

Cyclic Analysis of Steel Shear Walls with Peripheral Yielding Dampers

Reza Ghiamat ^{1*}, Fereydon Soheilnashan ²

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University of Lenjan Branch, Isfahan, Iran

2- M.Sc. student, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University of Lenjan Branch, Isfahan, Iran

ABSTRACT

Steel shear walls have different systems and models, each of which has different fields for investigation and design. Steel shear walls can be classified in categories with or without opening, and each of these models can be placed in steel shear wall systems with or without stiffeners. The steel shear wall system can also be implemented in composite. In this research, it is intended to improve the seismic behavior of this system by adding yielding steel dampers, which is discussed below. For this reason, in this research, it is intended to "Cyclic analysis of steel shear walls with peripheral yielding dampers" in order to evaluate the performance of bending steel frames with steel shear wall system under nonlinear dynamic load. In this research, the studied samples were numerically loaded under cyclic load analysis using ABAQUS v-21 software, and the results of stress, strain and displacement values at the moment of maximum load and at the end of loading were compared with each other for the samples in question, and after evaluating the results of the samples from their analysis, the best performance was determined. It was observed that the use of peripheral yielding dampers perpendicular to the wall plane, when the peripheral dampers are only connected to the beams, has led to improved performance and reduced displacement outside the wall plane, increased frame elastic displacement, reduced frame stiffness, and reduced frame drift. On the other hand, the use of peripheral yielding dampers in line with the wall plate when the peripheral dampers are only connected to the beams has led to improved performance and increased elastic and plastic stiffness of the frame, increased force absorption in the elastic and plastic area of the frame during the load process.

ARTICLE INFO

Receive Date: 31 July 2023

Revise Date: 07 October 2023

Accept Date: 17 November 2023

Keywords:

Steel shear Wall
Yielding Peripheral Damper
Cyclic Analysis
Stiffness of the Frame
Seismic Behavior

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2023.408674.3179>

*Corresponding author: Reza Ghiamat.

Email address: Reza.Ghiamat@iau.ac.ir

تحلیل چرخه‌ای دیوارهای برشی فولادی دارای میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی رضا قیامت^{۱*}، فریدون سهیل‌نشان^۲

۱- استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لنجان، اصفهان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لنجان، اصفهان، ایران

چکیده

دیوارهای برشی فولادی دارای سیستم‌ها و مدل‌های متفاوتی هستند که هرکدام دارای زمینه‌هایی متفاوت برای بررسی و طراحی می‌باشند. می‌توان دیوارهای برشی فولادی را در دسته‌بندی با بازشو و یا بدون بازشو دسته‌بندی کرد و همچنین هرکدام از این مدل‌ها را در سیستم‌های دیوار برشی فولادی با سخت‌کننده و یا بدون سخت‌کننده جای داد. سیستم دیوار برشی فولادی نیز می‌تواند کامپوزیت اجرا گردد. در این پژوهش با افزودن میراگرهای تسلیم‌شونده فولادی رفتار لرزه‌ای این سیستم بهبود داده شد. نمونه‌های مورد مطالعه تحت تحلیل بار چرخه‌ای به صورت عددی با نرم‌افزار آباکوس بارگذاری شده و نتایج تنش، کرنش و مقادیر تغییرمکان در لحظه بیشینه باربری و پایان بارگذاری حاصل از این تحلیل با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته و پس از ارزیابی نتایج نمونه‌ها، مطلوب‌ترین عملکرد تعیین شده است. تحلیل نتایج نشان داد که شکل‌پذیری قابهای فولادی با دیوار برشی پیرامونی و انواع حالات میراگرهای تسلیم‌شونده نسبت به نمونه قاب خمشی فولادی بدون دیوار برشی و میراگر تا ۵/۳۸ برابر افزایش یافت. تغییرمکان خارج از صفحه دیوار در حالت بیشینه بارگذاری نمونه‌های دارای میراگر نسبت به نمونه فاقد میراگر از ۹/۳ درصد کاهش تا ۱۰/۲ درصد افزایش را نشان دادند. مشاهده شد استفاده از میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی عمود بر صفحه دیوار وقتی که میراگرهای پیرامونی تنها به تیرها متصل است، منجر به بهبود عملکرد و کاهش تغییرمکان خارج از صفحه دیوار، افزایش تغییرمکان الاستیک قاب، کاهش سختی قاب و کاهش دررفت قاب می‌گردد. از سوی دیگر استفاده از میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی هم‌راستا با صفحه دیوار وقتی که میراگرهای پیرامونی تنها به تیرها متصل است منجر به بهبود عملکرد و افزایش سختی الاستیک و پلاستیک قاب، افزایش جذب نیرو در ناحیه الاستیک و پلاستیک قاب در روند باربری می‌گردد.

کلمات کلیدی: دیوارهای برشی فولادی، میراگر تسلیم‌شونده، تحلیل چرخه‌ای، سختی قاب خمشی، رفتار لرزه‌ای.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2023.408674.3179	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2023.408674.3179	۱۴۰۳/۰۴/۳۱	۱۴۰۲/۰۸/۲۶	۱۴۰۲/۰۸/۲۶	۱۴۰۲/۰۷/۱۵	۱۴۰۲/۰۵/۰۹
رضا قیامت Reza.Ghiamat@iau.ac.ir				*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:		

۱- مقدمه

سیستم دیوار برشی ورق فولادی^۱ (SPSW) یکی از بهترین سیستم‌های باربری جانبی در برابر بارهای جانبی در مناطق با خطر لرزه‌ای بالا شناخته شده است. سیستم دیوار برشی صفحه فولادی معمولی از صفحات فولادی نازک متصل به تیرهای معروف به اعضای مرزی افقی^۲ (HBE) است؛ و ستون‌های معروف به اعضای مرزی عمودی^۳ (VBE) تشکیل شده است. تمام اتصالات اعضای مرزی افقی به اعضای مرزی عمودی از نوع خمشی هستند. مطابق با الزامات (AISC-341 2010)، اعضای مرزی افقی و اعضای مرزی عمودی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که در تحت اثر بارهای جانبی کاملاً به صورت الاستیک باقی بمانند، حتی اگر تشکیل مفصل پلاستیک در انتهای اعضای مرزی افقی و پایه اعضای مرزی عمودی مجاز باشد. این رویکرد، معمولاً به عنوان روش طراحی ظرفیت^۴ (CDM) شناخته می‌شود، منجر به نیروهای طراحی بالا در اعضای مرزی عمودی می‌شود؛ و بنابراین به ستون‌هایی با سطح مقطع بالا موردنیاز است [۱]. امروزه با رشد و گسترش سازه‌های بلند در نقاط مختلف جهان، نیاز به مقاوم‌سازی هرچه بیشتر آن‌ها در مقابل حوادثی همچون زلزله، روزبه‌روز بیشتر احساس می‌شود. برای مقابله با نیروهایی همچون امواج زلزله در سازه‌ها نیاز به سیستم‌های جاذب انرژی است. یکی از این دستگاه‌ها با قابلیت جذب انرژی بالا، دیوارهای برشی فولادی است که در این تحقیق مورد بررسی واقع شد. به طور کلی سیستم دیوار برشی فولادی^۵ یکی از سیستم‌های باربر جانبی است که در سازه‌های فولادی و همچنین مقاوم‌سازی سازه‌های موجود مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم از یک صفحه فولادی تشکیل شده که توسط تیر و ستون‌های قاب به عنوان المان مرزی محصور شده است و رفتاری همانند المان تیورق دارد و می‌تواند در چندین قاب هم‌تراز و در ارتفاع امتداد پیدا کند. از چنین سیستمی برای اولین بار در تعدادی از ساختمان‌های ساخته شده در آمریکا، کانادا و ژاپن به عنوان سیستم باربر جانبی در برابر بارهای جانبی باد و زلزله استفاده شده است [۲].

برای استفاده از دیوارهای برشی فولادی در سازه‌های واقعی، نیاز به وجود بازو همواره از مسائل مهم طراحی بوده است. با توجه به قرار دادن ورق فولادی به عنوان المان جاذب انرژی، قاب دور بازو دچار اعوجاج شده و قابل استفاده نخواهد بود؛ بنابراین باید بتوان بهینه‌ترین سخت‌کننده‌ها برای جلوگیری از اعوجاج بازو در نظر گرفته شود. در عین حال ورق باید به ناحیه کم‌انرژی موضعی رسیده و ورق به طور کامل جذب انرژی نماید. از طرفی ازدیاد مقدار سخت‌کننده علاوه بر عدم صرفی اقتصادی، سبب مکش ستون از جانب ورق خواهد شد [۳].

یکی از ضعف‌های دیوار برشی فولادی تغییر شکل و کم‌انرژی درون صفحه‌ای است که از روش‌های متداول جهت رفع آن می‌توان به تقویت صفحه پرکننده توسط سخت‌کننده‌های فولادی، پوشاندن دو طرف ورق با یک لایه بتن و استفاده از الیاف‌های پلیمری اشاره نمود. الیاف پلیمری به علت دارا خواص مکانیکی مناسب مانند مقاومت بالا، سختی بالا، وزن سبک و شکل‌پذیری گزینه مناسبی برای تقویت صفحه میان قاب دیوار برشی محسوب می‌شود. دیوار برشی فولادی تقویت شده با الیاف پلیمری علاوه بر جنبه‌های مثبت دیوار برشی فولادی تقویت نشده مانند هزینه پایین و سرعت اجرای بالا، همانند دیوار برشی مرکب دارای سختی و مقاومت بالا است [۴ و ۵]. بسیاری از فیوزهای سازه‌ای وجود دارد که در دهه‌های گذشته به طور گسترده توسط جامعه مهندسی زلزله مورد استفاده قرار گرفته است. این موارد شامل میراگرهای ویسکوز، میراگرهای فولادی تسلیم شونده و میراگرهای اصطکاکی است. در میان این نوع میراگرها، میراگرهای فولادی تسلیم شونده متداول‌ترین است، زیرا حساسیت کمتری به محیط دارد و ساخت آن مقرون به صرفه است. همچنین یکی از سیستم‌های سازه‌ای با عملکرد بالا دیوارهای برشی فولادی می‌باشد که در سالیان اخیر تاثیرات مهم استفاده از آن در زلزله‌های مختلف اثبات شده است. بنابراین در این تحقیق سعی شد تاثیرات اثر استفاده همزمان دیوارهای برشی فولادی و میراگر تسلیم شونده در بهبود پارامترهای لرزه‌ای سازه مورد بررسی قرار بگیرد.

