

## ارزیابی رفتار دیوار برشی فولادی با بازشو تقویت شده

محمدعلی خورداری\* (استاد)

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

سید علی اصغر حسینزاده (استادیار)

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گلستان

مهدی صدیقی (دانشجوی دکتری)

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

مهندسی عمران شریف، تابستان ۱۳۹۵  
دوره ۲ - شماره ۱/۲ - ص. ۸۹-۷۹

در این پژوهش به بررسی تأثیر بازشوهای مستطیلی تقویت شده در مقاومت، سختی اولیه، شکل پذیری و ظرفیت جذب انرژی دیوارهای برشی فولادی پرداخته شده است. با هدف کاهش تعداد اعضا تقویتی در لبه بازشوها و صرفه اقتصادی بیشتر، بازشوها در کل ارتفاع طبقه فرض شده است. در مطالعات، اثر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه مدلها و مشخصات بازشوها (طول و موقعیت بازشو) در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می دهد که در نتیجه ورود بازشو، مقاومت ورق متناسب با کاهش در سطح مقطع آن کاهش می یابد، در صورتی که به دلیل حضور المانهای تقویتی به مقاومت قاب همواره افزوده می شود. در نتیجه، مقاومت کل سیستم بسته به موقعیت و طول بازشو می تواند کاهش یا افزایش یابد. سختی و شکل پذیری سیستم ها نیز همواره با ورود بازشو کاهش می یابد، اما در صورتی که ابعاد بازشو قابل توجه نباشد، ظرفیت جذب انرژی در سیستم می تواند بدون تغییر و یا با افزایش همراه باشد.

واژگان کلیدی: دیوارهای برشی فولادی با بازشو، المان مرزی، مقاومت نهایی، سختی، شکل پذیری.

## ۱. مقدمه

در دهه های اخیر، استفاده از سیستم دیوار برشی فولادی (SPSW)<sup>۱</sup> به عنوان سیستم مقاوم در مقابل بارهای جانبی مورد توجه پژوهشگران در کشورهای مختلف جهان قرار گرفته است. این سیستم از ورق فولادی سخت شده یا نازک بدون سخت کننده، که با قاب فولادی محاط شده، تشکیل شده است. در مقایسه با سایر سیستم های باربر جانبی متداول، این سیستم مزایای قابل توجهی از نظر اقتصادی بودن، وزن کم، جذب انرژی و شکل پذیری بالا و رفتار هیستریزیس پایدار دارد. همچنین، از مزایای این سیستم، علاوه بر ساختمان های نو، برای مقاوم سازی ساختمان های موجود نیز می توان بهره برد.

در گذشته، طراحی ورق در سیستم دیوار برشی فولادی به کماتش برشی آن محدود می شده است. لذا از ورق های نسبتاً ضخیم با سخت کننده و یا بدون آن استفاده می شده است، که استفاده از سیستم مذکور را، به ویژه در مقایسه با سیستم رقیب دیوار برشی بتن آرمه، غیراقتصادی می کرد. پژوهش ها در سال های اخیر نشان داده است که وقوع کماتش برشی در ورق به معنای پایان ظرفیت باربری سیستم نیست و با توسعه میدان کششی قطری در ورق، سیستم می تواند حتی پس از کماتش ورق نیز همچنان به باربری خود ادامه دهد. استفاده از این ایده (در نظر گرفتن ظرفیت پس از کماتش ورق) در طراحی دیوارهای برشی فولادی ابتدا در آیین نامه های کانادا

\* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۵، اصلاحیه ۱۳۹۳/۴/۱۱، پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۲۶.

barkhordar@iust.ac.ir  
ahosseinzade@gmail.com  
mehdiseddighi@civileng.iust.ac.ir

۱-۱۶-۰۱، CAN/CSA S16 و [۱]، FEMA ۴۵۰ و سپس، در آیین نامه ی طراحی لرزه یی آمریکا ۳۴۱-۰۵، AISC [۲] و در سال های اخیر، در راهنمای ۲۰ Guide Steel Design [۳] مطرح شده است.

حضور بازشوها با شکل ها و اندازه های مختلف در دیوارهای برشی فولادی به دلایل کاربردی اغلب اجتناب ناپذیر است. یکی از پرکاربردترین انواع بازشوهای مذکور، بازشوهای مستطیلی درب و پنجره هستند. بازشوهای درب، به ویژه وقتی که دیوارهای برشی فولادی در فضای چشمه ی راه پله و بالابر قرار دارد، اغلب برای تأمین عبور و مرور مورد نیاز هستند. همچنین وقتی که دیوار برشی فولادی در قاب پیرامونی ساختمان مورد استفاده قرار می گیرد، غالباً استفاده از بازشوهای پنجره برای تأمین نور و روشنایی ضرورت پیدا می کند. حضور این بازشوهای بزرگ، باعث اختلال در عملکرد میدان تنش کششی قطری ورق می شود و برای جبران این اثر، همان طور که در آیین نامه ی طراحی لرزه یی آمریکا اشاره شده است، [۳] باید در لبه های بازشو از المان های تقویتی لبه یی که تا اعضاء مرزی (تیر و ستون ها) امتداد می یابند، استفاده شود. ضوابط طراحی دیوارهای برشی فولادی با بازشوهای مستطیلی تقویت شده در راهنمای ۲۰ Steel Design Guide [۳] ارائه شده است.

علی رغم اهمیت مقوله ی بازشوها و ضرورت بررسی آثار آنها در رفتار سیستم، مطالعات عددی یا آزمایشگاهی معدودی در زمینه ی حضور بازشوها در دیوارهای برشی فولادی توسط برخی پژوهشگران صورت گرفته است [۴-۸]، به ویژه در زمینه ی

حضور بازشوهای درب و پنجره در دیوارهای برشی فولادی، که مخصوصاً با الگوی پیشنهاد شده توسط آیین‌نامه‌های AISC ۳۴۱-۰۵ و Steel Design Guide ۲۰ تقویت شده باشند،<sup>[۲۳]</sup> پژوهش‌های جامعی که به بررسی آثار این بازشوها در مشخصه‌های رفتاری سیستم بپردازد، بسیار انگشت‌شمار است.

