



Investigating the Impact of Steel Sheet Thickness on the Performance of Steel Plate Shear Wall System

Saeid heidari^{۱*}

^۱-PHD of structural engineering, Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran

Email:

saeid.heidari^{۱۳۵۸.۷.۱}@gmail.com

Abstract

In recent years, researchers have regarded the steel shear wall system as one of the systems resistant to lateral loads. Among the conditions that cause openings in steel shear walls are architectural necessities and non-structural considerations such as the arrangement of installation systems. In this paper, twelve models of steel shear walls with circular openings are analyzed by examining cross-stiffeners with opening and without opening, respectively. To this end, an open steel shear wall under a reinforcement state with a diagonal stiffener has been examined in this paper. Accordingly, the results of a laboratory sample are compared with the results of the sample modeled in the finite element software to ensure the accuracy of the finite element modeling and analysis method. In this paper, we resolved that steel shear walls with greater thickness and by strengthening the steel shear walls with the opening improve the strength and stiffness, along with decreasing the buckling occurring outside the system plate. The results indicate that the diagonal hardener holds a greater impact on increasing the shear capacity and stiffness of the system, while also this type of reinforcement is more suitable in controlling off-plate displacement and stress distribution in the wall filler sheet.

Keywords:

Steel shear wall, energy absorption, hysteresis curve, diagonal stiffener

All rights reserved to Civil & Project Journal.



www.cpjournals.com

نشریه عمران و پروژه Civil & Project Journal (CPJ)

بررسی تاثیر ضخامت ورق فولادی در رفتار سیستم دیوار برشی فولادی

سعید حیدری^{*}

۱-دکتری مهندسی سازه، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران

ایمیل:

saeid.heidari1358.7.1@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۳۱

چکیده

در سال‌های اخیر، محققین سیستم دیوار برشی فولادی بعنوان یکی از سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی مورد توجه قرار دادند. از جمله عوامل ایجاد بازشو در دیوارهای برشی فولادی نیازهای معماری و ملاحظات غیرسازه‌ای نظیر عبور سیستم‌های تاسیساتی می‌باشند. در این مقاله، ۱۲ مدل دیوار برشی فولادی با بازشو دایره‌ای با در نظر گرفتن سخت‌کننده‌های ضربدری با بازشو و بدون بازشو تحلیل شده است. بدین منظور در این مقاله دیوار برشی فولادی بازشودار در حالت تقویت با سخت‌کننده قطری مورد مطالعه قرار گرفته است. لذا برای اطمینان از صحت روش مدلسازی و تحلیل اجزاء محدود، نتایج یک نمونه آزمایشگاهی با نتایج نمونه مدل شده در نرم‌افزار اجزاء محدود مقایسه شده است. در این مقاله ما به این نتیجه رسیدیم که دیوار برشی فولادی با ضخامت‌های بیشتر و با تقویت دیوار برشی فولادی بازشودار باعث افزایش مقاومت و سختی و کاهش کمانش خارج از صفحه سیستم می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که سخت‌کننده قطری اثر بیشتری در افزایش ظرفیت برشی و سختی سیستم دارد و همچنین این نوع تقویت، در کنترل تغییر مکان‌های خارج از صفحه و توزیع تنش در ورق پرکننده دیوار مناسب تر عمل می‌کند.

کلمات کلیدی: دیوار برشی فولادی، جذب انرژی، منحنی هیستریزس، سخت‌کننده قطری

۱. مقدمه

دیوار برشی فولادی درواقع شبیه یک تیر ورق است که به صورت عمودی تمام ارتفاع ساختمان را گرفته است. دیوار برشی فولادی سختی بالا و قابلیت شکل پذیری بالایی دارند. امروزه سختی، شکل پذیری خوب و جذب انرژی مناسب دیوارهای برشی فولادی باعث شده که بسیاری از محققان مطالعات خود را بر روی دیوار برشی فولادی قرار داده اند (Sabouri, ۱۹۹۲; Elgaaly, ۱۹۹۳; Kulak, ۱۹۹۸; Driver, ۱۹۹۸). با توجه به اینکه امروزه آپارتمان سازی گسترش پیدا کرده است لذا این ساختمان های چندین طبقه بایستی قادر به تحمل بارهای ناشی از زلزله و باد شدید باشند. بنابراین وجود سیستم های باربر جانبی مقاوم در آنها ضرورت پیدا میکند. از عوامل دخیل در انتخاب یک سیستم باربر جانبی بخصوص، میتوان از لحاظ معماری و زیبایی ساختمان تا مسایل اقتصادی اشاره کرد. از متداولترین سیستم های مقاوم باربر جانبی در ساختمان های بلند می توان، قابهای خمشی، قابهای مهاربندی شده، دیوارهای برشی و سیستم های لوله ای را نام برد. در ساختمان های حدود ۲۰ طبقه معمولاً قابهای خمشی مفید هستند، در حالی که در ساختمانهای بلندتر از ۴۰ طبقه سیستم های لوله ای که متشکل از ستونهای قرار گرفته شده با فاصله کم در محیط ساختمان می توانند کارایی داشته باشند. همچنین قابهای مهاربندی شده و دیوارهای برشی معمولاً در ساختمانهای ۴۰ طبقه دیده می شوند. علاوه بر اینها دربرخی موارد، قابهای خمشی و مهاربندها بصورت ترکیبی با دیوارهای برشی بکار می روند که منجر به ترکیب مزایای هر دو سیستم شده و بدین طریق، رفتار کلی سیستم بهینه می شود (Hyo Seon, ۲۰۰۲; Topkaya, ۲۰۰۹; Hong, ۲۰۰۷; Sabouri, ۲۰۰۵; Sabouri, ۱۹۹۲). در سه دهه اخیر در ساختمان های بلند برای گرفتن نیروهای جانبی زلزله و باد از دیوارهای برشی فولادی استفاده می شود (Abedi Karim, ۲۰۰۸). دیوارهای برشی فولادی از نظر ساختاری، سیستمی بسیار ساده و بدون هیچگونه پیچیدگی خاصی هستند. دیوارهای برشی فولادی جایگزینی تمیزتر و سریعتر به لحاظ اجرایی و مطمئن تر به لحاظ مقاومت و رفتار برای دیوارهای برشی بتنی نه تنها در سازه های فولادی بلکه در سازه های بتنی می باشد. همچنین سیستم مذکور از همه خصوصیات خوب سیستم های مهاربندهای متمرکز CBF و سیستم های خارج از مرکز EBF به لحاظ اجرایی، کارایی و رفتاری بهره مند بوده و در بسیاری موارد بهتر عمل می نماید (Seismic improvement instructions, ۲۰۰۶). این سیستم از نظر سختی از سخت ترین سیستم های مهاربندی X شکل، سخت تر بوده و با توجه به امکان بازشو در هر نقطه از آن، کارایی همه سیستم های مهاربندی را از این نظر دارا می باشد. بعلاوه رفتار سیستم در محیط پلاستیک و میزان جذب انرژی آن نسبت به سیستم های مهاربندی بهتر است (Seismic improvement instructions, ۲۰۰۶).