¹ Steel Plate Shear Wall

² Horizontal Boundary Elements

³ Vertical Boundary Elements

⁴ Capacity Design Method

⁵ Steel Shear Wall

۲- مرور پژوهش های پیشین

محمد مرادی و همکاران در سال ۱۳۹۸ با استفاده از دیوارهای برشی نیم دهانه رفتار قاب خمشی فولادی را ارزیابی کردند. آن‌ها دریافتند استفاده از این سیستم در قابهای فولادی در مقایسه با دیوارهای برشی فولادی کامل باعث افزایش جذب انرژی و سطح زیر منحنی‌های هیستریزیس و نیز کاهش پدیده باریک شدگی منحنی می‌شود [۶]. بامشاد و همکاران در سال ۱۳۹۸ به ارائه مدل خرابی هیستریزیس برای سیستم دیوار برشی فولادی پرداختند. در تحقیق فوق یک مدل یک طبقه یک دهانه دیوار برشی فولادی با اتصالات مفصلی تیر به ستون مدلسازی گردید و مطابق ATC24 مورد بارگذاری قرار گرفت. نتایج نشان داد پارامترهای اصلی تاثیرگذار روی ظرفیت برشی و سختی قبل و بعد از نقطه تسلیم، نسبت طول دهانه به ارتفاع و ضخامت ورق میانی است که با توجه به روابط بدست آمده، نسبت طول دهانه به ارتفاع دیوار موثرتر است [۷]. پورحسن و همکاران در سال ۱۳۹۹ به بررسی تاثیر سخت‌کننده لبه‌ای بر رفتار لرزه‌ای دیوار برشی فولادی متصل به تیر پرداختند. در این تحقیق یک نمونه دیوار برشی فولادی متصل به تیر، دارای ورق فولادی با مقاومت تسلیم بالا در نرم افزار آباکوس مدلسازی گردید. نتایج نشان داد در شرایطی که سخت‌کننده به تیرهای بالا و پایین متصل نباشد، تغییر مقطع آن تاثیر چندانی بر رفتار سیستم و مقدارهای سختی، مقاومت و استهلاک انرژی ندارد. ولی در صورت اتصال سخت‌کننده به تیرها بهبود قابل توجهی در عملکرد لرزه‌ای دیوار حاصل خواهد شد [۸]. ترون‌ا و همکاران در سال ۲۰۱۵ یک مطالعه با هدف ارزیابی ظرفیت جذب انرژی پسماند میراگر فولادی برای محافظت از سازه‌ها در برابر زلزله انجام دادند. این نوع میراگرهای فولادی از ورق فولادی نرمه با اشکال هندسی مختلف در قسمت کناری، یعنی اشکال مستقیم، مقعر و محدب ساخته می‌شوند. نتایج آزمایش کلی نشان داد که میراگرهای فولادی پیشنهادی دارای منحنی‌های تأخیری مشابه هستند، اما نمونه با طرف محدب شکل نه تنها رفتار پایدار مطلوب‌تری را نشان داد بلکه قابلیت اتلاف انرژی و ضریب انعطاف‌پذیری مناسب‌تری را نیز نشان داد [۹]. سققی^۷ و همکاران در سال ۲۰۱۹ به مطالعه اثر استفاده از میراگرهای TADAS در سازه‌های بتن‌آرمه پرداختند. ایشان مطالعات خود را روی ساختمان‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه معطوف کردند. نتایج نشان داد استفاده از میراگرهای TADAS حداکثر شتاب و تغییر مکان بام را کاهش خواهد داد و بطور میانگین برش پایه را در نمونه ۴، ۷ و ۱۰ طبقه به ترتیب ۱۰، ۹ و ۷ درصد کاهش می‌دهد [۱۰]. یانگ^۸ و همکاران در سال ۲۰۲۰ میراگر فلزی جدیدی به نام فیوز سازه‌ای لانه‌زنبوری (HSF) را برای کاربردهای لرزه‌ای پیشنهاد کردند. نتایج نشان داد که می‌توان HSF را به عنوان فیوز برای نیازهای لرزه‌ای مختلف به کار برد [۱۱]. چوکا^۹ و کریشنامورثی^{۱۰} در سال ۲۰۲۰، یک مطالعه با هدف توسعه یک سیستم اتلاف انرژی منفعل ترکیبی جدید (HPED^{۱۱}) انجام دادند که ترکیبی از میراگر سختی صفحه X شکل (XADAS^{۱۲}) و میراگر اصطکاک (FD^{۱۳}) برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه تحت زلزله با مقادیر مختلف شتاب زمین است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که HPED در مقایسه با XADAS و FD مقدار بیشتری انرژی را تلف می‌کند [۱۲]. کوی^{۱۴} و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی فولادهای با تنش تسلیم بالا در دیوارهای برشی فولادی که دارای بار تسلیم بالاتر از ۳۰۰۰ کیلونیوتن بودند، پرداختند. نتایج نشان داد استفاده از این فولادها در دیوارهای برشی فولادی جذب انرژی و شکل‌پذیری سیستم را به شدت افزایش داد [۱۳]. فرحبخش^{۱۵} و همکاران در سال ۲۰۲۱ به بررسی ارزیابی لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی دارای بازشو پرداختند. نتایج آنالیز پوش اور حاکی از پایداری و رفتار شکل‌پذیر دو نمونه دیوار برشی فاقد بازشو و دارای بازشو می‌باشد [۱۴].

⁶ Teruna

⁷ Saghafi

⁸ Yang

⁹ Chukka

¹⁰ Krishnamurthy

¹¹ Hybrid passive energy dissipation device

¹² X-plate added damping and stiffness damper

¹³ friction damper

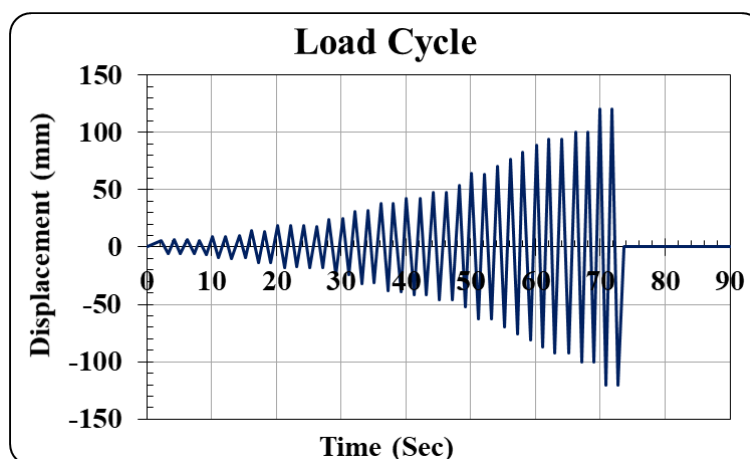
¹⁴ Chun

¹⁵ Farahbakhsh

۳- روش تحقیق

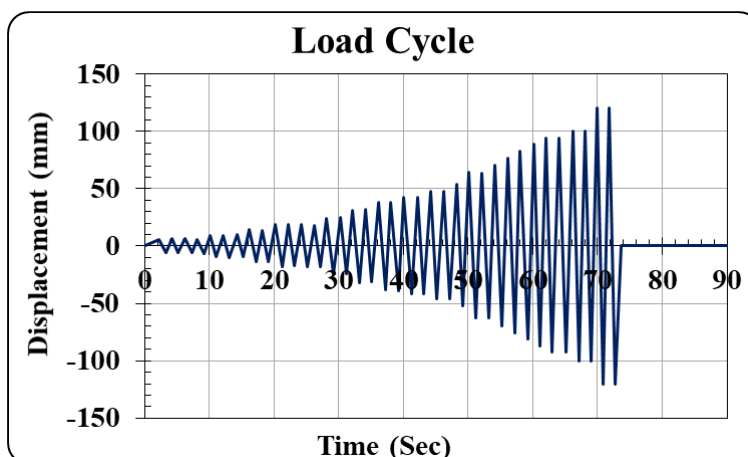
در این تحقیق مدل‌های دیوارهای برشی فولادی و مدل‌های دارای مهاربند تسلیم شونده، تحت بارگذاری متناسب با مبحث ششم و ویرایش چهارم آیین‌نامه ۲۸۰۰ با استفاده از نرم افزار آباکوس طراحی شده و با استفاده از بار چرخه‌ای، مورد آنالیز قرار خواهند گرفت. ابتدا یک دیوار برشی فولادی یک طبقه یک دهانه در نرم افزار مورد تحلیل قرار گرفته است. نمونه دوم بصورت یک قاب دیوار برشی فولادی مجهز به میراگر تسلیم شونده پیرامون ورق دیوار (محل برخورد دیوار با تیر و ستون)، نمونه سوم بصورت یک قاب دیوار برشی فولادی مجهز به میراگر تسلیم شونده در محل برخورد ورق با تیر و در نمونه چهارم یک قاب دیوار برشی فولادی مجهز به میراگر تسلیم شونده در محل برخورد ورق با ستون در نظر گرفته شد. سه نمونه دیگر نیز با چرخش ۹۰ درجه‌ای میراگرها نسبت به ورق مدل می‌گردند. پس از تحلیل و بررسی ۸ نمونه مورد پژوهش، مقایسه‌ای بین حالت‌های موجود صورت گرفته و تاثیر میراگر و بهترین شکل استفاده از آن در سیستم دیوار برشی فولادی مشخص شد. به منظور صحت‌سنجی مدل‌سازی و تحلیل نمونه‌ها در نرم‌افزار آباکوس، نمونه موردنظر در مقاله ترونا و همکاران [۹] به عنوان مقاله مرجع مدل‌سازی و تایید گردید.

در این پژوهش به منظور بررسی و مقایسه یک قاب فولادی یک طبقه (۳/۵ متر) یک دهانه (۵/۰ متر) فولادی در حالت اول به صورت یک قاب خمشی، در حالت دوم همراه دیوار برشی فولادی و در حالت سوم با دیوارهای برشی فولادی دارای میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی فولادی تحت بارگذاری دینامیکی غیرخطی پرداخته شده است. در شکل ۱ نمایی از چرخه بارگذاری نمونه‌های موردنظر به تصویر کشیده شده است. قابها به صورت عددی با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS v-20 بارگذاری شده (شکل ۳) و نتایج تنش و کرنش و مقادیر تغییر مکان در پایان بارگذاری حاصل از تحلیل نمونه‌ها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته شده اند. لازم به ذکر است استفاده از میراگرهای تسلیم‌شونده فولادی خود حالت‌های مختلفی را داراست. حالت اول استفاده از میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی فولادی به صورتی که ورق میراگر عمود بر ورق دیوار است، حالت دوم استفاده از میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی فولادی به صورتی که ورق میراگر هم‌راستا با ورق دیوار است، حالت سوم استفاده از میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی فولادی تنها متصل به تیر قاب به صورتی که ورق میراگر عمود بر ورق دیوار است، حالت چهارم استفاده از میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی فولادی تنها متصل به تیر قاب به صورتی که ورق میراگر هم‌راستا با ورق دیوار است، حالت پنجم استفاده از میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی فولادی تنها متصل به ستون قاب به صورتی که ورق میراگر عمود بر ورق دیوار است و حالت ششم استفاده از میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی فولادی تنها متصل به ستون قاب به صورتی که ورق میراگر هم‌راستا با ورق دیوار است. در مجموع ۸ نمونه در این پژوهش مورد تحلیل قرار گرفت (



شکل ۱ نمایی از چرخه بارگذاری نمونه‌های مورد مطالعه

جدول ۲ مشخصات مصالح موردنظر در این پژوهش.