در پژوهشی در سال ۱۹۹۲، اثر بازشو دایروی مرکزی در رفتار سیکلی پانل‌های برشی فولادی بررسی و براساس نتایج به‌دست‌آمده پیشنهاد شده است که سختی و مقاومت پانل‌های با بازشو را می‌توان به‌صورت محافظه‌کارانه، با اعمال یک ضریب کاهش خطی به سختی و مقاومت پانل بدون بازشو نظیر تخمین زد.<sup>[۵]</sup> در پژوهش دیگری در سال ۲۰۰۵، رفتار ۳ نمونه دیوار برشی فولادی، با مجموعه‌ی منظم از بازشوهای دایروی در ورق، و با بازشوهای تقویت‌شده‌ی ربع دایره در دو کنج فوقانی به‌صورت آزمایشگاهی بررسی شده است.<sup>[۶]</sup> همچنین در پژوهش دیگری (۲۰۰۶)،<sup>[۷]</sup> برای الگوی خاص از بازشوهای دایروی پیشنهاد شده در پژوهش اخیر،<sup>[۴]</sup> رابطه‌ی برای کاهش مقاومت ارائه شده است. برخی پژوهشگران (۲۰۱۲)، نیز اثر تغییر ابعاد و محل قرارگیری بازشوهای مستطیلی را بر روی سختی و مقاومت پانل‌های فولادی سخت‌شده (با مجموعه‌ی از ورق‌های افقی و قائم) و بدون سخت‌کننده به‌صورت عددی مطالعه کرده و نتایج آن‌ها نشان داده است که موقعیت بازشو مستطیلی اهمیت چندانی در رفتار پانل‌های فولادی سخت‌شده ندارد، در حالی که در مدل‌های بدون سخت‌کننده، سختی و مقاومت پانل با تغییر موقعیت بازشو به شدت تغییر می‌کند.<sup>[۸]</sup> در پژوهش دیگری (۲۰۱۲)،<sup>[۹]</sup> نیز رفتار دیوارهای برشی فولادی نازک با بازشوهای مستطیلی بزرگ، که به‌عنوان درب یا پنجره در ساختمان‌های متعارف استفاده می‌شود، با استفاده از روش اجزاء محدود مورد مطالعه‌ی عددی قرار گرفته است، و در آن به جهت جریان اثرات بازشو و مهار و انتقال نیروهای ناشی از حوزی کشش قطری ورق به اعضاء مرزی (تیر و ستون‌ها)، مطابق با آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ی آمریکا،<sup>[۱۰]</sup> و راهنمای Steel Design Guide ۲۰،<sup>[۱۱]</sup> در اطراف بازشوها از المان‌های تقویتی افقی و قائم، که تا اعضاء مرزی امتداد داشتند، استفاده شده است. اگرچه استفاده از این المان‌های تقویتی اضافی عملاً می‌تواند با افزایش حجم مصالح مصرفی و عملیات جوشکاری، منجر به افزایش هزینه‌های ساخت و اجرا شود و به اقتصاد طرح لطمه وارد کند. به هر حال نتایج پژوهش مذکور نشان داده است که موقعیت، هندسه و نوع درب یا پنجره بودن بازشوها به‌تنهایی تأثیر خاصی در رفتار سیستم‌های با بازشو تقویت‌شده ندارد. به علاوه، با ورود بازشو و المان‌های تقویتی پیرامون آن به سیستم مقاومت و سختی سیستم افزایش می‌یابد، در حالی که شکل‌پذیری آن تا حدی کاهش پیدا می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده همچنین حاکی از آن بودند که نقش المان‌های تقویتی لبه‌ی بازشوها در افزایش مقاومت قاب می‌تواند بسیار برجسته باشد.

در این پژوهش به بررسی تأثیر بازشوهای مستطیلی با کاربری درب یا پنجره در رفتار دیوارهای برشی فولادی با استفاده از روش المان محدود پرداخته شده

است، و بازشوها برخلاف الگوی در نظر گرفته‌شده در پژوهش انجام شده در سال ۲۰۱۲،<sup>[۱۲]</sup> و به جهت سهولت‌های اجرایی و به‌کمینه‌رساندن هزینه‌ها، در کل ارتفاع دیوار فرض شده‌اند. بدین ترتیب، علاوه بر کاهش عملیات جوشکاری بین ورق و اعضاء تقویتی، فقط استفاده از المان‌های تقویتی قائم در اطراف بازشوها ضرورت پیدا می‌کند و نیاز به استفاده از المان‌های تقویتی افقی مرتفع می‌شود. لذا پیش‌بینی می‌شود رفتار سیستم با این الگوی جدید بازشو (که در آن بازشو در کل ارتفاع پانل امتداد دارد) متفاوت از وضعیتی باشد که بازشو فقط در بخشی از ارتفاع پانل امتداد دارد و از هر دو نوع المان تقویتی افقی و قائم در لبه‌ی بازشوها استفاده شده است.<sup>[۹]</sup> در مطالعات انجام شده، تأثیر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه‌ی مدل‌ها و همچنین، طول و موقعیت بازشوها در رفتار سیستم‌ها لحاظ و رفتار مدل‌های با بازشو از نظر مقاومت، سختی اولیه، شکل‌پذیری و جذب انرژی با مدل‌های بدون بازشو نظیر مقایسه شده است.