۲- نحوه ایجاد یک مدل تحلیلی

برای ایجاد یک مدل تحلیلی در چند مرحله مشخصات طرح بایستی تعیین گردد. در مرحله نخست باید حالت عمومی سازه جهت مدل شدن مشخص گردد و به دنبال آن رفتار مصالح تشکیل دهنده سازه برای برنامه تعریف گردند. از جمله مسائل مهم و مرتبط با رفتار مصالح معیارهای تسلیم و سخت شوندگی و چگونگی رسیدن به مرحله پلاستیک مصالح می باشد. در مرحله بعد اجزای تشکیل دهنده سازه با توجه به هندسه جنس مشخص تعریف می گردند. نوع اجزا مشخص کننده و بیانگر عملکرد سیستم خواهد بود. انتخاب نوع اجزاء باید بر اساس آشنایی کامل با هر یک از اجزاء تعریف شده در برنامه، رفتار هر یک از آنها تحت بارهای اعمالی، محل استفاده جزء در مدل، ابعاد نسبی اجزاء مختلف و تجربه

کاربرد نتایج حاصل از تحلیل های مشابه باشد. پس از ایجاد اجزای مدل، اجزا را جهت تشکیل یک سازه اسمبل نموده و در نهایت شرایط مرزی لازمه را برای مدل تعریف کرده و بارگذاری نموده و آماده برای تحلیل میگردد.

۲-۱- مدل سازی مصالح مصرفی

تمام مصالح فولاد بکار رفته در نمونه ها به صورت ایزوتروپیک با رفتار غیرالاستیک سخت شونده دو خطی می باشد، که رفتار در کشش و فشار به صورت یکسان و سطح تسلیم فون- میسز به عنوان ضابطه تسلیم پذیرفته شده است. مشخصات مصالح بکار رفته در المانهای مرزی و ورق پرکننده نمونه ها مطابق با مشخصات مصالح بکار رفته در آزمایشات دکتر ناطقی- علوی در پژوهشگاه زلزله شناسی به صورت جدول ۴-۱ می باشد. نمودارهای ۴-۱ و ۴-۲ به ترتیب منحنی تنش- کرنش مصالح فولاد ورق پرکننده و مدول الاستیسیته فولاد 10^8 kg/m^2 و 10^8 kg/m^2 و تنش تسلیم 10^{11} N/m^2 و 10^{11} N/m^2 و ضریب پواسون 0.3 و 0.3 لحاظ شده است. در نمودار ۴-۲ شیب قسمت اول نمودار یعنی مدول الاستیسیته فولاد 10^{11} N/m^2 و 10^{11} N/m^2 و تنش تسلیم 10^8 kg/m^2 و 10^8 kg/m^2 و ضریب پواسون 0.3 و 0.3 لحاظ شده است.

۲-۳- روش تحلیل

در روش تحلیل تغییر شکلهای کوچک و کرنشهای کوچک، فرض می گردد که جابجایی ها به اندازه ای کوچکند که تغییر ایجاد شده در سختی سیستم قابل صرف نظر است. در مقابل در روش تحلیل تغییر شکل های بزرگ، تغییر سختی حاصل از تغییر شکل و جهت المانها در نظر گرفته می شود. در واقع در این حالت ماتریس سختی سازه، تابع جابجایی خواهد بود. ABAQUS می تواند چهار نوع رفتار غیرخطی هندسی را در نظر بگیرد که عبارتند از:

۱- کرنشهای بزرگ: در این حالت فرض معمول کرنشهای کوچک در نظر گرفته نمی شود و تغییر در سطح و ضخامت در محاسبات لحاظ می گردد. در این حالت تغییر شکل ها و دوران ها می توانند کوچک یا بزرگ باشند.

۲- دوران های بزرگ: در این حالت فرض می شود که دوران ها بزرگ هستند ولی برای محاسبه کرنشهای مکانیکی که تنشها از آنها محاسبه می شوند، از توابع خطی استفاده می گردد. تغییر شکلهای سازه در این حالت فقط از حرکت جسم صلب ناشی می گردد.

۳- سخت کنندگی در اثر تنش: این حالت که سخت کنندگی هندسی نیز نامیده میشود، سخت شدن یا نرم شدن سازه در اثر وضعیت تنش های داخلی را در نظر می گیرد. این اثر باید به طور معمول، برای اعضای که سختی خمشی و یا خارج از صفحه ای اندکی نسبت به سختی محوری و یا درون صفحه ای خود دارند، مانند ستون های لاغر، کابل ها و پوسته های نازک در نظر گرفته شوند.

در تحلیل غیرخطی مادی (مصالح)، اثرات مربوط به تغییرات سختی سازه در اثر خواص و رفتار مصالح در تحلیل در نظر گرفته می شود. ABAQUS می تواند انواع مختلفی از خواص غیرخطی مادی را در دماهای مختلف در نظر بگیرد. این خواص در محدوده تحلیل های مکانیک جامدات و سازه شامل موارد زیر می باشد.

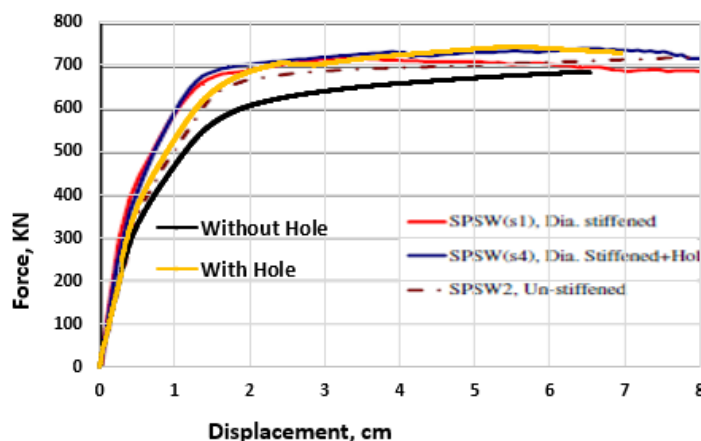
خمیری شدن غیر وابسته به زمان: که در آن تغییرشکلهای خمیری به سرعت بارگذاری بستگی ندارد. در این مواد با رسیدن تنش به حد مشخصی، تغییرشکلهای برگشت ناپذیری درماده اتفاق می افتد. مانند فولاد یا بسیاری از فلزات که می توانند از قوانین سخت شدگی مختلفی پیروی نمایند.