شکل ۱ نمایی از چرخه بارگذاری نمونه‌های مورد مطالعه

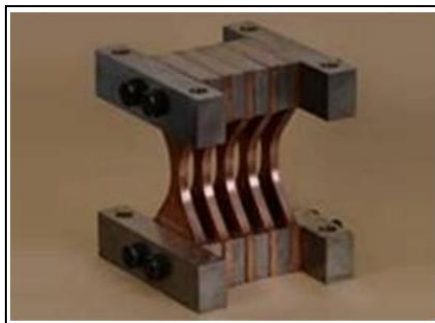
جدول ۱ مشخصات نمونه‌های موردنظر در این پژوهش

توضیحات	RBS Zone			Connection sheet	Damper t_s (mm)	Wall	HBES	VBES	نام نمونه	ردیف
	a	b	c							
	(mm)									
قاب خمشی	—	—	—	—	—	—	W14 × 176	W14 × 283	MF	۱
قاب خمشی + دیوار برشی پیرامونی	—	—	—	—	—	3.18	W14 × 176	W14 × 283	SPSW	۲
قاب خمشی + دیوار برشی پیرامونی + میراگر حالت ۱	200	300	95	PL250×15	10	3.18	W14 × 176	W14 × 283	SPSW-Damper.1	۳
قاب خمشی + دیوار برشی پیرامونی + میراگر حالت ۲	200	300	95	PL250×15	10	3.18	W14 × 176	W14 × 283	SPSW-Damper.2	۴
قاب خمشی + دیوار برشی پیرامونی + میراگر حالت ۳	200	300	95	PL250×15	10	3.18	W14 × 176	W14 × 283	SPSW-Damper.3	۵
قاب خمشی + دیوار برشی پیرامونی + میراگر حالت ۴	200	300	95	PL250×15	10	3.18	W14 × 176	W14 × 283	SPSW-Damper.4	۶
قاب خمشی + دیوار برشی پیرامونی + میراگر حالت ۵	200	300	95	PL250×15	10	3.18	W14 × 176	W14 × 283	SPSW-Damper.5	۷
قاب خمشی + دیوار برشی پیرامونی + میراگر حالت ۶	200	300	95	PL250×15	10	3.18	W14 × 176	W14 × 283	SPSW-Damper.6	۸

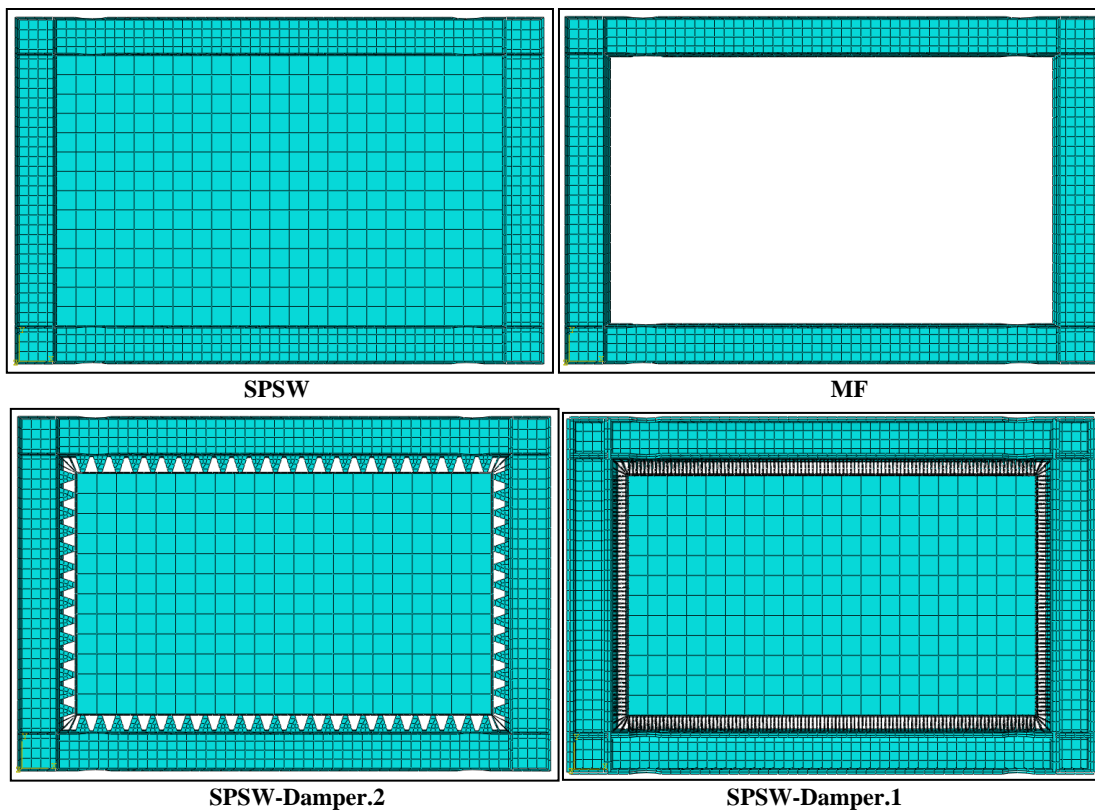
جدول ۲ مشخصات مصالح موردنظر در این پژوهش

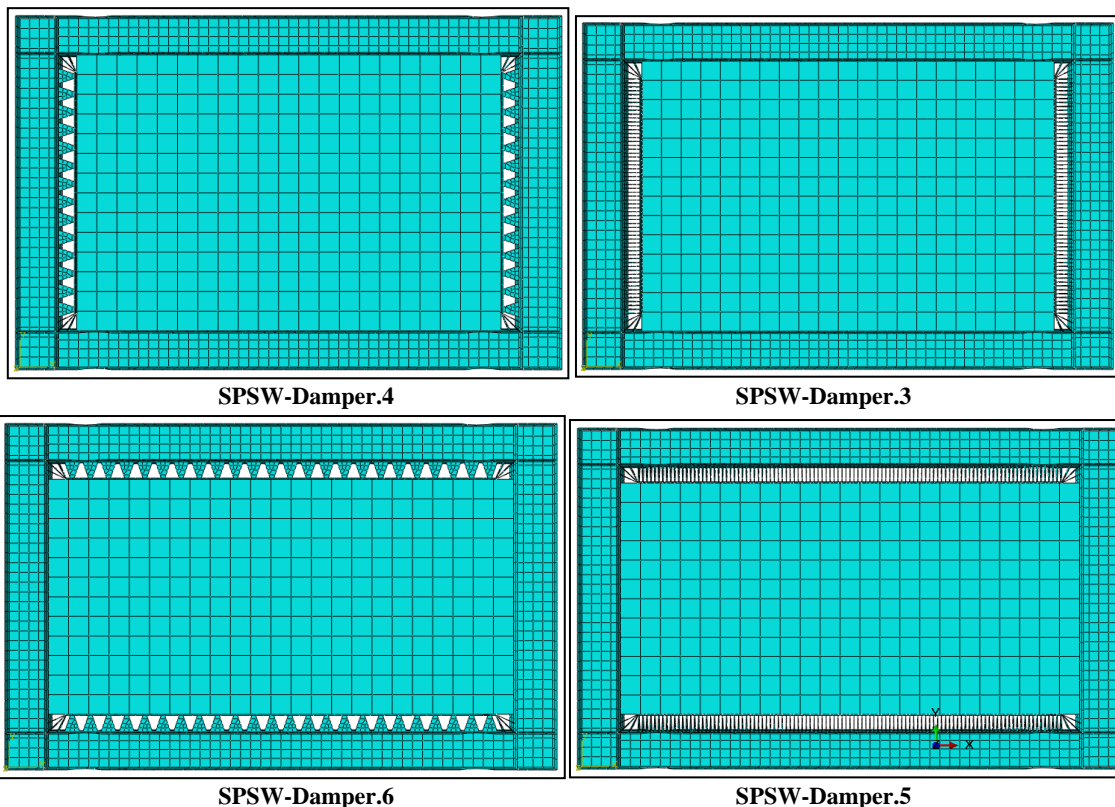
Pro.	STEEL						Ws (Kg/m3)	ردیف
	Es (GPa)	Fy.s (MPa)	Fu.s (MPa)	$\epsilon_{y.s}$	$\epsilon_{u.s}$	vs		
HBES, VBES & Damper	۲۰۰	۳۸۵	۴۷۵	۰/۰۰۲	۰/۱۲	۰/۳	۷۸۵۰	۱
Wall	۲۰۰	۳۲۷	۳۲۷	۰/۰۰۲	۰/۱	۰/۳	۷۸۵۰	۲

در شکل ۲ تصویری از نمونه واقعی میراگر فلزی تسلیم شونده مدلسازی شده در این مطالعه ارائه شده است.



شکل ۲ میراگر فلزی تسلیم شونده مدلسازی شده در این تحقیق





SPSW-Damper.4

SPSW-Damper.3

SPSW-Damper.6

SPSW-Damper.5

شکل ۳ نمایی از شبکه بندی قابهای مورد مطالعه (همگی با ابعاد ۵ در ۳/۵ متر)

۴- نتایج تحقیق

نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی نمونه های مورد مطالعه در این پژوهش در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳ نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی نمونه های مورد مطالعه در این پژوهش

سختی (KN/mm)	شکل پذیری (H)	پایان بارگذاری (پسماند) (MPa)		بیشینه بارگذاری (MPa)		دریافت (%)	تغییر مکان خارج از صفحه دیوار (mm)	نیروی برش پایه (KN)	تغییر مکان جانبی (mm)		نام نمونه	ردیف									
		تنش برشی	تنش فون مابنسز	تنش برشی	تنش فون مابنسز				پلاستیک	الاستیک											
پلاستیک	الاستیک	ستون	تیر	ستون	تیر	پسماند	بیشینه بارگذاری	پسماند	بیشینه بارگذاری	پلاستیک	الاستیک	پلاستیک	الاستیک								
														تیر	تیر	تیر	تیر	پلاستیک	الاستیک	پلاستیک	الاستیک
—	۳۴/۶	۱۲۶/۳	۲/۱	۲۷۱	۱۳۸	۴۲۲	۴۲۷	۲۶۹	۱۴۰	۴۵۲	۴۶۹	۰/۱۳	۲/۱۲	—	—	۵۶۲۱	۴۳۱۹	۷۱/۸	۳۴/۲	MF	۱
۳۱/۵	۱۴۴/۹	۴۱۰/۳	۸/۵	۳۷۱	۱۹۶	۴۶۷	۴۶۴	۲۶۹	۲۱۵	۴۶۷	۴۷۴	۰/۵	۲/۲۳	۲۱۵	۱۱۸	۸۰۳۳	۳۶۱۱	۷۵/۰	۸/۸	SPSW	۲