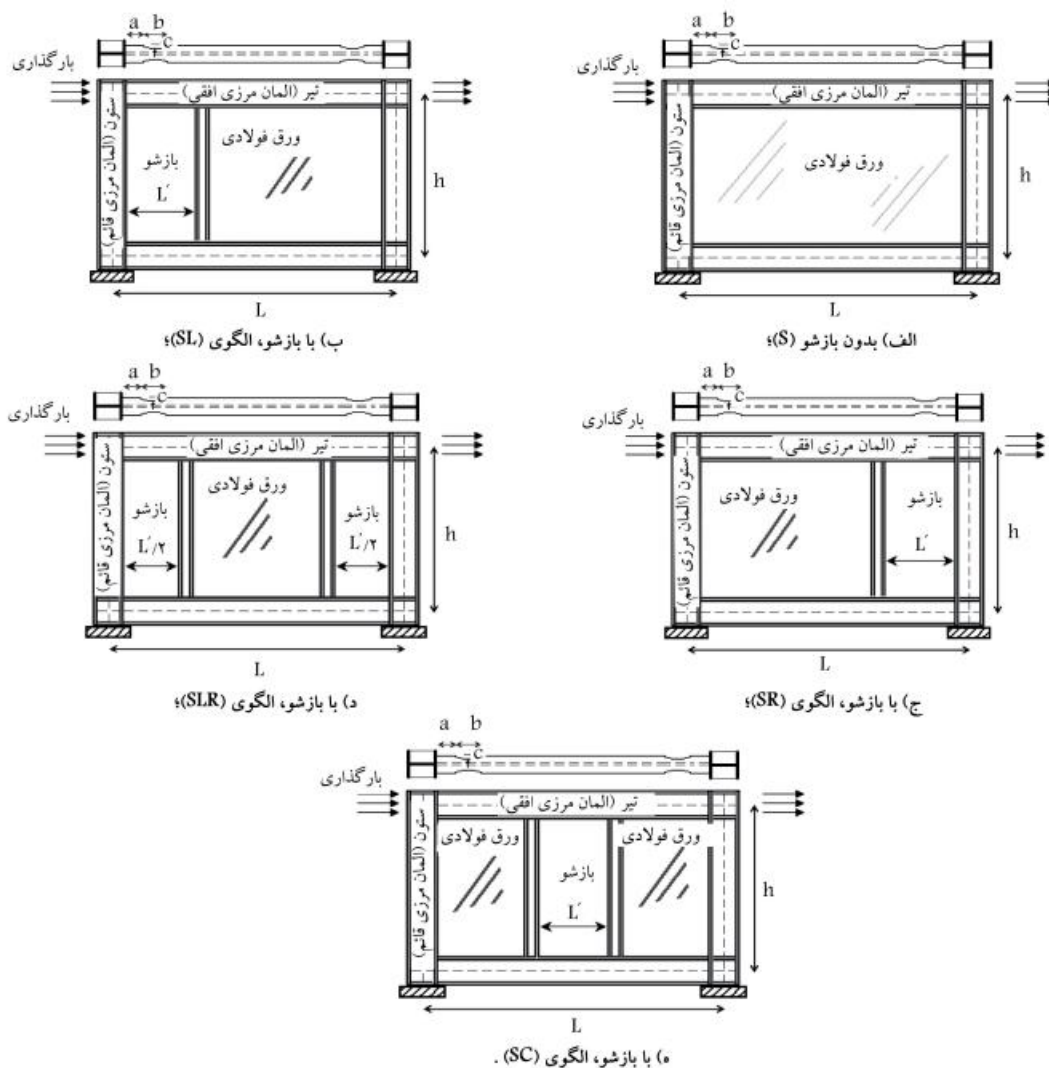
## ۲. روش مطالعه

### ۲.۱. مدل‌ها

در این پژوهش، یک مجموعه مدل‌های دیوارهای برشی فولادی یک طبقه با نسبت‌های متغیر طول دهانه به ارتفاع طبقه و شامل بازشوهای مستطیلی با مشخصات مختلف در نظر گرفته شده است. مدل‌های اصلی بدون بازشو از پژوهش انجام شده در سال ۲۰۱۲،<sup>[۹]</sup> اقتباس شده‌اند؛ که برای سهولت، جزئیات طراحی این مدل‌ها در جدول ۱ دوباره تکرار شده است. طراحی مدل‌های دیوار برشی فولادی مبتنی بر اصول طراحی براساس ظرفیت و مطابق با دستورالعمل‌های آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ی آمریکا AISC ۳۴۱-۰۵،<sup>[۱۰]</sup> و راهنمای Steel Design Guide ۲۰،<sup>[۱۱]</sup> انجام شده است. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۱، در مدل‌های در نظر گرفته‌شده، ارتفاع طبقات ثابت ( $h = ۳/۵$  m) فرض شده است. همچنین به منظور متمرکزکردن محل تشکیل مفاصل خمیری در دو انتهای تیرها و محدودکردن تقاضای خمشی در ستون‌ها، از اتصال RBS<sup>۱</sup> در دو سمت تیرها استفاده شده است. با هدف انجام مطالعات، بازشوها در کل ارتفاع دیوار و با طول‌های متغیر ( $L' = ۰/۹, ۱/۲, ۱/۵, ۱/۸, ۲/۱, ۲/۴$  m) و در ۴ الگو با موقعیت بازشو متفاوت با فرض اعمال بار از سمت چپ به راست، بازشو در سمت چپ مجاور با ستون کششی (الگوی SL)، بازشو در سمت راست مجاور با ستون فشاری (الگوی SR)، دو نیم - بازشو در دو سمت و مجاور با ستون‌های چپ یا کششی، و راست یا فشاری (الگوی SLR)؛ و بازشو در وسط دهانه (الگوی SC) فرض شده‌اند. همچنین به منظور بررسی اثر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه، ۵ نسبت مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه (۲، ۱/۷۱، ۱/۴۳، ۱/۱۴، ۰/۸۶) ( $L/h$ ) در نظر گرفته

جدول ۱. مشخصات مدل‌های اصلی بدون بازشو.<sup>[۹]</sup>

نام مدل	طول دهانه $L$ (mm)	ارتفاع طبقه $h$ (mm)	نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه $L/h$	ضخامت ورق $t_w$ (mm)	مقطع تیر	مقطع ستون
۱S۳	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۰/۸۶	۳/۱۸	W ۱۴ × ۱۷۶	W ۱۴ × ۲۸۳
۱S۴	۴۰۰۰	۳۵۰۰	۱/۱۴	۳/۱۸	W ۱۴ × ۱۹۳	W ۱۴ × ۳۱۱
۱S۵	۵۰۰۰	۳۵۰۰	۱/۴۳	۳/۱۸	W ۱۴ × ۲۳۳	W ۱۴ × ۳۷۰
۱S۶	۶۰۰۰	۳۵۰۰	۱/۷۱	۳/۱۸	W ۲۴ × ۲۵۰	W ۱۴ × ۴۵۵
۱S۷	۷۰۰۰	۳۵۰۰	۲/۰۰	۳/۱۸	W ۲۴ × ۳۷۰	W ۱۴ × ۵۵۰



شکل ۱. سیستم‌های دیوار برشی فولادی بدون بازشو و با بازشو مستطیلی در کل ارتفاع طبقه.

جهت مطالعه رفتار غیرخطی مدل‌ها نشان می‌دهد. در تحلیل‌های پوش‌اور رفتار مصالح به صورت ایزوتروپیک<sup>۳</sup> و در تحلیل‌های شبه - استاتیکی سیکلی، که شامل سیکل‌های متعدد بارگذاری است، به صورت سینماتیک با لحاظ اثر باوشینگر<sup>۴</sup> در نظر گرفته شده است.

