*, ۳۷,۲(۱,۲), pp ۱۳-۲۲. (In Persian) <http://dx.doi.org/10.24200/j30.2020.54966.2689>

- [۱۰] Araghizadeh, E. and Tabatabaei Mirhosseini, R. ۲۰۲۱. Effect of Tensile Damage Parameter Reducing in Non-linear Analysis of Reinforced Concrete Structures using Concrete Damage Plasticity Method, *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, ۵۳(۱), pp ۵۷-۷۰. (In Persian)
<http://dx.doi.org/10.22060/ceej.2021.19021.7031>
- [۱۱] Faleiro, J. Oller, S. and Barbat, A.H. ۲۰۱۰. Plastic-damage analysis of reinforced concrete frames, *Engineering Computations*, ۲۷(۱), pp ۵۷-۸۳.
<https://doi.org/10.1108/02644440111008522>
- [۱۲] Hassani Sokhtesaraei, M. Ghassemieh, M. and Mirghaderi, S R. ۲۰۱۹. Comparing Seismic Performance of WUF-W & RBS Moment Connections in Box-Section Columns Under SAC & ATC-۲۴ Loading Protocols, *Journal of structure & steel*, ۱۳, pp ۹۱-۱۰۹. (In Persian)
<http://dx.doi.org/10.1001,11735515,1398,1398,26,1,7>
- [۱۳] Davoodi, M. Feizi, R. and Hadiani, N. ۲۰۱۱. Investigation of the effect of near and far field earthquakes on the seismic behavior of several different structures, *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, ۴, pp ۹-۲۱. (In Persian)
www.magiran.com/p894162
- [۱۴] Zhao, Q. and Astaneh-Asl, ۲۰۰۴. A. Cyclic behavior of traditional and innovative composite shear walls, *Journal Of Structural Engineerrng*, ۱۳۰, pp ۲۷۱-۲۸۴.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2004\)130:2\(271\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:2(271))
- [۱۵] AISC, ۱۹۹۹. Load and Resistance Factor Design (LRFD) Specification for Structural Steel Buildings is based on reliability theory, *USA, Chicago*.
- [۱۶] AISC ۳۶۱, ۲۰۱۶. American Institute of Steel Construction Inc, supersedes the seismic Provisions for Structural Steel Buildings, *USA. Chicago*.
- [۱۷] ETABS. ۲۰۱۵. Extended Three Dimensional Analysis and Design of Building System, Version ۱۵.۰۰, *Computers and structures*, Berkeley, CA, USA,
- [۱۸] Rahimi, T. Kheyroddin, A. and Gholhaki, M. ۲۰۲۰. An Analytical and Numerical Study on Effect of Thickness and Concrete Type of Panels on Behavior of Composite Steel Plate Shear Walls, *Amirkabir J. Civil Eng*, 53, pp ۳۶۲۳-۳۶۴۸. (In Persian).
<http://dx.doi.org/10.22060/ceej.2020.17929.6713>
- [۱۹] Shakeri, E. and Behnamfar, F. ۲۰۱۹. A Survey on Parameters Affecting the Lateral Behavior of Composite Shear Walls, *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, ۵۱(۱), pp ۶۷-۷۶. (In Persian)
<http://dx.doi.org/10.22060/ceej.2018.13025.5313>
- [۲۰] Xiaodong, J. Tongseng, L. Jiaru, Q. Wuhui, Q. and Weibiao, Y. ۲۰۱۶. Cyclic shear behavior of composite walls with encased steel braces, *Journal of Engineering Structural*, ۱۲۷, pp ۱۱۷-۱۲۸.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.08.041>
- [۲۱] Jahanpour, A. and Moharrami, H. ۲۰۱۵. Evaluation of behavior of the secondary columns in semi-supported steel shear walls, *Thin-Walled Structures*, ۹۳, pp ۹۴-۱۰۱.
<https://doi.org/10.1016/j.tws.2015.03.015>
- [۲۲] Siahpolo, N. and Bahmaie, J. ۲۰۲۱. Evaluation of behavior of semi-supported steel shear walls against monotonic and cyclic loading, *Amirkabir J. Civil Eng*, ۵۳, pp ۱۸-۳۳. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.22060/ceej.2020.17039.6434>
- [۲۳] Jahanpour, A. & Moharrami, H., ۲۰۱۷. Limit analysis and design of semi-supported steel shear walls, *Tarbiat Modares University Tehran publications*, (In Persian)
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.01.004>
- [۲۴] ABAQUS. ۲۰۱۷. Standard is a general-purpose, finite element module, Version ۱۷.۰۰, *reference manual*, ABAQUS Inc.
- [۲۵] Karimi, A. Karimi, M. Kheyroddin, A. and Amir shahkarami, A. ۲۰۱۸. Numerical Modeling of Masonry Wall Under In-Plane Cyclic Loading With Using the Concrete Damaged Plasticity Model and Assessment of Its Parameters, *Concrete Research*, ۱۱(۴), pp ۱۷-۳۲. (In Persian) <http://dx.doi.org/10.22124/jcr.2018.5612.1119>

[۱۸] Jahanpour, A. and Moharrami, H. ۲۰۱۷. Software Design and control of semi-supported steel shear walls, *Tarbiat Modares University Tehran publications*, (In Persian).

[۱۹] Standard No ۲۸۰۰. ۲۰۱۵. Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, ۴th Edition, *Building and Housing Research Center*, Tehran, Iran, (In Persian)

[۲۰] National Building Regulation No ۱۰. ۲۰۲۲. 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)

[۲۱] ASCE ۷, ۲۰۱۶. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, *USA, Virginia*.

[۲۲] Hognestad, E., ۲۰۰۷. A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members, *University of Illinois Engineering Experiment Station*.

<https://core.ac.uk/download/pdf/۴۸۱۴۲۹۵.pdf>

[۲۳] Kmiecik, P. and Kaminski, M., ۲۰۱۱. Modelling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration, *Archives Of Civil And Mechanical Engineering*, Xi. pp ۶۲۳-۶۳۶.

[https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/S۱۶۴۴-۹۶۶۵\(۱۲\)۶۰۱۰۵-۸](https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/S۱۶۴۴-۹۶۶۵(۱۲)۶۰۱۰۵-۸)

[۲۴] Krawinkler, H. Gupta, A. Medina, R. and Luco, N., ۲۰۰۰. Development of Loading Histories for Testing of Steel Beam to-Column Assemblies, *SAC Background Report*, SAC/BD-۰۰/۱۰.