۳۶/۵	۱۵۲/۱	۳۴۴/۴	۸/۲	۲۶۸	۱۷۱	۴۶۷	۴۲۸	۲۶۵	۲۱۰	۴۶۷	۴۷۴	۰/۴	۲/۳۳	۱۷۳	۱۲۱	۷۸۰/۶	۳۱۳۴	۷۴/۴	۹/۱	SPSW-Dampe r.1	۲
۲۸/۱	۱۲۸/۴	۳۹۱/۲	۸/۷	۱۷۱	۱۵۶	۴۶۶	۴۱۲	۲۶۹	۲۱۷	۴۶۶	۴۷۲	۰/۵	۲/۲۴	۱۹۲	۱۱۴	۷۸۴۰	۳۳۶۴	۷۴/۶	۸/۶	SPSW-Dampe r.2	۴
۲۲/۳	۱۰۴/۸	۴۰۲/۰	۱۰/۱	۲۷۱	۱۴۱	۴۶۶	۴۴۱	۲۶۹	۲۱۸	۴۶۶	۴۷۲	۰/۵	۲/۳۳	۲۴۳	۱۱۱	۷۸۴۲	۲۹۷۵	۷۴/۷	۷/۴	SPSW-Dampe r.3	۵
۳۵/۰	۱۵۳/۳	۴۳۱/۱	۱۱/۳	۲۷۱	۱۵۹	۴۷۱	۴۳۰	۲۶۸	۲۲۰	۴۷۱	۴۷۳	۰/۶	۲/۲۴	۳۳۵	۱۳۰	۸۱۰۰	۲۸۴۵	۷۴/۳	۶/۶	SPSW-Dampe r.4	۶
۳۰/۷	۱۸۱/۴	۳۴۴/۰	۷/۹	۲۶۸	۱۶۳	۴۶۵	۴۶۴	۲۶۵	۲۱۹	۴۶۵	۴۷۵	۰/۵	۲/۲۰	۱۹۱	۱۰۷	۷۶۳۱	۳۱۴۰	۷۴/۱	۹/۴	SPSW-Dampe r.5	۷
۳۳/۸	۱۳۲/۱	۴۶۴/۱	۱۰/۰	۲۷۴	۱۹۹	۴۷۰	۴۱۱	۲۷۴	۲۲۹	۴۷۰	۴۱۶	۰/۸	۲/۳۳	۲۰۷	۱۲۲	۸۲۰/۴	۳۴۸۱	۷۴/۸	۷/۵	SPSW-Dampe r.6	۸

۴-۱ تغییرات شکل پذیری و تغییر مکان در حالات مختلف

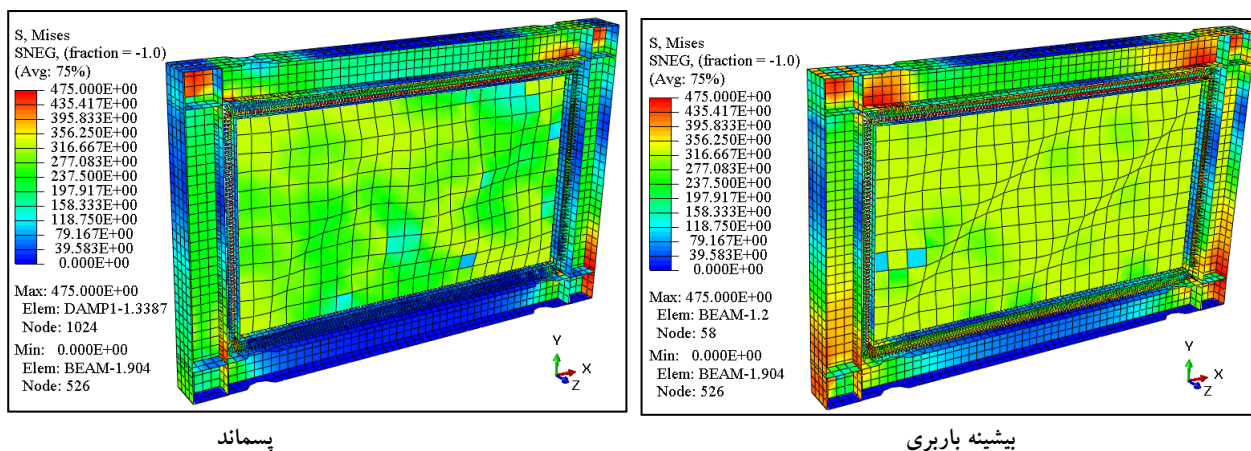
شکل پذیری نمونه‌های SPSW-DAMPER.1، SPSW-DAMPER.2، SPSW-DAMPER.3، SPSW-DAMPER.4، SPSW-DAMPER.5 و SPSW-DAMPER.6 نسبت به نمونه MF به ترتیب ۴/۰۵، ۳/۹۰، ۴/۱۴، ۴/۸۱، ۵/۳۸، ۳/۷۶ و ۴/۷۶ برابر افزایش یافت. مشهود است که در میان نمونه‌ها، نمونه SPSW-DAMPER.4 بیشترین و نمونه SPSW-DAMPER.5 کمترین شکل پذیری را دارا بوده است.

تغییر مکان خارج از صفحه دیوار در حالت بیشینه بارگذاری نمونه‌های با دیوار برشی پیرامونی و میراگر SPSW-DAMPER.1، SPSW-DAMPER.2، SPSW-DAMPER.3، SPSW-DAMPER.4، SPSW-DAMPER.5 و SPSW-DAMPER.6 نسبت به نمونه با دیوار برشی بدون میراگر SPSW به ترتیب ۲/۵٪ افزایش، ۳/۴٪ کاهش، ۵/۹٪ کاهش، ۱۰/۲٪ افزایش، ۹/۳٪ کاهش و ۳/۴٪ افزایش یافت. مشهود است که در میان نمونه‌ها، نمونه SPSW-DAMPER.4 بیشترین و نمونه SPSW-DAMPER.1 کمترین تغییرات را داشته است.

۴-۲ تحلیل نمونه SPSW-DAMPER.1

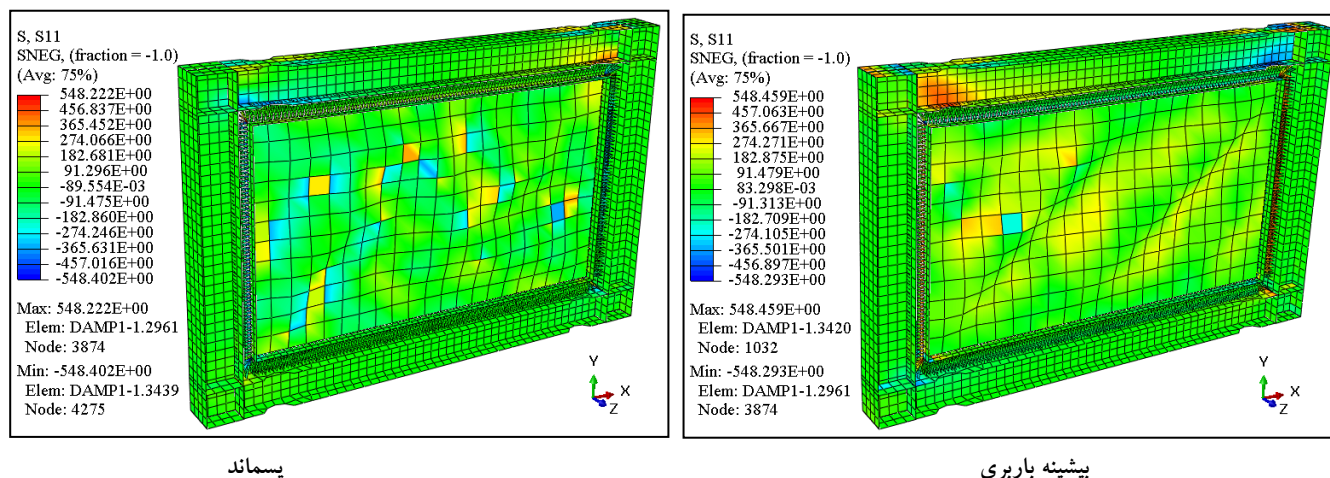
همان گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود مقادیر تنش مقاطع فولادی تیر و ستون و همچنین دیوار برشی فولادی نمونه SPSW-DAMPER.1 آورده شده است. بیشینه مقادیر تنش در باربری نهایی و در پایان بارگذاری در المان‌های انتهایی ستون، چشمه اتصال و ناحیه RBS تیر رخ داده است. مقادیر این تنش در حالت بیشینه بارگذاری و تنش پسماند در این نواحی تا مقدار ۴۷۵ مگاپاسکال رسیده

است. همچنین بیشینه مقدار این تنش در دیوار برشی فولادی در این دو مرحله برابر با ۳۲۸ مگاپاسکال حاصل شد. همان طور که مشاهده می شود کمترین میزان تنش در میانه تیرها و ناحیه یک سوم بالایی ستون ها رخ داده است.



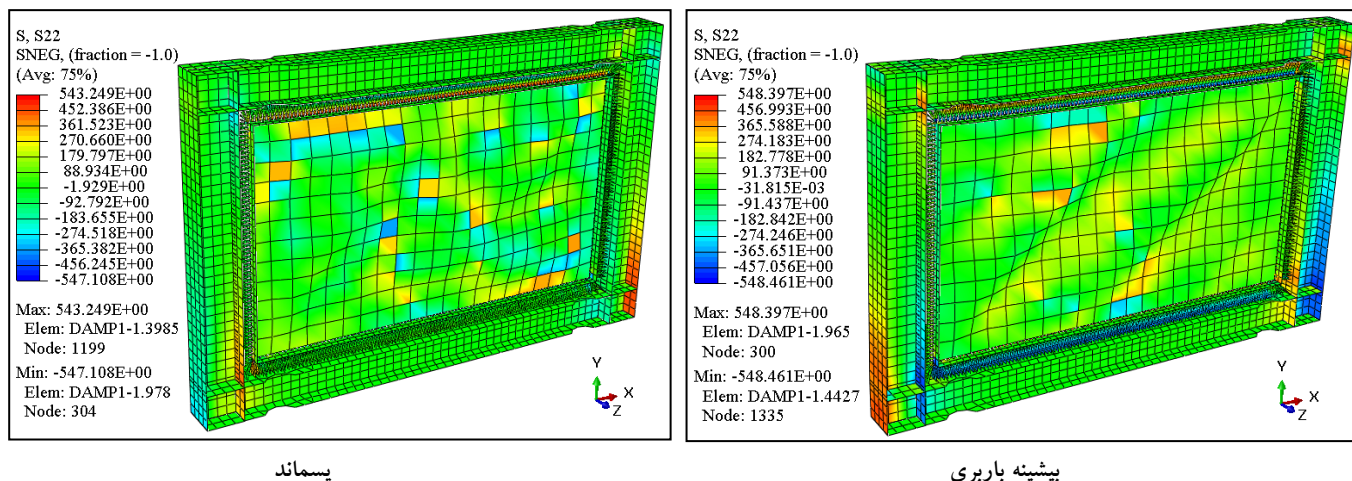
شکل ۴ مقادیر تنش نمونه SPSW-DAMPER.1

از نتایج تنش نرمال نمونه SPSW-DAMPER.1 در شکل ۵ نیز می توان مشاهده نمود که مقدار بیشینه تنش نرمال S11 در باربری نهایی برای المان های ناحیه RBS تیر و میراگرها و در پایان بارگذاری برای المان های ناحیه RBS و میراگرهای گوشه حاصل شد. مقادیر این تنش در ناحیه کششی و فشاری در حالت باربری نهایی ۵۴۸ مگاپاسکال و در حالت پایان بارگذاری به ترتیب برابر با ۵۴۸ مگاپاسکال گزارش شد.