### ۳.۲. مدل‌سازی عددی و صحنه‌گذاری بر نتایج

نحوه‌ی مدل‌سازی، اعمال شرایط مرزی و روش بارگذاری قبلاً در پژوهش انجام شده در سال ۱۳۹۲<sup>۱۱</sup> ذکر شده است، که در ادامه به اختصار به آن اشاره شده است. به منظور مدل‌سازی و انجام تحلیل‌های خطی کمانشی، غیرخطی پوش‌اور<sup>۵</sup> و شبه - استاتیکی سیکلی<sup>۶</sup> از نرم‌افزار المان محدود آباکوس<sup>۷</sup> استفاده شده است. در تمامی مدل‌ها، ورق و اعضاء قاب با بهره‌گیری از المان پوسته‌یی<sup>۸</sup> چهارگره‌یی با خاصیت انتگرال‌گیری کاهش‌یافته (المان S4R) و استفاده از یک مش بندی نسبتاً ریز مدل‌سازی شده‌اند. در تحلیل‌های غیرخطی، اثرات تغییرشکل‌های بزرگ<sup>۹</sup> و غیرخطی هندسی<sup>۱۰</sup> نیز منظور شده است. به جهت تسهیل وقوع کمانش در ورق و کمک به توسعه‌ی حوزه‌ی کشش قطری

شده است. مطابق با راهنمای AISC ۸۲<sup>۱۲</sup>، المان‌های تقویتی قائم بازشوها بر مبنای اصول طراحی براساس ظرفیت به‌گونه‌یی طراحی شده‌اند که امکان گسترش کامل تنش‌های حوزه‌ی کشش در ورق دیوار را فراهم آورند و در عین حال نیز کشسان باقی بمانند. شکل ۱، نمای شماتیک از مدل‌های دیوار برشی فولادی بدون بازشو و با بازشو (مشمول بر ۴ الگوی بازشو مختلف) در نظر گرفته شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. جدول ۲، مشخصات مدل‌های با بازشو را نشان می‌دهد. جدول ۳، نیز جزئیات طراحی اتصال RBS را برای تیرهای طبقات مطابق با آیین‌نامه‌ی AISC ۳۵۸-۰۵<sup>۱۳</sup> ارائه می‌کند.

### ۲.۲. مشخصات مکانیکی مصالح

برای مصالح مصرفی در المان‌های مرزی (تیر و ستون‌ها) و تقویتی لبه‌ی بازشوها از فولاد رده ASTM-A۵۷۲ (با تنش تسلیم ۳۸۵ MPa) و برای ورق از فولاد رده ASTM-A۳۶ (با تنش تسلیم ۳۲۷/۶ MPa) استفاده شده است. مدول کشسانی و نسبت پواسون فولادهای مصرفی به ترتیب برابر با ۲۰۰ GPa و ۰/۳ فرض شده است. شکل ۲، دیاگرام‌های تنش - کرنش مربوط به هر رده از فولاد را

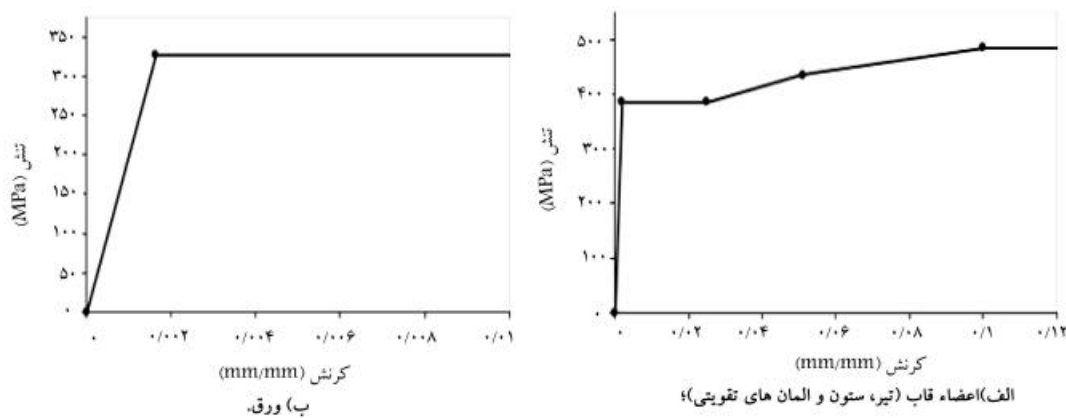
جدول ۲. مشخصات مدل‌های با بازشو.

نام مدل	مدل اصلی*	ضخامت ورق $t_{ew}$ (mm)	مقطع المان تقویتی قائم	طول بازشو $L'$ (mm)	نام مدل	مدل اصلی*	ضخامت ورق $t_{ew}$ (mm)	مقطع المان تقویتی قائم	طول بازشو $L'$ (mm)
۱S6-SL۱	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۹۰۰	۱S6-SC۳	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۵۰۰
۱S6-SL۲	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۲۰۰	۱S6-SC۴	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۸۰۰
۱S6-SL۳	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۵۰۰	۱S6-SC۵	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۲۱۰۰
۱S6-SL۴	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۸۰۰	۱S6-SC۶	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۲۴۰۰
۱S6-SL۵	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۲۱۰۰	۱S۳-SL۲	۱S۳	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۶۰۰
۱S6-SL۶	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۲۴۰۰	۱S۳-SR۲	۱S۳	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۶۰۰
۱S6-SR۱	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۹۰۰	۱S۳-SLR۲	۱S۳	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۶۰۰
۱S6-SR۲	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۲۰۰	۱S۴-SC۲	۱S۴	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۶۰۰
۱S6-SR۳	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۵۰۰	۱S۴-SL۲	۱S۴	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۸۰۰
۱S6-SR۴	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۸۰۰	۱S۴-SR۲	۱S۴	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۸۰۰
۱S6-SR۵	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۲۱۰۰	۱S۴-SLR۲	۱S۴	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۸۰۰
۱S6-SR۶	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۲۴۰۰	۱S۴-SC۲	۱S۴	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۰۰۰
۱S6-SLR۱	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۹۰۰	۱S۵-SL۲	۱S۵	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۰۰۰
۱S6-SLR۲	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۲۰۰	۱S۵-SR۲	۱S۵	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۰۰۰
۱S6-SLR۳	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۵۰۰	۱S۵-SLR۲	۱S۵	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۰۰۰
۱S6-SLR۴	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۸۰۰	۱S۵-SC۲	۱S۵	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۰۰۰
۱S6-SLR۵	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۲۱۰۰	۱S۷-SL۲	۱S۷	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۴۰۰
۱S6-SLR۶	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۲۴۰۰	۱S۷-SR۲	۱S۷	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۴۰۰
۱S6-SC۱	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۹۰۰	۱S۷-SLR۲	۱S۷	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۴۰۰
۱S6-SC۲	۱S6	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۲۰۰	۱S۷-SC۲	۱S۷	۳٫۱۸	W ۱۴ × ۱۵۹	۱۴۰۰

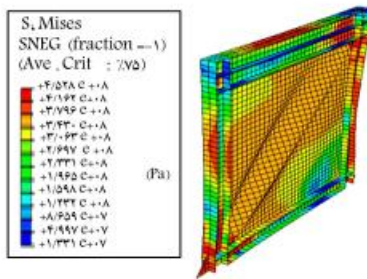
\* هندسه‌ی قاب و مقاطع تیر و ستون‌ها در مدل‌های با بازشو و مدل‌های اصلی نظیر یکسان است.