۱- خمیری شدن وابسته به زمان : که در آن ایجاد تغییرشکل های خمیری به سرعت بارگذاری بستگی دارد. مانند مواد ویسکوالاستیک (شیشه) و ویسکوپلاستیک.

۲- رفتار خمیری غیر وابسته به زمان تابع سه عامل معیار تسلیم، قانون جریان و قواعد سخت شدگی کرنش می باشد.

۳-۱- منحنی تغییر مکان حاصل و ارزیابی مدل

در این مقاله بار- تغییر مکان حاصل از تحلیل اجزاء محدود غیرخطی مدل و نتایج آزمایشگاهی ارائه شده توسط دکتر ناطقی و عرفان علوی در شکل ۱ مقایسه شده است. بر طبق شکل ۱ مدل تحلیلی اجزای محدود در برآورد ظرفیت برشی واقعی سیستم دقت نسبتاً خوبی داشته و رفتار غیرخطی سیستم را در حد مناسبی شبیه سازی نموده است.

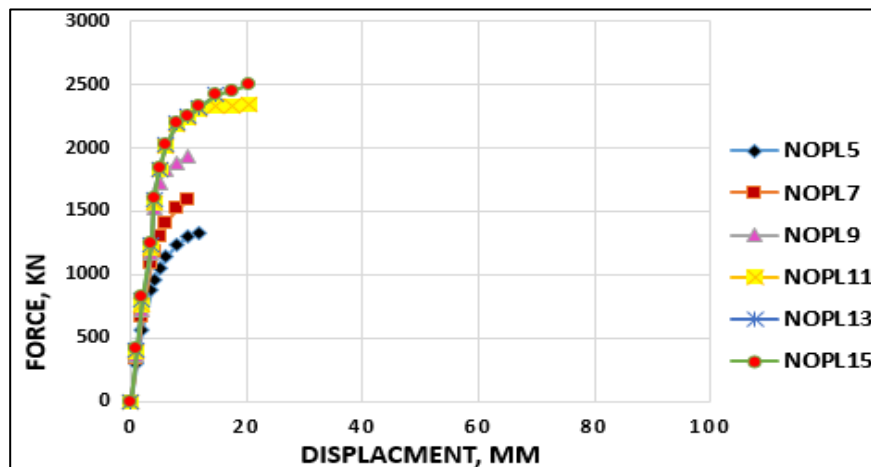


شکل ۱- منحنی - بار تغییر مکان حاصل از تحلیل اجزاء

۳-۲- بررسی تاثیر ضخامت در رفتار پانل دیوار برشی

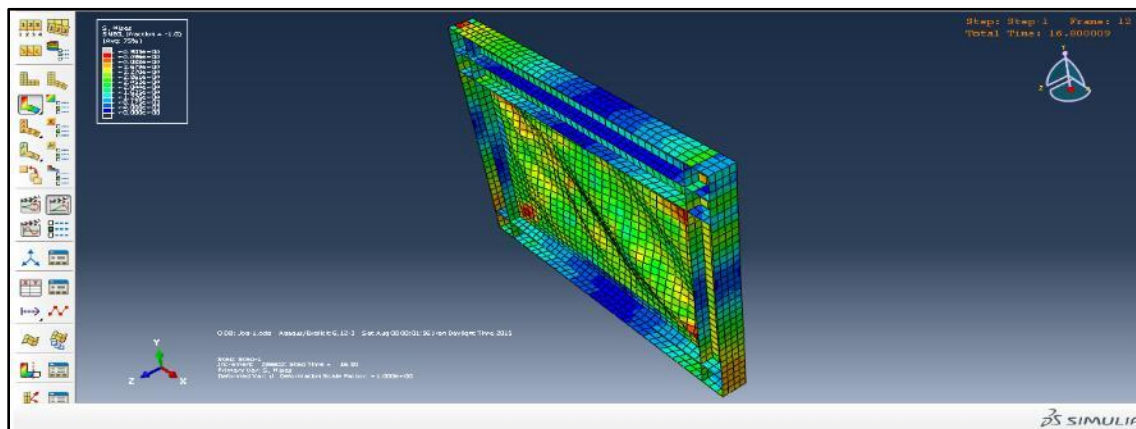
با استفاده از نسبت عرض ورق فولادی به ضخامت می توان نسبت لاغری دیوار را تعریف کرد . در این مقاله برای بررسی نسبت های لاغری مختلف ، ابتدا تحلیل هایی بر روی ۶ نمونه بصورت بدون بازشو انجام گرفته است. نتایج بدست آمده از آنالیز المان ، بصورت مقایسه ای در نمودار ۱ نشان داده شده است.

علائم بکار رفته در نمونه ها عبارتند از: ضخامت ورق فولادی؛ بدون بازشو NO، با بازشو OPL با مشاهده ی نمودار ۱ کاملاً مشخص است که با افزایش ضخامت ورق پانل (بدون بازشو و دارای بازشو)، منحنی تغییر مکان ورق، سختی دیوارها، بارهای تسلیم، مقدار با کمانش، بارهای نهایی و انرژی جذب شده توسط دیوار برشی افزایش محسوسی می یابد.



نمودار ۱- منحنی تغییر مکان نمونه های مورد تحلیل بدون بارشو

به دلیل قرار گرفتن مدل اجزا محدود تحت نیروی برشی، تنش های کششی و فشاری بصورت قطری در دیوار توسعه می یابند و ماکزیمم مقدار آن در گوشه های انتهایی رخ می دهد. این امر در شکل ۲ به وضوح قابل مشاهده بوده که در آن توزیع فون میزس در مدل بارشو با ضخامت ورق ۵ میلیمتر نشان داده شده است و بر اساس مقادیر تنش، گوشه های ورق پانل و ستون تا مرز گسیختگی رفته اند.