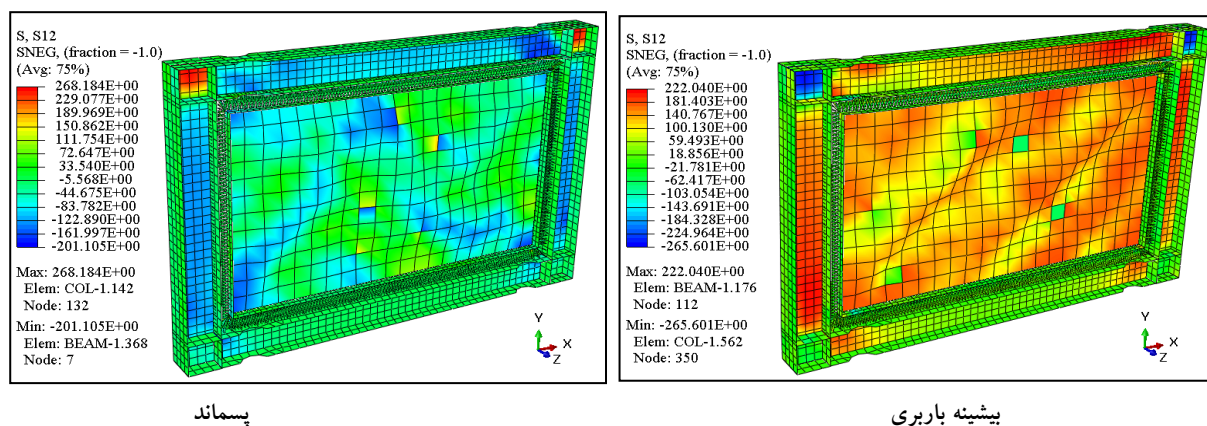
شکل ۵ مقادیر تنش نرمال S11 نمونه SPSW-DAMPER.1

مقدار بیشینه تنش نرمال S22 (شکل ۶) در باربری نهایی و در پایان بارگذاری برای المان های ناحیه انتهای ستون و میراگرها حاصل شد. مقادیر این تنش در ناحیه کششی و فشاری در حالت باربری نهایی به ترتیب برابر با ۵۴۸ مگاپاسکال و در حالت پایان بارگذاری به ترتیب برابر با ۵۴۳ و ۵۴۷ مگاپاسکال گزارش شد. به این ترتیب مقادیر تنش نرمال از مقادیر مجاز خود فراتر رفته و قاب وارد مرحله آسیب دیدگی شد.



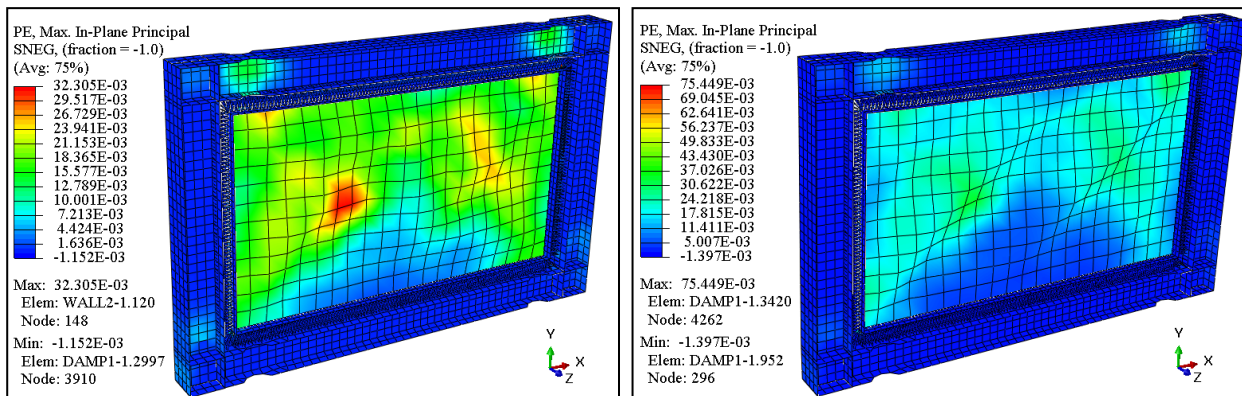
شکل ۶ مقادیر تنش نرمال S22 نمونه SPSW-DAMPER.1

مقادیر تنش برشی در باربری نهایی نمونه SPSW-DAMPER.1 در شکل ۷ به تصویر کشیده شد. مقدار بیشینه این تنش در حالت بیشینه بارگذاری برای جان ستون و جان تیر برابر ۲۲۲ مگاپاسکال و برای چشمه اتصال برابر ۲۵۶ مگاپاسکال حاصل شد. این تنش در حالت پسماند در برخی از المان‌های جان ستون و تیر برابر ۲۶۳ مگاپاسکال و برای چشمه اتصال برابر ۲۰۱ مگاپاسکال حاصل شد. همچنین مشاهده می‌شود که این تنش در دیوار در این دو مرحله به ترتیب برابر با ۱۸۱ و ۱۶۱ مگاپاسکال گزارش شد.



شکل ۷ مقادیر تنش برشی نمونه SPSW-DAMPER.1

از نتایج کرنش نمونه SPSW-DAMPER.1 در شکل ۸ نیز می‌توان مشاهده نمود که مقدار بیشینه کرنش در حالت باربری بیشینه و در حالت پسماند به ترتیب برابر با ۰/۰۷۵ و ۰/۰۳۲ برای المان‌های میراگر و المان‌های میانی دیوار حاصل شد.

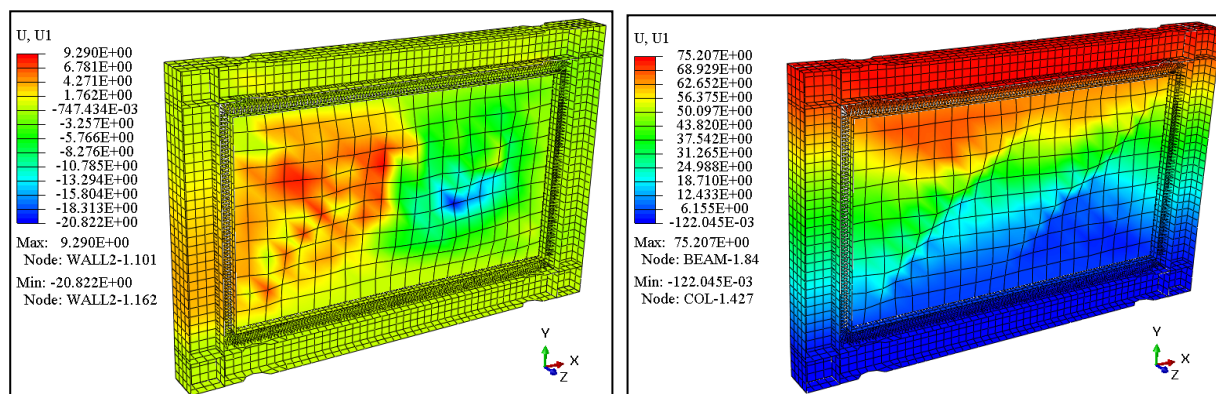


پسماند

بیشینه باربری

شکل ۸ مقادیر کرنش نمونه SPSW-DAMPER.1

در شکل ۹ نمایی از تغییرمکان جانبی نمونه موردنظر به تصویر کشیده شد. پیداست که نمونه موردنظر توانسته تا تغییرمکان جانبی ۷۵ میلی‌متر در حالت بیشینه بارگذاری و برابر ۲۱ میلی‌متر در حالت پسماند پدیدار شد.

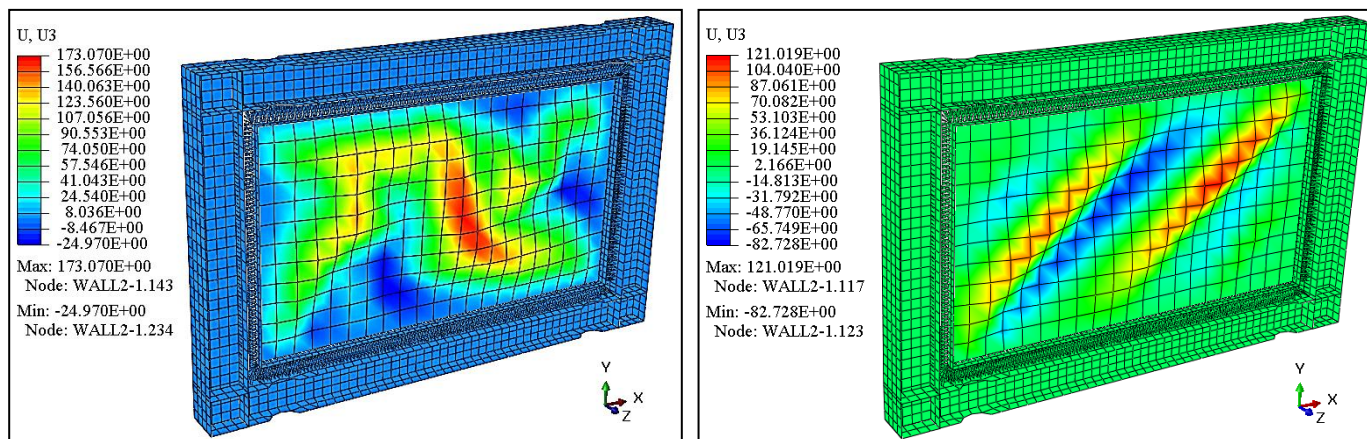


پسماند

بیشینه باربری

شکل ۹ مقادیر تغییرمکان جانبی SPSW-DAMPER.1

همچنین در شکل ۱۰ نمایی از تغییرمکان خارج از صفحه نمونه موردنظر به تصویر کشیده شد. از نتایج مشخص است که نمونه موردنظر توانسته تا تغییرمکان خارج از صفحه ۱۲۱ میلی‌متر در المان‌های دیوار در حالت بیشینه بارگذاری و برابر ۱۷۳ میلی‌متر در حالت پسماند پدیدار شد.