جدول ۳. جزئیات اتصال RBS برای مقاطع مختلف تیرها براساس آیین‌نامه‌ی AISC ۳۵۸-۰۵ [۹].

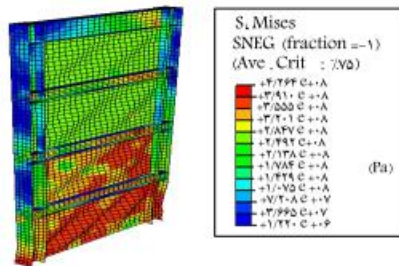
جزئیات اتصال (mm)	W ۲۴×۳۷۰	W ۲۴×۲۵۰	W ۱۴×۲۳۳	W ۱۴×۱۹۳	W ۱۴×۱۷۶
a	۱۷۵	۲۰۰	۲۲۰	۲۰۰	۲۰۰
b	۶۰۰	۵۵۰	۳۳۰	۳۰۰	۳۰۰
c	۸۵	۸۰	۱۰۰	۹۵	۹۵



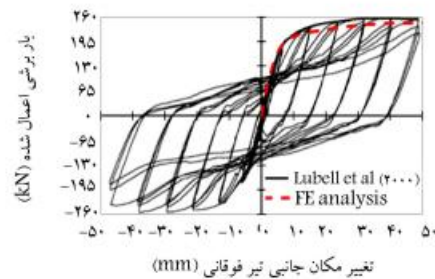




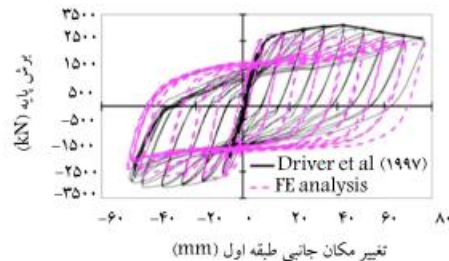
ب) توزیع تنش فون میز در مدل المان محدود در حد نهایی باربری؛



د) توزیع تنش فون میز در مدل المان محدود در جابجایی بیشینه.



الف) مقایسه نتایج مدل‌سازی عددی با نتایج نمونه آزمایشگاهی لوبل؛<sup>[۱۶]</sup>



ج) مقایسه ی نتایج تحلیل سیکلی با نتایج نمونه ی آزمایشگاهی درایور؛<sup>[۱۷]</sup>

شکل ۳. صحه‌گذاری بر نتایج مدل‌سازی عددی.

یک تکیه‌گاه قائم برای تیرهای طبقات با بازشو عمل می‌کنند؛ و از این جهت، سبب تقویت تیرها و در نتیجه، تاحدی تقویت قاب می‌شوند. لازم به ذکر است که به دلیل امتداد بازشو در ارتفاع کامل طبقه، تیرهای طبقات خود در نقش المان تقویتی افقی برای بازشوها عمل می‌کنند و نیاز به المان تقویتی افقی اضافی نیست. لذا برخلاف بازشوهایی که در پژوهش انجام شده‌ی در سال ۱۳۹۲،<sup>[۹]</sup> مطالعه شده است، در اینجا ستون‌ها مشارکت چندانی در تغییر سختی و مقاومت ندارند. بنابراین، همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شده است، رفتار سیستم برای حالتی که بازشو در کل ارتفاع پائل امتداد دارد، در مقایسه با حالتی که بازشو فقط در بخشی از ارتفاع پائل امتداد دارد، متفاوت خواهد بود.

در این بخش، رفتار مدل‌های با بازشو و بدون بازشو از نظر مقاومت، سختی اولیه، شکل‌پذیری، و جذب انرژی با یکدیگر مقایسه شده است. در ابتدا، تأثیر طول و موقعیت بازشوها در مشخصه‌های رفتاری سیستم برای یک نسبت مشخص طول دهانه به ارتفاع طبقه بررسی و سپس، تأثیر ورود بازشو به سیستم برای نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه و الگوهای مختلف بازشو مطالعه شده است. در نهایت نیز تأثیر حضور بازشوها و المان‌های تقویتی پیرامون آنها در میزان جذب انرژی توسط سیستم بررسی شده است.

جدول ۴، خلاصه‌ی نتایج مدل‌های بدون بازشو را ارائه می‌کند. در قسمت‌های بعدی، نتایج مربوط به مدل‌های با بازشو با تقسیم بر مقادیر نظیر در مدل‌های بدون بازشو به صورت بی بعد ارائه شده است.

### ۱.۳. بررسی اثر طول و موقعیت بازشو

در این قسمت، تأثیر طول و موقعیت بازشوها در مقاومت نهایی، سختی اولیه و شکل‌پذیری دیوارهای برشی فولادی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، برای ۴ الگوی مختلف بازشو در یک سیستم دیوار برشی فولادی ( $L/h = 1/71$ )، طول بازشوها بین ۰/۹ تا ۲/۴ متر (۰/۴، ۰/۳۵، ۰/۳۰، ۰/۲۵، ۰/۲۰، ۰/۱۵،  $L'/L =$ ) متغیر فرض شده است.

در آن، باید اثر تغییر شکل‌های اولیه در ورق در نظر گرفته شود. برای اطمینان از حصول نتایج رضایت‌بخش، در بعضی از مراجع، استفاده از تغییر شکل‌های اولیه‌ی الگوی آن مطابق با مد اول کمانش و بیشینه‌ی مقدار آن متناسب با روش اجرا باشد، توصیه شده است.<sup>[۱۶]</sup> اگر چه در مورد صفحات نازک، اختیار الگو و مقدار بیشینه‌ی این تغییر شکل‌های اولیه اهمیت چندانی در نتایج ندارد.<sup>[۱۶]</sup> بر این اساس، تغییر شکل اولیه‌ی مطابق با مد اول کمانش ورق با بیشینه‌ی مقدار ۱ میلی‌متر به مدل‌ها اعمال شده است. مطالعات مقدماتی انجام‌گرفته کفایت مقدار اختیار شده و عدم تأثیرگذاری آن در نتایج تحلیل‌ها را تأیید کرده است. بیشینه‌ی دررفت<sup>[۱۱]</sup> مجاز طبقات، با توجه به آیین‌نامه‌ی ASCE 7-05،<sup>[۱۵]</sup> برابر با ۲/۵٪ ارتفاع طبقه منظور شده است.