شکل ۲- تنش تسلیم فون میزس نمونه مورد تحلیل بدون بارشو با ضخامت ۵ میلیمتر

با مشاهده ی قاب تغییر شکل یافته، دیده شد که توزیع تنش اصلی حداقل در گوشه ی پایین و حداکثر در گوشه ی فوقانی در جان ستون و ورق پانل اتفاق افتاده و همچنین جدا شدگی ورق پاتل از قاب (اتصال ورق به تیر فوقانی) در اثر کمانش و تسلیم ورق فولادی دیوار برشی رخ داده است. بنابراین مکانیزم گسیختگی مدل، تسلیم گوشه های دیوار و همچنین جداشدگی ورق فولادی دیوار از قاب می باشد. بعلاوه میزان

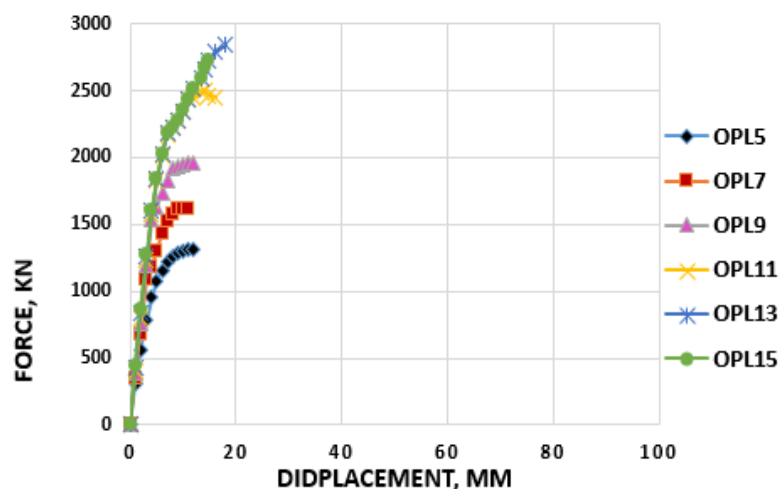
جابجایی خارج از صفحه ورق فولادی برابر ۹۸.۸۹ میلیمتر می باشد. نتایج حاصل از آنالیز ضخامت گوناگون ورق فولادی بدون بازشو مطابق جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱- نتایج بدست آمده از آنالیز المان محدود جهت تغییر مکان حداکثر ۱۰ سانتیمتر لحاظ شده است.

ردیف	وضعیت ورق	ضخامت (mm ورق)	نسبت لاغری (b/t)	مقاومت برشی (KN)	سختی (KN.mm)	تغییر مکان (mm تسلیم)	کمانش خارج از صفحه (mm)
۱	بدون بازشو	۵	۳۶۰	۳۰۳/۶۴	۳۰۳/۶۴	۴	۹۸/۸۹
۲	بدون بازشو	۷	۲۵۷/۱۴	۳۵۲/۴۶	۳۵۲/۴۶	۴/۰۶	۱۰۱/۳
۳	بدون بازشو	۹	۲۰۰	۳۸۳/۰۶	۳۸۳/۰۶	۶/۵۹	۱۰۵/۷
۴	بدون بازشو	۱۱	۱۶۳/۶۳	۴۰۵/۱۲۵	۴۰۵/۱۲۵	۴۹/۷۵	۴۸/۸۸
۵	بدون بازشو	۱۳	۱۳۸/۴۶	۴۲۲/۳۹	۴۲۲/۳۹	۹۸	۱/۱
۶	بدون بازشو	۱۵	۱۲۰	۴۳۶/۳۷	۴۳۶/۳۸	۱۰۰	۰/۱۲۸

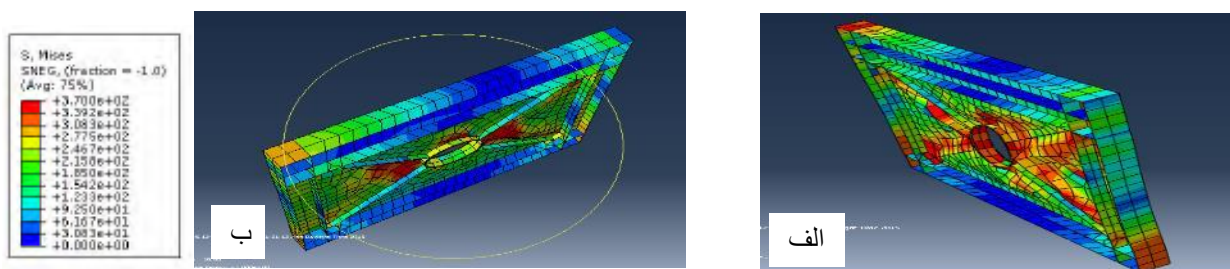
۳-۳- پانل دارای بازشو

در این حالت با ایجاد یک بازشوی دایره ای به ابعاد ۴۰ سانتیمتر در مرکز ورق، ۶ نمونه با ضخامت های گوناگون مورد بررسی قرار گرفته شد. نتایج بدست آمده از این آنالیز بصورت مقایسه ای در نمودار ۲ نشان داده شده است.



نمودار ۲- منحنی بار - تغییر مکان نمونه های مورد تحلیل دارای بازشو

شکل ۳، قسمت الف توزیع تنش فون میزس در مدل دارای بازشو با ضخامت ورق ۵ میلیمتر را نشان داده است. بر این اساس مقادیر تنش، گوشه های ورق پانل و ستون تا مرز گسیختگی رفته اند. مطابق (شکل ۳، قسمت ب) حالت بدون بازشو ملاحظه می شود که توزیع تنش اصلی حداقل در گوشه پایین و حداکثر در گوشه فوقانی، در جان ستون و ورق پانل اتفاق افتاده و همچنین جداشدگی ورق پانل از قاب (اتصال ورق به تیر فوقانی) در اثر کمانش و تسلیم ورق فولادی دیوار برشی رخ داده است. بنابراین مکانیزم گسیختگی مدل، تسلیم گوشه های دیوار و همچنین جداشدگی ورق فولادی دیوار از قاب می باشد. میزان جابجایی خارج از صفحه ورق فولادی برابر ۸۲.۷۶ میلیمتر می باشد.



شکل ۳- الف) تنش تسلیم فون میزس نمونه مورد تحلیل دارای بازشو با ضخامت ۵ میلیمتر، ب) تنش تسلیم فون میزس نمونه مورد تحلیل بدون بازشو با ضخامت ۵ میلیمتر

بررسی نتایج از آنالیز ضخامت گوناگون ورق فولادی دارای بازشو مطابق جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۲- نتایج بدست آمده از آنالیز المان محدود جهت تغییر مکان ۱۰ سانتیمتر لحاظ شده است.

ردیف	وضعیت ورق	ضخامت ورق (mm)	نسبت لاغری (b/t)	مقاومت برشی (KN)	سختی (KN.mm)	تغییر مکان تسلیم (mm)	کمانش خارج از صفحه (mm)
۱	دارای بازشو	۵	۳۶۰	۲۹۳/۱۸	۲۹۳/۱۸	۳/۵	۸۲/۷۶
۲	دارای بازشو	۷	۲۵۷/۱۴	۳۳۳/۷۷	۳۳۳/۷۸	۴/۹۱	۹۰/۸۶
۳	دارای بازشو	۹	۲۰۰	۳۶۲/۱۱	۳۶۲/۱۱۴	۱۰/۲۵	۸۶/۶
۴	دارای بازشو	۱۱	۱۶۳/۶۳	۳۸۳/۸۲۷	۳۸۳/۸۲۷	۳۱	۸۵/۹
۵	دارای بازشو	۱۳	۱۳۸/۴۶	۴۰۱/۲	۴۰۱/۲	۶۸/۴۵	۶۵/۳
۶	دارای بازشو	۱۵	۱۲۰	۴۱۵/۲۲	۴۱۵/۲۲	۱۰۰	۱۹