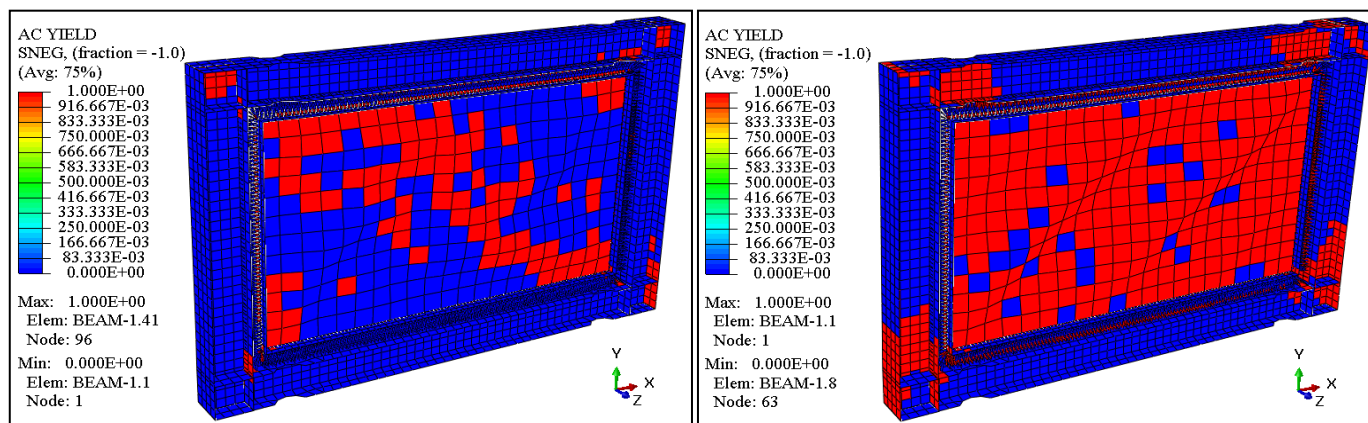


بیشینه باربری

پسماند

شکل ۱۰ مقادیر تغییر مکان خارج از صفحه SPSW-DAMPER.1

در شکل ۱۱ نسبت تنش تسلیم قاب نمونه SPSW-DAMPER.1 نمایش داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود نواحی چشمه اتصال قاب، ناحیه RBS تیر، نواحی انتهایی ستون، تعداد زیادی از المان های دیوار و همچنین تمامی میراگرهای پیرامونی، تنش در اعضا از حد مجاز فراتر رفته است که در این خروجی به خوبی می توان این امر را ملاحظه کرد. چه در حالت بیشینه باربری و چه در حالت پسماند با این تفاوت که تعداد المان های تسلیم شده کاهش یافته اند.



پسماند

بیشینه باربری

شکل ۱۱ مقدار نسبت تنش تسلیم نمونه SPSW-DAMPER.1

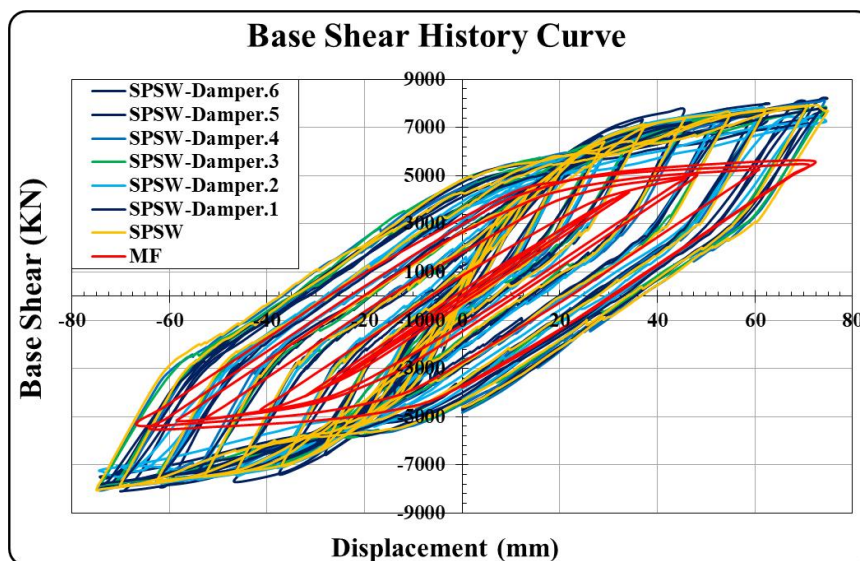
همان طور که ملاحظه می شود نمونه مورد نظر توانسته تا نیروی برش پایه برابر با ۳۱۳۴ کیلونیوتن در ناحیه الاستیک و همچنین تغییر مکان برابر با ۹/۱ میلی متر را تحمل کند. سپس نمونه مورد نظر وارد ناحیه غیرخطی شده و توانسته به نیروی برش پایه ۷۸۰۶ کیلونیوتن در این ناحیه با تغییر مکان ۷۴/۴ میلی متر تحمل نماید. در این لحظه نمونه مورد نظر کار خود را به پایان رسانده است. سختی جانبی الاستیک و سختی جانبی پلاستیک اولیه و ثانویه قاب نمونه مورد نظر نیز به ترتیب برابر با ۳۴۴/۴، ۱۵۲/۱ و ۳۶/۵ کیلونیوتن بر میلی متر گزارش شد.

۵- بحث و بررسی نتایج

پس از آنالیز خروجی های گرافیکی حاصل از نمونه های مختلف، منحنی های مختلف استخراج و مقایسه بین نتایج انجام شد. در ادامه نتایج کلی مورد بررسی قرار گرفته است.

۵-۱ نتایج تحلیل چرخه ای همه نمونه ها

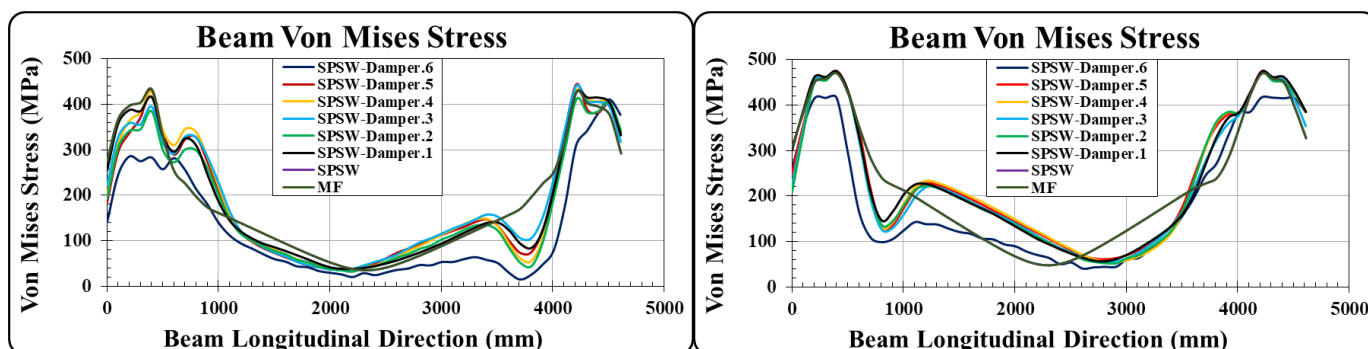
در شکل ۱۲ مقایسه و ارزیابی منحنی های نیروی برش پایه-تغییر مکان جانبی بام نمونه های مورد مطالعه به تصویر کشیده شده است. همانگونه که در نتایج به دست آمده از تحلیل مشاهده می شود سختی الاستیک نمونه های SPSW، SPSW-DAMPER.1، SPSW-DAMPER.2، SPSW-DAMPER.3، SPSW-DAMPER.4، SPSW-DAMPER.5، SPSW-DAMPER.6 و نسبت به نمونه MF به ترتیب ۳/۲۵، ۲/۷۳، ۳/۱۰، ۳/۱۸، ۳/۴۱، ۲/۶۴ و ۵/۱۲ برابر افزایش یافته است. همچنین مشاهده می شود سختی پلاستیک اولیه نمونه های SPSW، SPSW-DAMPER.1، SPSW-DAMPER.2، SPSW-DAMPER.3، SPSW-DAMPER.4، SPSW-DAMPER.5 و SPSW-DAMPER.6 نسبت به نمونه MF به ترتیب ۴/۱۹، ۴/۴۰، ۳/۷۱، ۳/۰۳، ۴/۴۳، ۵/۲۴ و ۳/۸۲ برابر افزایش یافته است.