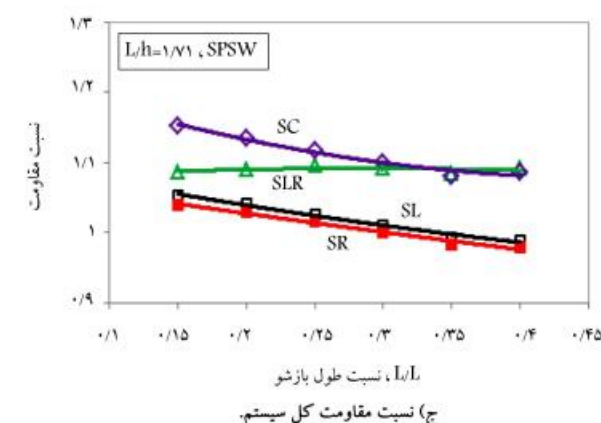
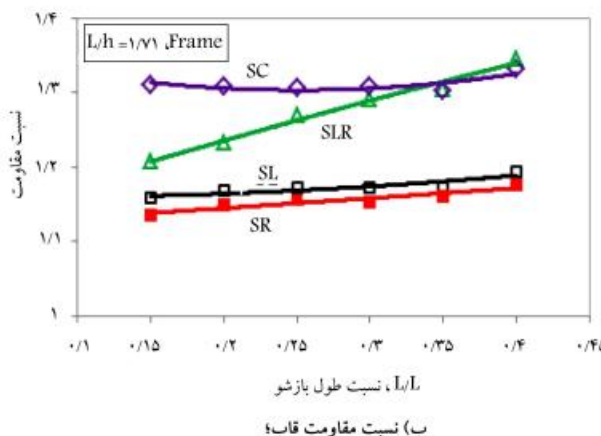
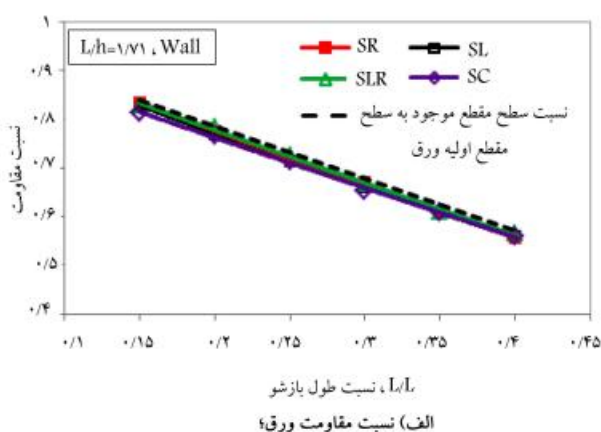
برای صحه‌گذاری بر نتایج آنالیزهای پوش‌اور، نمونه‌ی آزمایشگاهی یک طبقه‌ی لوبل (فقط مدل SPSW 2)،<sup>[۱۶]</sup> و برای صحه‌گذاری بر نتایج آنالیزهای سیکلی، نمونه‌ی ۴ طبقه‌ی درایور،<sup>[۱۷]</sup> در نرم‌افزار مدل‌سازی و تحلیل شده‌اند. شکل ۳، نتایج تحلیل‌های عددی و آزمایشگاهی را مقایسه می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج حاکی از کفایت روش مدل‌سازی در پیش‌بینی رفتار پوش‌اور و سیکلی دیوار برشی فولادی است.

## ۳. بحث و بررسی نتایج

بر اساس تحقیقات انجام شده،<sup>[۹]</sup> پیش‌بینی می‌شود، حضور بازشو و المان‌های تقویتی در سیستم می‌تواند مقاومت و سختی سیستم را تغییر دهد. در نتیجه‌ی حضور بازشوها، مقاومت و سختی ورق (با فرض ثابت ماندن ضخامت آن) به دلیل کاهش سطح مقطع ورق در تراز افقی کاهش می‌یابد، در حالی که به دلیل حضور المان‌های تقویتی قائم اطراف بازشوها به مقاومت و سختی قاب افزوده می‌شود. در واقع، المان‌های تقویتی قائم، علاوه بر کمک به توسعه‌ی کامل مقاومت کششی ورق و انتقال نیروهای ناشی از آن به المان‌های مرزی اطراف (تیر و ستون‌ها)، همانند با

جدول ۴. خلاصه‌ی نتایج مقاومت نهایی، سختی اولیه، و شکل پذیری مدل‌های بدون بازشو.

نام مدل	مقاومت نهایی (KN)			شکل پذیری
	قاب	ورق	کل سیستم	
۱۵۳	۳۳۲۱	۱۲۲۵	۴۷۴۶	۶٫۲۹
۱۵۴	۳۶۳۷	۱۹۶۰	۵۵۹۱	۶٫۸۲
۱۵۵	۲۳۸۰	۲۵۰۵	۶۸۸۵	۶٫۹۷
۱۵۶	۶۵۳۷	۳۰۵۰	۹۵۸۷	۶٫۳۸
۱۵۷	۹۰۸۸	۳۵۴۴	۱۲۶۳۲	۶٫۰۲