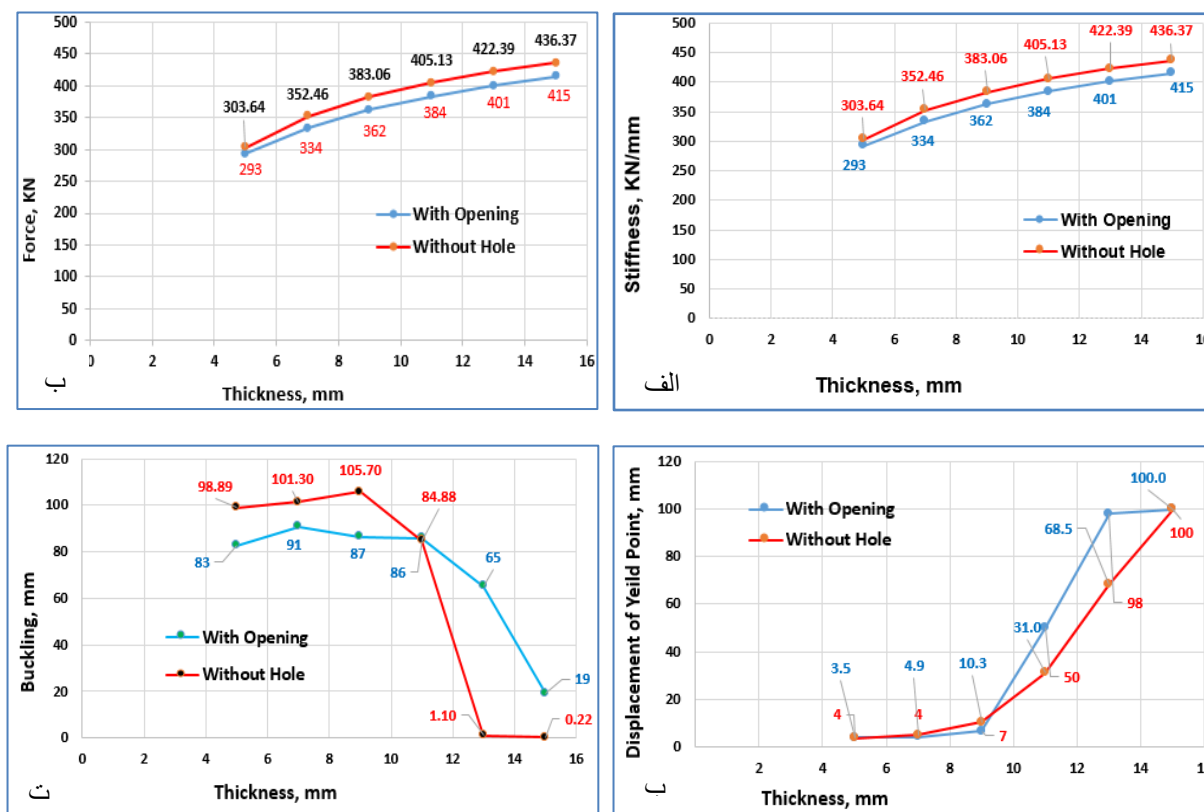
۳-۴- مقایسه نتایج بررسی تاثیر ضخامت در ورق بدون بازشو و دارای بازشو

همانگونه که قبلاً ذکر شد جهت بررسی نمونه ها، تحلیل ها با در نظر گرفتن حالات غیر خطی مصالح انجام می گیرد. چند مورد از منحنی های مقایسه ای و جدول بصورت زیر ارائه گردیده است.

جدول ۳- مقایسه نتایج بدست آمده از آنالیز المان محدود

ردیف	وضعیت ورق	ضخامت ورق (mm)	نسبت مقاومت برشی (KN)	نسبت سختی (KN/mm)	نسبت تغییر مکان تسلیم (mm)	کمانش خارج از صفحه (mm)
۱	دارای بازشو	۵	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۸۸	۰/۸۴
	بدون بازشو	۵				
۲	دارای بازشو	۷	۰/۹۵	۰/۹۵	۱/۲۱	۰/۹۰
	بدون بازشو	۷				
۳	دارای بازشو	۹	۰/۹۵	۰/۹۵	۱/۵۶	۰/۸۲
	بدون بازشو	۹				
۴	دارای بازشو	۱۱	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۶۲	۱/۰۱
	بدون بازشو	۱۱				
۵	دارای بازشو	۱۳	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۷۰	۵۹/۳۶
	بدون بازشو	۱۳				
۶	دارای بازشو	۱۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۱/۰۰	۸۷/۱۶
	بدون بازشو	۱۵				

در نمودارهای زیر به ترتیب نمودارهای الف و ب: تغییرات ضخامت در مقابل کمانش، تغییرات ضخامت در مقابل سختی و نمودارهای پ و ت: تغییرات ضخامت در مقابل نیرو، تغییرات ضخامت در مقابل جابجایی تسلیم را نشان می دهند.



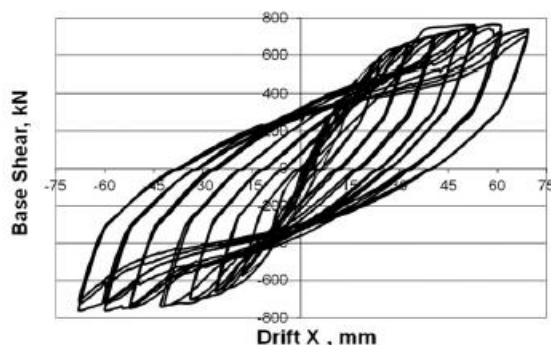
نمودار ۳- تغییرات ضخامت در مقابل متغیرهای مختلف