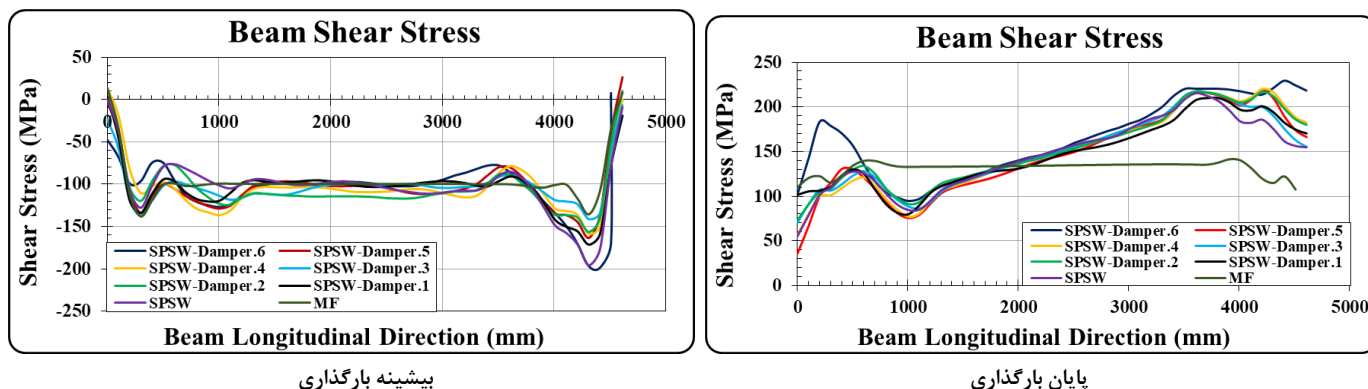


شکل ۱۲ مقایسه منحنی‌های نیروی برش پایه-تغییر مکان جانبی نمونه‌های مورد مطالعه

۵-۲ نتایج تنش فون مایسز و تنش برشی همه نمونه ها

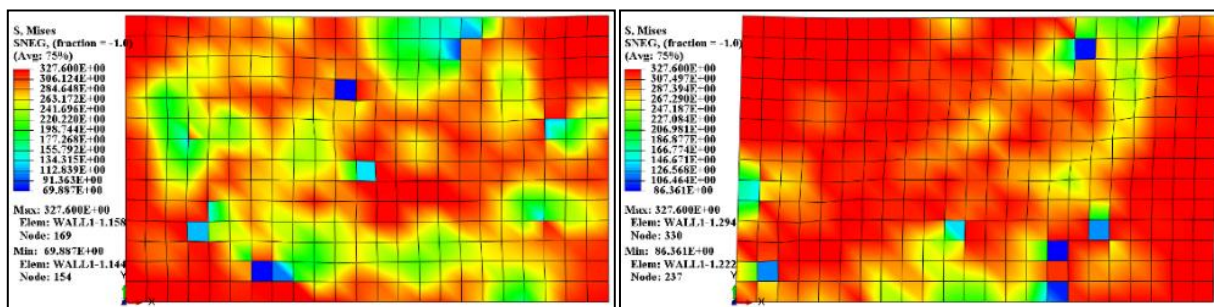
در شکل ۱۳ نمودار تنش فون مایسز و تنش برشی در بیشینه و پایان بارگذاری حالات ۸ گانه قاب مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود مقایسه منحنی‌های تنش فون مایسز و تنش برشی تیرهای بالایی نمونه‌های مورد مطالعه در حالت بیشینه بارگذاری و پسماند در معرض نمایش قرار داده شده است. می‌توان نتیجه گرفت که به جز در نمونه MF با افزودن میراگرهای پیرامونی به قاب دارای دیوار برشی علاوه بر حفظ پایداری قاب، میراگرها توانسته‌اند توزیع تنش از دیوار به قاب را پس از مستهلک کردن مقداری از انرژی ورودی، به خوبی انجام دهد. در شکل ۱۴ مقایسه توزیع تنش در دیوار برشی فولادی در هر دو حالت نشان داده شد. مشهود است که دیوار برشی نمونه SPSW-DAMPER.1 بیشترین ظرفیت باربری خود را در حالت بیشینه بارگذاری عرضه کرده است ضمن این که این نمونه توانسته مقادیر تنش پسماند بیشتری را در پایان بارگذاری آزاد کند. همانگونه که در نتایج به دست آمده از تحلیل مشاهده می‌شود نیروی برش پایه در حالت پلاستیک برای نمونه‌های SPSW، SPSW-DAMPER.1، SPSW-DAMPER.2، SPSW-DAMPER.3، SPSW-DAMPER.4، SPSW-DAMPER.5 و SPSW-DAMPER.6 نسبت به نمونه MF به ترتیب ۴۰٪، ۴۴٪، ۳۶٪، ۴۶٪ افزایش یافته است.



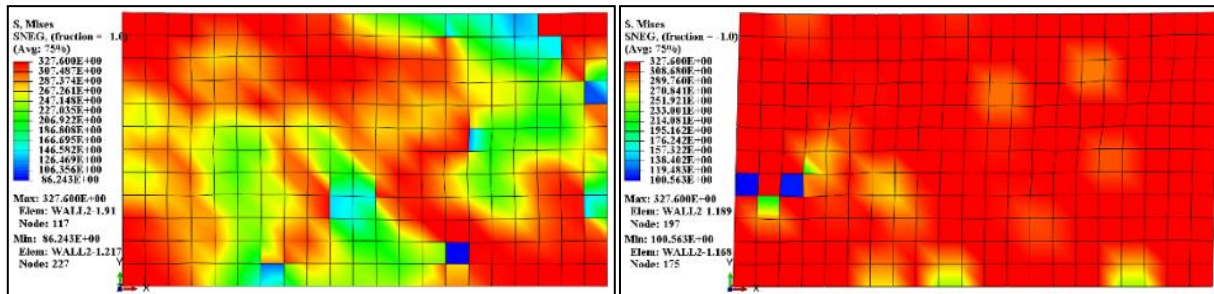


شکل ۱۳ مقایسه منحنی‌های تنش فون مایسز و تنش برشی تیرهای بالایی نمونه‌های مورد مطالعه در حالت بیشینه بارگذاری و پسماند

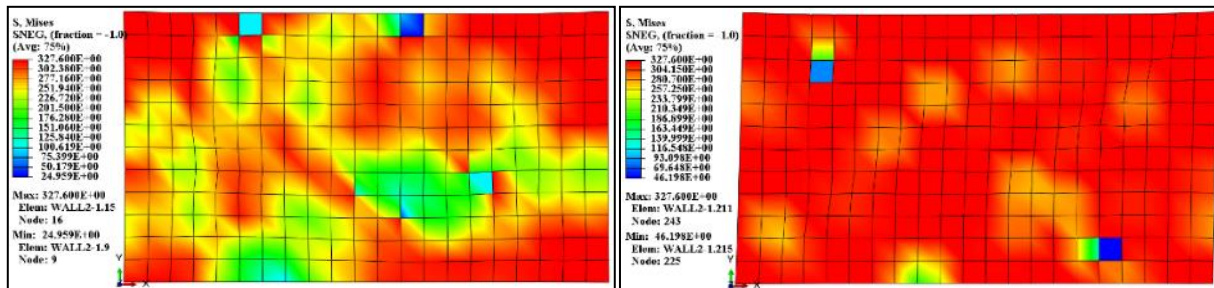
در شکل ۱۴ مقایسه توزیع تنش در دیوار برشی فولادی ارائه شده و در شکل ۱۵ مقایسه منحنی‌های تنش فون مایسز و تنش برشی دیوارهای برشی فولادی نمونه‌های مورد مطالعه در حالت بیشینه بارگذاری و حالت پسماند مشاهده می‌شود. از نتایج پیداست با افزودن میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی و تغییر وضعیت در موقعیت و جهت آن‌ها تغییراتی در وضعیت توزیع تنش در دیوار برشی فولادی رخ می‌دهد. به گونه‌ای که بیشترین تغییرات تنش برشی در نمونه‌های SPSW-DAMPER.2 و SPSW-DAMPER.6 در حالت بیشینه بارگذاری و برای نمونه‌های SPSW-DAMPER.1 و SPSW-DAMPER.2 در حالت پسماند گزارش شد. همچنین بیشترین تغییرات تنش فون مایسز در نمونه‌های SPSW-DAMPER.2 در حالت بیشینه بارگذاری و برای نمونه‌های SPSW-DAMPER.3، SPSW-DAMPER.5 و SPSW-DAMPER.6 در حالت پسماند گزارش شد.