### ۱.۱.۳. مقاومت نهایی

شکل ۴، نسبت‌های مقاومت نهایی ورق، قاب، و کل سیستم را در مدل‌های با بازشو با نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه ثابت ( $L/h = 1/71$ ) به مدل‌های بدون بازشو نظیر، برای نسبت‌های مختلف طول بازشو به طول دهانه ( $L'/L = 0.15 - 0.4$ ) و الگوهای مختلف قرارگیری بازشو (SL, SR, SLR, SC) مقایسه می‌کند. مقاومت ورق از انتگرال‌گیری تنش‌های برشی در طول ورق در تراز تحتانی محاسبه شده و مقاومت نهایی قاب نیز از تفاضل سهم ورق از برش نهایی طبقه به دست آمده است. شکل ۴ الف نشان می‌دهد که با افزایش نسبت طول بازشو، مقاومت نهایی ورق برای الگوهای مختلف بازشو متناسب با نسبت کاهش در سطح مقطع ورق (خط‌چین ترسیم شده در شکل ۴ الف) کاهش یافته است. با توجه به شکل ۴ ب، همان‌طور که انتظار می‌رود، به دلیل حضور المان‌های تقویتی قائم، مقاومت قاب در سیستم با بازشو همواره بزرگتر از سیستم بدون بازشو نظیر است. به‌طور کلی، نسبت افزایش مقاومت قاب برای الگوهای SC و SLR به دلیل داشتن یک المان تقویتی قائم بیشتر نسبت به الگوهای SL و SR بزرگتر است. همچنین، برای محدوده‌ی انتخاب شده برای نسبت‌های طول بازشو به طول دهانه ( $L'/L = 0.15 - 0.4$ )، نسبت افزایش مقاومت در قاب برای الگوهای SL, SR و SC تقریباً مستقل از نسبت طول بازشو (یا موقعیت المان‌های تقویتی قائم) است، در حالی که برای الگوی SLR تأثیر طول بازشو (یا موقعیت المان‌های تقویتی قائم) در نسبت افزایش مقاومت قاب قابل توجه است، و با افزایش نسبی طول بازشو و در نتیجه، کاهش طول بخش میانی تیر در حد فاصل دو المان تقویتی قائم، مقاومت قاب نیز افزایش یافته است. بنابراین در مجموع، با افزایش نسبی طول بازشو، نسبت مقاومت کل سیستم (مجموع مقاومت ورق و قاب) برای الگوهای SL, SR و SC به‌صورت خطی کاهش یافته است، در حالی که نسبت مذکور برای الگوی SLR تقریباً بدون تغییر باقی مانده است (شکل ۴ ج). از شکل‌های ۴ الف الی ۴ ج همچنین می‌توان نتیجه گرفت که از حیث مقاومت، قرارگیری بازشو در میانه‌ی دهانه‌ی دیوار (الگوی SC) می‌تواند گزینه‌ی مناسب‌تری باشد، اگرچه در مقایسه با حالتی که بازشو فقط در یک سمت دیوار باشد (الگوهای SL و SR)، مزایای اقتصادی کمتری را دارد. به‌علاوه با توجه به نتایج، برای حالاتی که بازشو فقط در یک سمت دیوار است (الگوهای SL و SR)، از حیث مقاومت مزیت خاصی در قرارگیری بازشو در سمت چپ یا راست دیوار نسبت به هم وجود ندارد و مقاومت سیستم برای این دو الگو کم و بیش مشابه است. بررسی نتایج در این بخش همچنین حاکی از این نکته است که برخلاف حالتی که بازشو در کل ارتفاع طبقه امتداد

شکل ۴. نسبت‌های مقاومت ورق، قاب و کل سیستم برای الگوهای مختلف مدل‌های با بازشو به مدل‌های بدون بازشو نظیر در مقابل نسبت‌های مختلف طول بازشو به طول دهانه.

ندارد و در نتیجه، علاوه بر المان‌های قائم، نیاز به استفاده از المان‌های تقویتی افقی نیز هست،<sup>[۹]</sup> موقعیت بازشو می‌تواند در رفتار سیستم‌های با بازشو تأثیرگذار باشد.

### ۲.۱.۳. سختی اولیه و شکل‌پذیری

شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب نسبت سختی اولیه و شکل‌پذیری را در مدل‌های با بازشو با نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه‌ی ثابت ( $L/h = 1/71$ ) به مدل‌های بدون بازشو نظیر، برای طول و الگوهای مختلف قرارگیری بازشو مقایسه می‌کند. سختی اولیه‌ی سیستم با محاسبه‌ی شیب نمودار بار- جابه‌جایی در همان بارهای اولیه



ورق در رفتار سیستم، سختی اولیه و شکل‌پذیری مدل‌های با بازشو همواره کوچکتر از مدل‌های بدون بازشو نظیر است. همان‌طور که از مطالعات پیشین می‌دانیم، [9] ورق منبع اصلی شکل‌پذیری در سیستم دیوار برشی فولادی است. بنابراین انتظار می‌رود با کاهش مشارکت ورق در رفتار کلی سیستم، شکل‌پذیری سیستم نیز کاهش می‌یابد. شکل‌های ۵ و ۶ همچنین نشان می‌دهند که نسبت‌های سختی و شکل‌پذیری با افزایش نسبت طول بازشو به طول دهانه به صورت خطی کاهش می‌یابد. به علاوه با توجه به نتایج، برای یک نسبت مشخص طول بازشو به طول دهانه، کمترین کاهش در سختی اولیه برای الگوی بازشو SLR و بیشترین کاهش در شکل‌پذیری سیستم‌ها برای الگوی بازشو SC اتفاق می‌افتد. البته برای یک نسبت مشخص طول بازشو به طول دهانه، بیشینه درصد اختلاف بین نسبت‌های سختی یا شکل‌پذیری برای الگوهای مختلف به حدود ۱۰٪ محدود می‌شود.

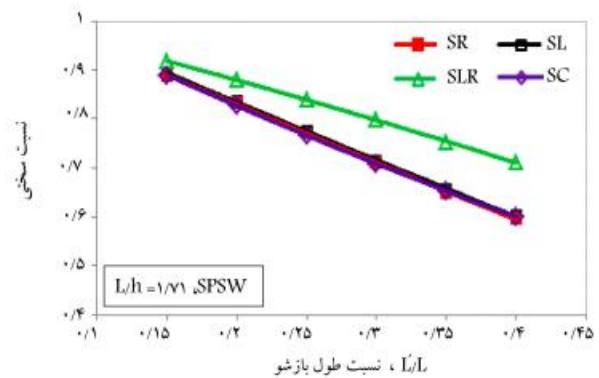
### ۲.۳. بررسی اثر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه

در این بخش، تأثیر تغییرات نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه سیستم (L/h) بر نسبت‌های مقاومت، سختی و شکل‌پذیری مدل‌های با بازشو به مدل‌های بدون بازشو نظیر مد نظر قرار گرفته است. برای این منظور، سیستم‌های دیوار برشی فولادی با نسبت‌های متغیر طول دهانه به ارتفاع طبقه (L/h = ۰٫۸۶ - ۲) مشتمل بر الگوهای مختلف بازشو و با یک نسبت مشخص طول بازشو به طول دهانه (L'/L = ۰٫۲) در نظر گرفته شده است.