۳-۵- جذب انرژی دیوار برشی فولادی بازشودار

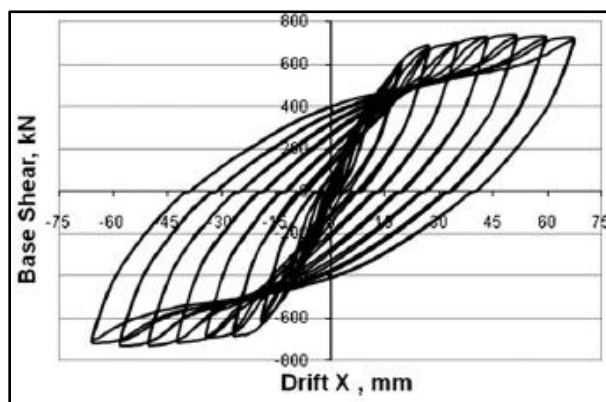
در واقع منحنی هیستریزیس یک سازه، بیانگر میزان جذب انرژی آن در اثر تغییرشکلهای پلاستیک می باشد. در صورتیکه حلقه های هیستریزیس، به صورت پایدار بوده و دارای مساحت قابل قبولی باشند، سازه استعداد خوبی برای مقابله با بارهای جانبی دارد. سیستمهای مقاوم لرزه ای قابلیت جذب انرژی در ناحیه غیرخطی دارند. بطوریکه این قابلیت موجب دوام و پایداری آنها در مقابل بارهای رفت و برگشتی میگردد. آنچه به عنوان انرژی جذب شده یا مستهلک شده شناخته می شود عبارتست از مجموع سطوح زیر منحنی بار-جابجایی یک سیستم مکانیکی یا سازه ای در این شکل علت انحنای منحنی در گوشه ها در زمان معکوس شدن جهت نیرو می باشد. بنابراین انرژی جذب شده توسط سیستم سازه ای در هر لحظه برابر است با حاصل جمع تجمعی انرژیهای جذب شده تا آن لحظه در سیکل های رفت و برگشتی که از منحنی های هیستریزیس بدست می آید. در اینجا مبنای محاسبات توان جذب انرژی نمونه های آزمایشگاهی قرار گرفته است. بدین منظور انرژی جزئی مستهلک شده در هر لحظه از حاصلضرب مقدار متوسط نیرو در تغییر مکان نسبی نیرو با گام قبل آن و بر مبنای سطح محصور

شونده بین منحنی هیستریزیس آن مرحله از بارگذاری به طور عددی محاسبه شده و از جمع قدر مطلق انرژیهای جزئی مستهلک شده، انرژی کل جذب شده در آن لحظه برآورد شده است.

نمودارهای ۴ و ۵، به ترتیب نمودار هیستریزیس دیوار برشی فولادی به ضخامت ۰.۸ میلیمتر و بدون بازشو و نمودار هیستریزیس دیوار برشی فولادی بازشودار با بازشو دایره ای به قطر ۴۰ سانتیمتر، به ضخامت ۱ میلیمتر و به همراه سخت کننده قطری می باشند، که در پژوهشگاه زلزله شناسی آزمایش شده اند. با مقایسه نمودار ۴ و ۵، این نکته قابل درک است که هر دو نمونه بازشودار و بدون بازشو قادر به استهلاک انرژی با دارا بودن حلقه های هیستریزیس پایدار می باشند، که این امر نشان دهنده قابل پذیر بودن دیوار برشی فولادی بازشودار از نظر جذب انرژی می باشد.



نمودار ۴- نمودار هیستریزیس دیوار برشی فولادی به ضخامت ۰.۸ میلیمتر و بدون بازشوی [۳]

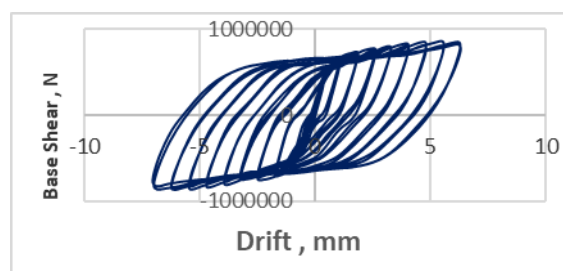
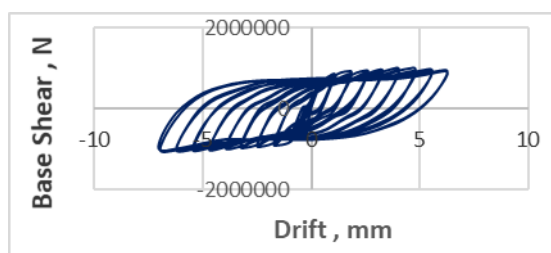


نمودار ۵- نمودار هیستریزیس دیوار برشی فولادی بازشودار با بازشو دایره ای به قطر ۴۰ سانتیمتر، به ضخامت ۱ میلیمتر و به همراه سخت کننده قطری [۳]

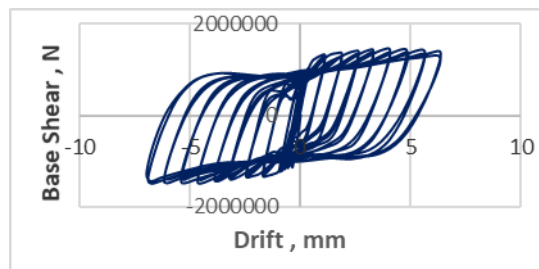
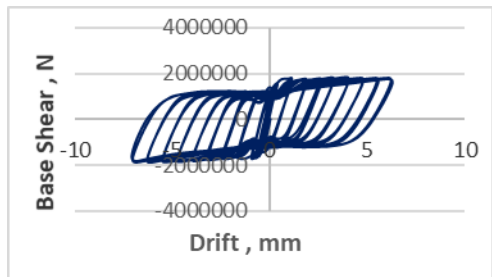
۳-۶- جذب انرژی در مدل های تحلیلی

در ادامه به بررسی منحنی های انرژی نمونه ها که بر حسب زمان حاصل شده اند پرداخته میشود. در نمودارهای ۸-۶ منحنی انرژی نمونه های تقویت نشده بدون بازشو و بازشودار با سخت کننده های قطری با یکدیگر مقایسه شده اند. مشاهده می شود که دیوار برشی بازشودار تقویت

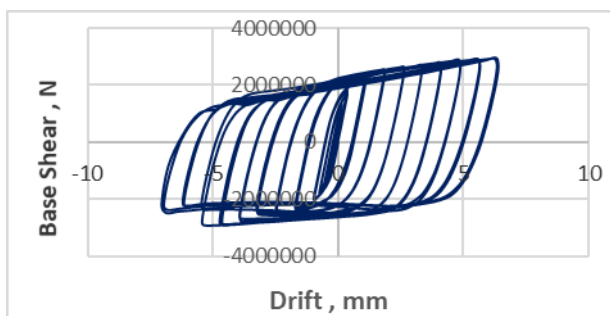
شده با ضخامت های ۵ میلیمتر در پایان بارگذاری حدود ۹۰۹۸۸۵۷ ژول انرژی جذب نموده و دیوار با ضخامت ۱۳ میلیمتر ۲۸۹۵۵۷۹۴ ژول انرژی جذب نموده که ۲۳.۹ درصد نسبت به دیوار با ضخامت ۱۳ میلیمتر جذب انرژی کمتری داشته است. در جذب انرژی پنج نمونه تحلیلی، تعداد سیکل های نمونه ها متفاوت بوده و همچنین زمان تحلیل آنها نیز بعضاً یکسان نبوده است، برخی از این منحنی ها در زمان کوتاهی نسبت به بقیه خاتمه یافته اند. مشاهده می شود که انرژی جذب شده توسط نمونه دیوار با بازشو در بازه های زمانی یکسان، از سایر نمونه ها کمتر بوده است. بعلاوه، نمونه بدون بازشو با توجه به دوام بیشتر آن تحت بار چرخه ای توانسته بیشترین جذب انرژی را به خود اختصاص دهد، به طوریکه در نهایت در حدود ۲۸۹۵۵۷۹۴ ژول انرژی جذب کرده است. بنابراین میتوان نتیجه گرفت که اصولاً از بین انواع دیوارها بهترین روش استفاده همزمان از دیوار بدون بازشو و یا دیوار با سخت کننده های قطری است که موجب دوام بیشتر نمونه ها زیر بار و جذب انرژی بالاتری میگردد. مقایسه نمودارها نشان میدهد که نمونه بدون بازشو در حدود ۵۷.۲ درصد نسبت به نمونه بازشودار در اکثر زمانها جذب انرژی بیشتری را داشته است به عنوان نمونه در زمانی که جذب انرژی نمونه بدون بازشو حدود ۲۸۹۵۵۷۹۴ ژول بوده و نمونه بازشودار در حدود ۲۱۶۵۳۳۴۷ ژول انرژی جذب نموده است.