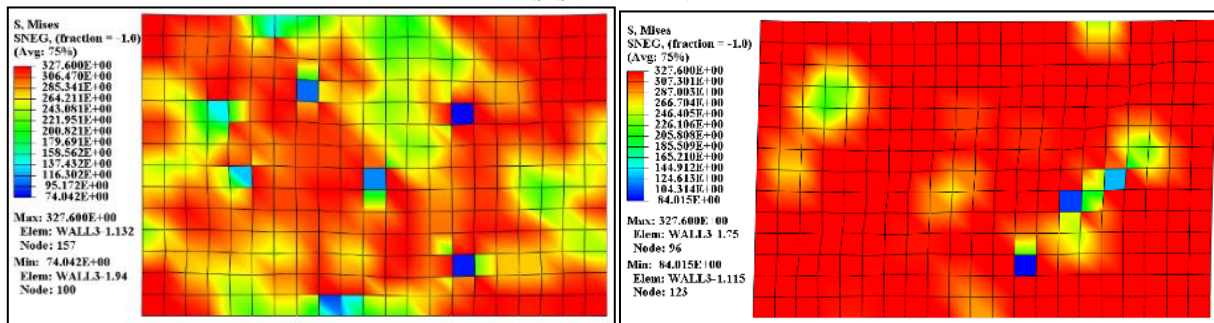
SPSW



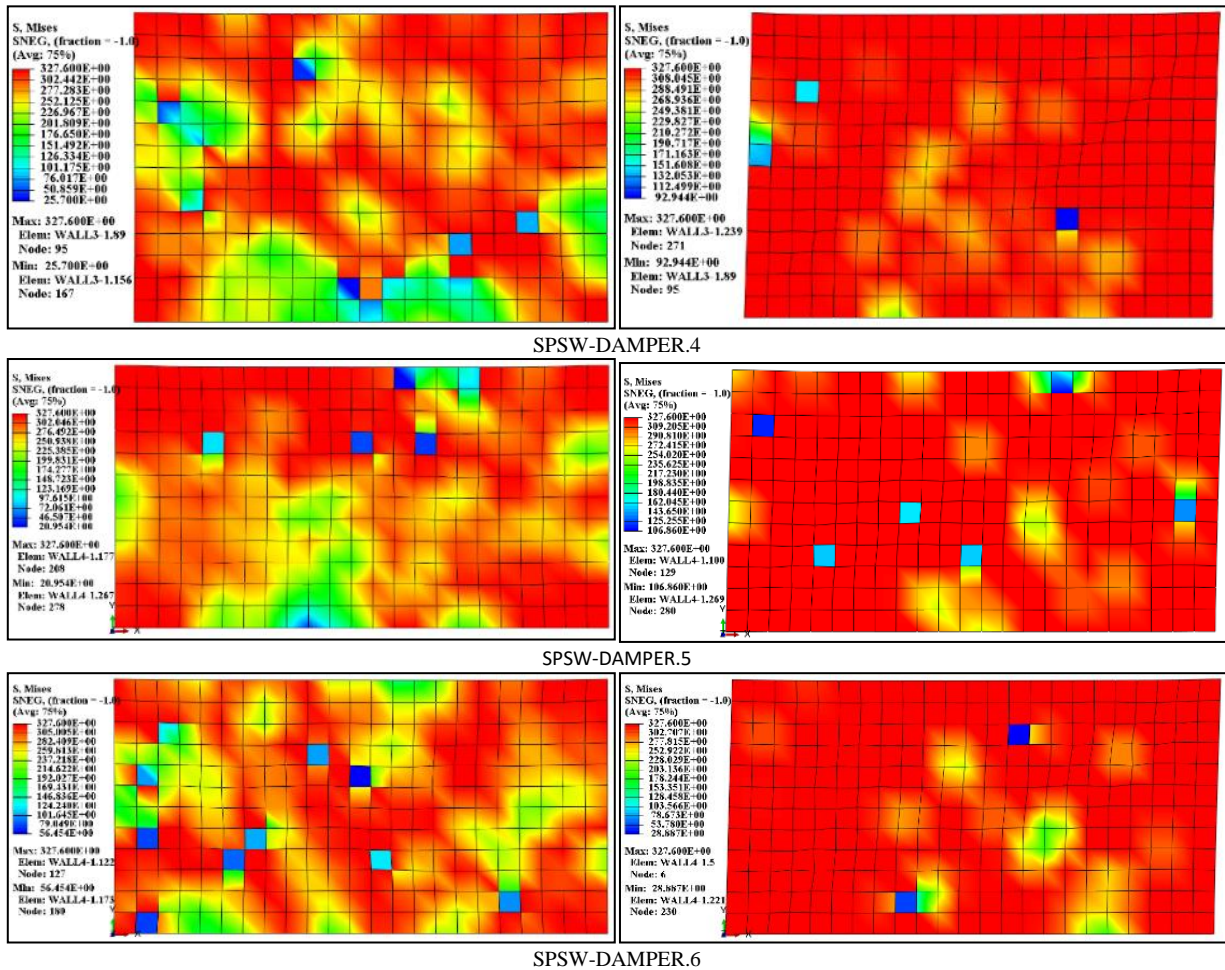
SPSW-DAMPER.1



SPSW-DAMPER.2



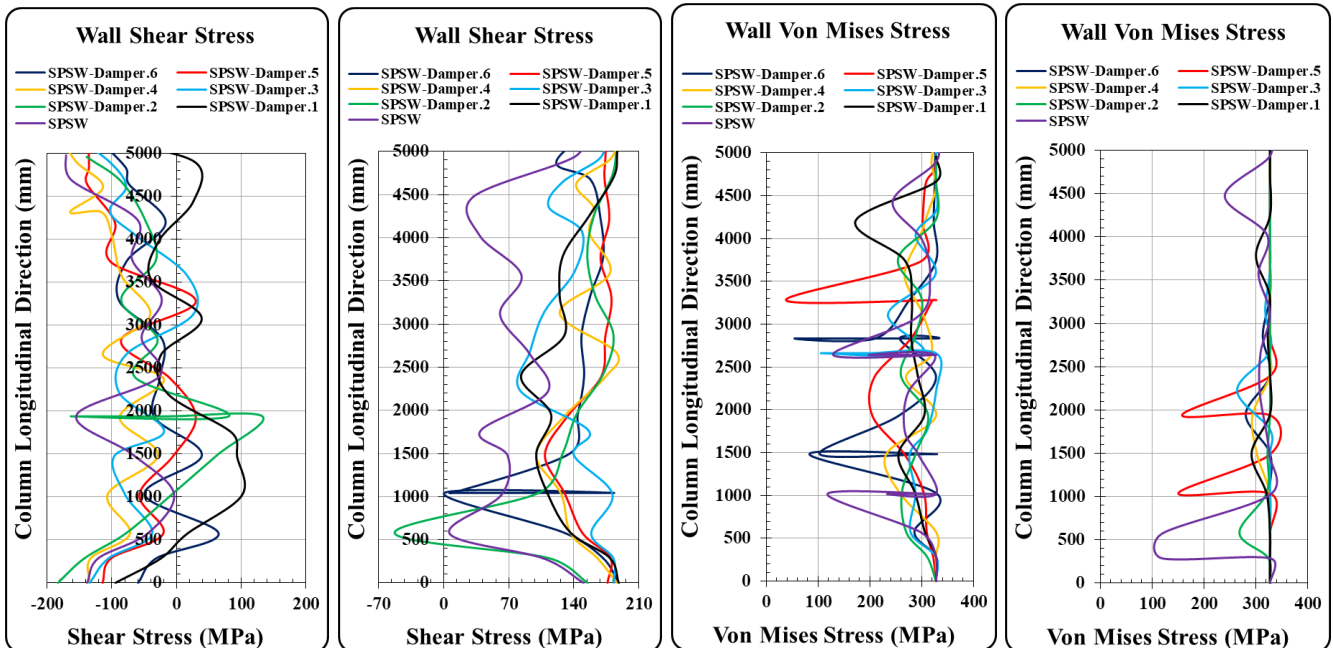
SPSW-DAMPER.3



بیشینه بارگذاری

پایان بارگذاری

شکل ۱۴ مقایسه توزیع تنش در دیوار برشی فولادی



شکل ۱۵ مقایسه منحنی های تنش فون مایسز و تنش برشی دیوارهای برشی فولادی نمونه های مورد مطالعه در حالت بیشینه بارگذاری و حالت پسماند

۶- نتیجه گیری

پس از بررسی نمودار ظرفیت باربری نمونه‌ها در نتایج به دست آمده از تحلیل مشاهده می‌شود که:

۱- شکل پذیری نمونه‌های دارای دیوار برشی پیرامونی نسبت به نمونه قاب خمشی فاقد دیوار برشی و میراگر تا ۵/۳۸ برابر افزایش یافته است. نتایج نشان داد که در میان نمونه‌های با دیوار برشی پیرامونی و میراگر تسلیم‌شونده پیرامونی فولادی، نمونه SPSW-DAMPER.4 (با میراگرهای تنها متصل به تیر و ورق میراگر هم‌راستا با ورق دیوار) بیشترین و نمونه SPSW-DAMPER.5 (با میراگرهای تنها متصل به ستون و ورق میراگر عمود بر ورق دیوار) کمترین شکل پذیری را دارا می‌باشند.

۲- تغییر مکان خارج از صفحه دیوار در حالت پیشینه بارگذاری نمونه‌های دارای دیوار برشی پیرامونی و میراگر تسلیم‌شونده نسبت به نمونه دارای دیوار برشی فاقد میراگر در برخی حالات (۶ و ۴ و ۱) تا ۱۰/۲ درصد افزایش و در برخی دیگر (۳ و ۲ و ۵) تا ۹/۳ درصد کاهش یافته است. مشهود است که در میان نمونه‌ها، نمونه SPSW-DAMPER.4 (با میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی فولادی تنها متصل به تیر با ورق هم‌راستا با ورق دیوار) بیشترین افزایش و نمونه SPSW-DAMPER.1 (با میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی فولادی متصل به تیر و ستون با ورق میراگر عمود بر ورق دیوار) کمترین افزایش را داشته است.

۳- از نتایج توزیع تنش می‌توان نتیجه گرفت که میراگرهای پیرامونی عمود بر صفحه دیوار نسبت به میراگرهای پیرامونی هم‌راستا با دیوار تنش برشی کمتری را به تیرها و ستون‌ها (المان‌های مرزی قاب) وارد می‌کند.

۴- در نمونه‌های دارای میراگرهای پیرامونی هم‌راستا با صفحه دیوار نسبت به میراگرهای پیرامونی عمود بر صفحه دیوار، دررفت به دست آمده در دو حالت پیشینه بارگذاری و حالت پسماند کمتر مشاهده شد.

۵- استفاده از میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی عمود بر صفحه دیوار وقتی که میراگرهای پیرامونی تنها به تیرها متصل است منجر به بهبود عملکرد و کاهش تغییر مکان خارج از صفحه دیوار، افزایش تغییر مکان الاستیک قاب، کاهش سختی قاب و کاهش دررفت قاب شد. از سویی دیگر استفاده از میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی هم‌راستا با صفحه دیوار وقتی که میراگرهای پیرامونی تنها به تیرها متصل است منجر به بهبود عملکرد و افزایش سختی الاستیک و پلاستیک قاب، افزایش جذب نیرو در ناحیه الاستیک و پلاستیک قاب در روند باربری شد.

۷- پیشنهاد مطالعات آتی

در این بخش به ارائه پیشنهادهایی به منظور انجام مطالعات آتی پرداخته شده است.

- ✓ ارزیابی عددی رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی دارای سیستم دیوار برشی فولادی دارای میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی تحت تحلیل شتاب‌نگاشت‌های دور و نزدیک به گسل.
- ✓ انجام پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزارهای غیرخطی دیگر مانند ANSYS یا LS-DYNA و مقایسه نتایج حاصل از آن‌ها با یکدیگر.
- ✓ ارزیابی عددی ساختمان‌های فولادی دارای سیستم دیوار برشی فولادی دارای میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی با تغییر در هندسه میراگر و بررسی نتایج حاصل از آن‌ها با پژوهش حاضر.
- ✓ ارزیابی عددی ساختمان‌های فولادی دارای سیستم دیوار برشی فولادی دارای میراگرهای تسلیم‌شونده پیرامونی در برابر انفجارهای تروریستی و نیز آتش.

مراجع

- [1] Petkune, N., Donchev, T., Hadavinia, H., Limbachiya, M., & Wertheim, D. (2016). Performance of pristine and retrofitted hybrid steel/fibre reinforced polymer composite shear walls. *Construction and Building Materials*, 117, 198-208.
- [2] Azhari, M and Mir Qadri, R. (2019) *Design of steel structures*. The fourth volume. Arkan Danesh Publications. First edition spring.
- [3] Shahi, P and Moeidi, S. (2017). Investigation of the behavior of the most optimal stiffeners in steel shear wall with opening, *International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development Management in Iran, Tehran*, Maragheh University of Technology in collaboration with Tabriz University- Shahid Madani University of Azerbaijan.
- [4] Ghosh, S., & Kharmale, S. B. (2010). Research on steel plate shear wall: past, present and future. *Structural steel and castings: shapes and standards, properties and applications*. Nova Science Publishers Inc., Hauppauge, USA.
- [5] Garivani, S., Aghakouchak, A. A., & Shahbeyk, S. (2016). Numerical and experimental study of comb-teeth metallic yielding dampers. *International Journal of Steel Structures*, 16(1), 177-196.
- [6] Mohammad Moradi, H., Hosseini Hashemi, B., & Jafari, M. A. (2019). Improvement of Steel Shear Wall Behavior Based on Link Beam Approach. *Bulletin of Earthquake Science and Engineering*, 6(4), 75-85.
- [7] Ghassemieh M, Bamshad O. (2019). Deterioration hysteresis model for steel plated shear wall system. *MCEJ*; 19 (5):15-28.
- [8] Pourhasan shahri M, Mansouri A. (2020). Investigation on the influence of edge stiffeners on the seismic behavior of steel plate shear walls connected to frame beams only (SSW-BO). *Journal of Structure & Steel*; 14 (29): 65-72.
- [9] Teruna, D. R., Majid, T. A., & Budiono, B. (2015). Experimental study of hysteretic steel damper for energy dissipation capacity. *Advances in Civil Engineering*, 2015.
- [10] Saghafi, M. H., Golafshar, A., Yahyae, A., & Zareian, M. S. (2019). Analytical assessment of reinforced concrete frames equipped with TADAS dampers. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 7(2), 138-151
- [11] Yang, T. Y., Li, T., Tobber, L., & Pan, X. (2020). Experimental and numerical study of honeycomb structural fuses. *Engineering Structures*, 204, 109814.
- [12] Chukka, N. D. K. R., & Krishnamurthy, M. (2020). Seismic performance assessment of structure with hybrid passive energy dissipation device. In *Structures* (Vol. 27, pp. 1246-1259). Elsevier.
- [13] Cui, J. C., Xu, J. D., Xu, Z. R., & Huo, T. (2020). Cyclic behavior study of high load-bearing capacity steel plate shear wall. *Journal of Constructional Steel Research*, 172, 106178.
- [14] Farahbakhshooli, A., & Bhowmick, A. K. (2021). Nonlinear seismic analysis of perforated steel plate shear walls using a macro-model. *Thin-Walled Structures*, 166, 108022.