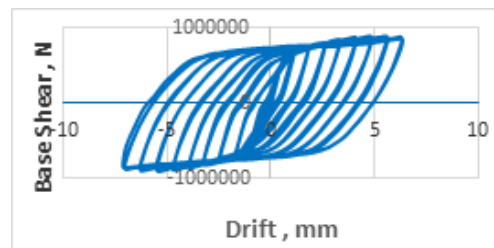
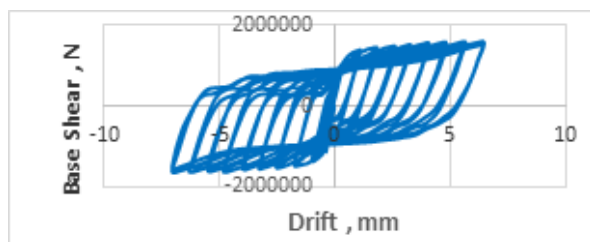
نمودار ۶- نمودار هیستریزیس دیوار برشی ساده با ضخامت سمت راست ۵ میلیمتر و سمت چپ ۷ میلیمتر



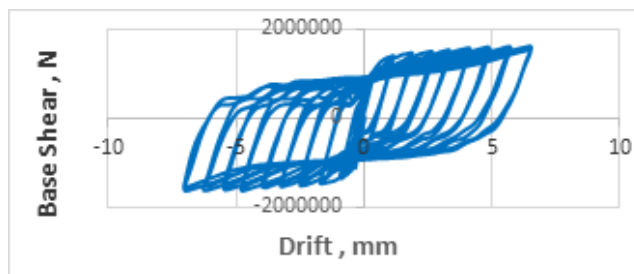
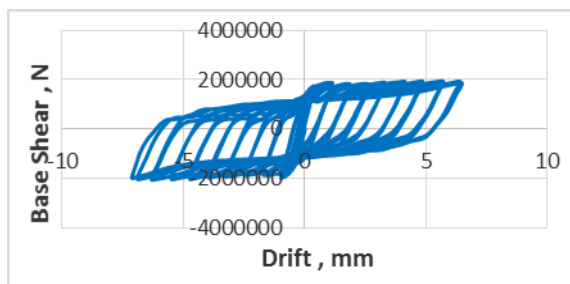
نمودار ۷- نمودار هیستریزیس دیوار برشی ساده با ضخامت سمت راست: ۹ میلیمتر و سمت چپ: ۱۱ میلیمتر



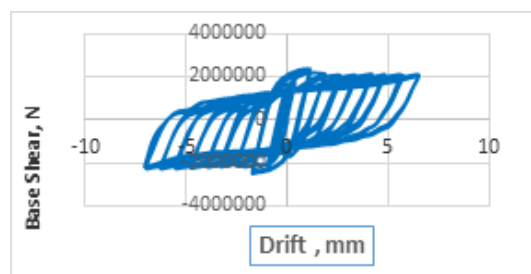
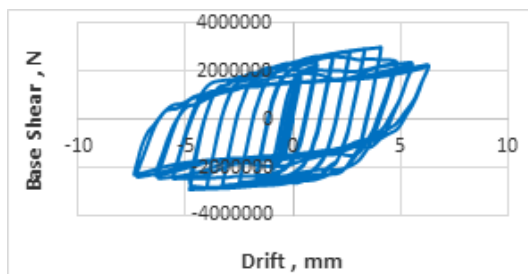
نمودار ۸- نمودار هیستریزیس دیوار برشی ساده با ضخامت ۱۳ میلیمتر



نمودار ۹- هیستریزیس دیوار برشی فولادی بازشودار بازشودار با ضخامت ۵ میلیمتر و ۷ میلیمتر



نمودار ۱۰- نمودار هیستریزیس دیوار برشی فولادی بازشودار با ضخامت ۹ میلیمتر و ۱۱ میلیمتر



نمودار ۱۱- نمودار هیستریزیس دیوار برشی فولادی بازشودار به ترتیب با ضخامت ۱۵ میلیمتر و ۱۷ میلیمتر

جدول ۴- نتایج بدست آمده از آنالیز سیکلیک بر روی نمونه ها

ردیف	وضعیت ورق	ضخامت ورق (mm)	ضخامت ورق (b/t)	جذب انرژی (KN.mm)
۱	دارای بازشو	۵	۳۶۰	۷۳۳۹/۸۶۷
۲	دارای بازشو	۷	۲۵۷/۱۴	۸۸۳۰/۱۸۵
۳	دارای بازشو	۹	۲۰۰	۱۲۵۲۶/۸۵
۴	دارای بازشو	۱۱	۱۶۳/۶۳	۱۶۱۰۹/۲۳۶
۵	دارای بازشو	۱۳	۱۳۸/۴۶	۱۷۲۵۹/۶۹۱
۶	دارای بازشو	۱۵	۱۲۰	۲۱۶۵۳/۳۴۷

جدول ۵- نتایج بدست آمده از آنالیز سیکلیک بر روی نمونه ها

ردیف	وضعیت ورق	ضخامت ورق (mm)	ضخامت ورق (b/t)	جذب انرژی (KN.mm)
۱	بدون بازشو	۵	۳۶۰	۹۰۹۸/۸۵۷
۲	بدون بازشو	۷	۲۵۷/۱۴	۱۱۰۷۱/۶۰۸
۳	بدون بازشو	۹	۲۰۰	۱۵۸۶۲/۴۲۸
۴	بدون بازشو	۱۱	۱۶۳/۶۳	۲۱۴۵۶/۹۷۷
۵	بدون بازشو	۱۳	۱۳۸/۴۶	۲۸۹۵۵/۷۹۴
۶	بدون بازشو	۱۵	۱۲۰	۳۶۴۵۴/۶۱

جدول ۶- مقایسه نتایج بدست آمده از آنالیز سیکلیک بر روی نمونه ها

ردیف	وضعیت ورق	ضخامت ورق (mm)	نسبت لاغری (b/t)	جذب انرژی (KN.mm)	نسبت جذب انرژی
۱	دارای بازشو	۵	۳۶۰	۷۳۳۹/۸۶۴	۰/۸۱
	بدون بازشو	۵		۹۰۹۸/۸۵۷	
۲	دارای بازشو	۷	۲۵۷/۱۴	۸۸۳۰/۱۸۵	۰/۸۰
	بدون بازشو	۷		۱۱۰۷۱/۶۰۸	
۳	دارای بازشو	۹	۲۰۰	۱۲۵۲۶/۸۵	۰/۷۹
	بدون بازشو	۹		۱۵۸۶۲/۴۲۸	
۴	دارای بازشو	۱۱	۱۶۳/۶۳	۱۶۱۰۹/۲۳۶	۰/۷۵
	بدون بازشو	۱۱		۲۱۴۵۶/۹۷۷	

دارای	۱۳	۱۷۲۵۹/۶۹۱	۰/۶۰
بازشو	۱۳۸/۴۶		
بدون بازشو	۱۳	۲۸۹۵۵/۷۹۴	
دارای	۱۵	۲۱۶۵۳/۳۴۷	۰/۵۹
بازشو	۱۲۰		
بدون بازشو	۱۵	۳۶۴۵۴/۶۱	

۴- نتیجه گیری

در نتیجه این مطالعه، با افزایش ضخامت و کاهش نسبت لاغری، سختی دیوارها، بارهای تسلیم، مقدار بار کمانشی، بارهای نهایی و انرژی جذب شده توسط دیوار برشی افزایش می یابد. همچنین افزایش ضخامت ورق فولادی در نمونه های دارای بازشو و بدون بازشو، منجر به کاهش نسبت سختی می گردد. نتایج تحلیل در نمونه های مورد مطالعه نشان می دهد با افزایش ضخامت ورق پرکننده در دیوارهای برشی فولادی بازشودار نسبت تغییر مکان تسلیم ۰.۸۸ کاهش می یابد. نتایج نشان می دهد با افزایش ضخامت ورق پرکننده، نسبت کمانش خارج صفحه در دیوارهای بدون بازشو فولادی ۸۷ درصد نسبت به دیوارها با بازشو کاهش می یابد. بررسی تنشهای فون- میسر بدست آمده نشان می دهد که ورق پرکننده فولادی بعد از کمانش به دلیل عملکرد میدان کششی و توسعه آن به حد تسلیم رسیده است و با افزودن سخت کننده به نمونه ها، یکنواختی تسلیم در ورق پرکننده دیوار بهبود یافته و ظرفیت بیشتری از ورق برای مقابله با نیروی جانبی مشارکت کرده است. همچنین؛ سخت کننده های قطری، نسبت دیوار ساده بدون سخت کننده نقش بیشتری را در توزیع مناسبتر تنش در کل سیستم داشته اند. نتایج نشان میدهد که با افزایش ضخامت ورق پرکننده فولادی، انرژی جذب شده در دیوارهای برشی بازشودار تقویت شده با ضخامت ۵ میلیمتر در پایان بارگذاری ۲۳ درصد کمتر از دیوار برشی با ضخامت ۱۵ میلیمتر می باشد. جذب انرژی در دیوار با بازشو نسبت به دیوارهای بدون بازشو فولادی ۰.۵۶ کاهش می یابد. مقایسه بین نمونه های آزمایش شده نشان می دهد دیوار برشی فولادی بدون بازشو جذب انرژی قابل قبولی جهت مقابله با نیروهای جانبی دارد و نمودار هیستریزیس آن به صورت پایدار بوده و همچنین تقویت دیوار برشی فولادی بازشودار مشابه حالت بدون بازشو اثر مشابهی در نمودار هیستریزیس و جذب انرژی ایجاد می نماید.

منابع

- Driver, R.G., Kulak, G.L., Kennedy, D.J.L. and Elwi, A.E. (۱۹۹۸), "Cyclic Tests of Four- Story Steel Plate Shear Wall", Journal of Structural Engineering, ASCE, ۱۲۴, ۱۱۲-۱۲۰.
- Kulak, Driver, R.G., G.L., Elwi, A.E. and Kennedy D.J.L. (۱۹۹۸), "FE and Simplified Models of Steel Plate Shear Wall", Journal of Structural Engineering, ASCE, ۱۲۴, ۱۲۱-۱۳۰.

- Elgaaly, M., Caccese, V. and Du, C. (۱۹۹۳), "Post Buckling Behavior of Steel Plate Shear Walls under Cyclic Loads", Journal of Structural Engineering, ASCE, ۱۱۹, ۵۸۸-۶۰۵.
- Sabouri-Ghomi, S. and Roberts T.M. (۱۹۹۲), "Nonlinear Dynamic Analysis of Steel Plate Shear Walls Including Shear and Bending Deformations", Journal of Structural Engineering, ۱۴, ۳۰۹-۳۱۷.
- Sabouri-Ghomi, S., Ventura, M. and Kharrazi, M. (۲۰۰۵), "Shear Analysis and Design of Ductile Steel Plate Walls", Journal of Structural Engineering, ASCE, ۱۳۱, ۸۷۸-۸۸۹.
- Hong-Gun, P., Jae-Hyuk, K., Sang-Woo, J., Won-Ki, K. and In-Rak, Ch. (۲۰۰۷), "Framed Steel Plate Wall Behavior under Cyclic Lateral Loading", Journal of Structural Engineering, ASCE, ۱۳۳, ۳۷۸-۳۸۸.
- Topkaya, C. and Atasoy, M. (۲۰۰۹), "Lateral Stiffness of Steel Plate Shear Walls Systems", Thin-Walled Structures, ۴۷, ۸۲۷-۸۳۵.
- Hyo Seon, P., Kappyo, H. and Ji Hyun S., (۲۰۰۲), "Drift Design of Steel-Frame Shear-Wall Systems for Tall Buildings", The Structural Design of Tall and Special Buildings, ۱۱, ۳۵-۴۹.
- Abedi Karim, Chenaghloo Mohammadreza, Abbasi Mousavi Seyed Mehdi, (۲۰۰۸), Study of the effect of different slimming ratios on the behavior of open steel shear wall, ۴th National Congress of Civil Engineering. [in Persian]
- Seismic improvement instructions (۲۰۰۶)[in Persian]