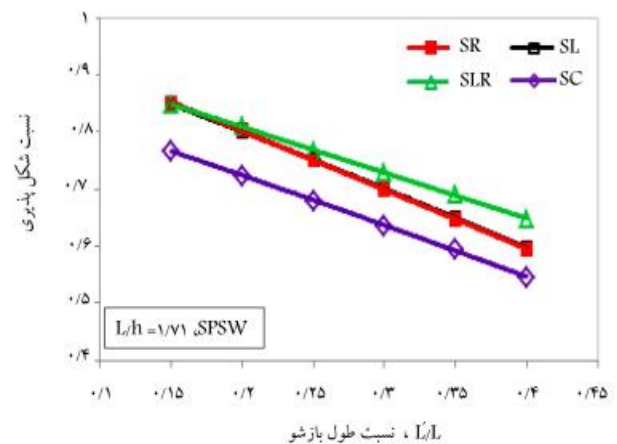
#### ۱.۲.۳. مقاومت نهایی

شکل ۸، نسبت‌های مقاومت نهایی ورق، قاب و کل سیستم را برای الگوهای مختلف بازشو و نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه و با فرض یک نسبت ثابت طول بازشو به طول دهانه (L'/L = ۰٫۲) مقایسه می‌کند. شکل ۸الف نشان می‌دهد که برای یک نسبت ثابت طول بازشو به طول دهانه، مقاومت نسبی ورق مستقل از موقعیت بازشو و نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه است. شکل ۸الف همچنین نشان می‌دهد که توافق مناسبی بین کاهش نسبی در مقاومت ورق و نسبت کاهش در سطح مقطع ورق برقرار است و بنابراین، مقاومت نسبی ورق در مدل‌های با بازشو را می‌توان فقط براساس نسبت طول بازشو به طول دهانه و مستقل از هندسه و مشخصات هندسی اعضاء قاب (تیر، ستون و المان‌های مرزی) بیان کرد.

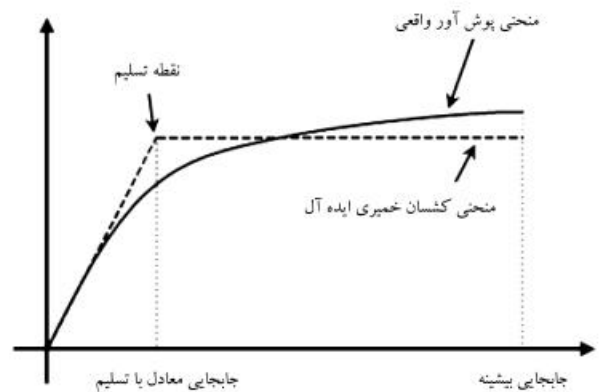
شکل ۸ب نشان می‌دهد که به دلیل حضور المان‌های تقویتی قائم در اطراف بازشوها و نقش آنها در تقویت تیرهای طبقه، همان‌طور که انتظار می‌رود، مقاومت قاب در مدل‌های با بازشو همواره بزرگتر از مدل‌های بدون بازشو نظیر است. البته در حالت کلی، نسبت افزایش مقاومت قاب در مدل‌های با بازشو می‌تواند تابع عوامل مختلفی نظیر: هندسه قاب، مشخصات هندسی اعضاء قاب، و المان‌های تقویتی قائم، تعداد و موقعیت المان‌های تقویتی قائم در طول دهانه و اندرکنش بین ورق و اعضاء قاب باشد، که این موضوع پیش‌بینی و اظهار نظر در مورد میزان افزایش در مقاومت قاب را برای حالات مختلف تاحدی پیچیده می‌کند. با توجه به نتایج به دست آمده، تغییرات طول دهانه به ارتفاع طبقه می‌تواند تا حدود ۲۰٪ در مقاومت نسبی قاب تأثیرگذار باشد. در اینجا نیز به دلیل حضور المان‌های تقویتی بیشتر، مقاومت قاب برای الگوهای SLR و به خصوص SC در مقایسه با الگوهای SL و SR افزایش بیشتری دارد. البته، بیشینه اختلاف بین نسبت‌های مقاومت قاب برای الگوهای مختلف به حدود ۲۰٪ محدود



شکل ۵. نسبت سختی اولیه برای الگوهای مختلف مدل‌های با بازشو به مدل‌های بدون بازشو نظیر در مقابل نسبت‌های مختلف طول بازشو به طول دهانه.

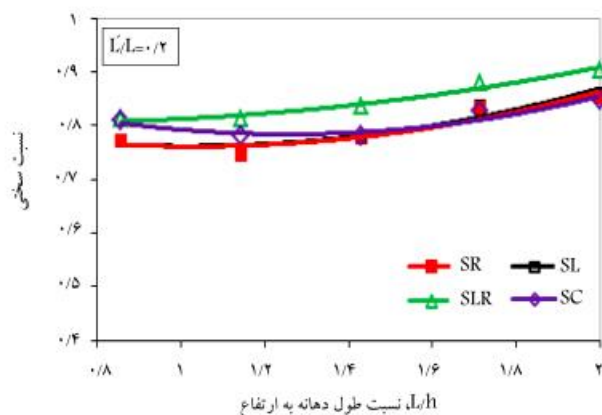


شکل ۶. نسبت شکل‌پذیری برای الگوهای مختلف مدل‌های با بازشو به مدل‌های بدون بازشو نظیر در مقابل نسبت‌های مختلف طول بازشو به طول دهانه.

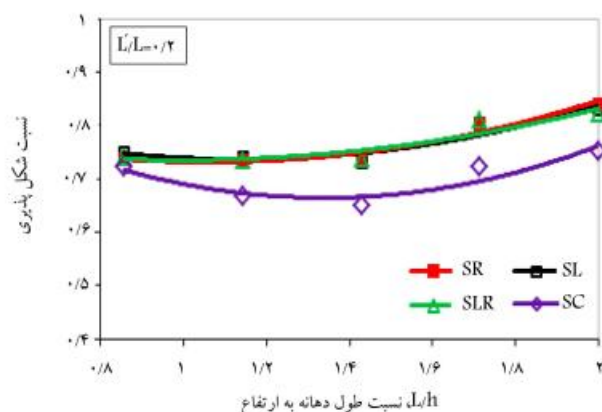


شکل ۷. معادل‌سازی منحنی رفتار و تعیین جابه‌جایی معادل یا حد تسلیم. [9]

به دست آمده است. شکل‌پذیری مدل‌ها نیز از تقسیم جابه‌جایی بیشینه سیستم به جابه‌جایی حد تسلیم محاسبه شده است. جابه‌جایی بیشینه برابر با جابه‌جایی طبقه‌ای بام در لحظه وقوع دررفت ۲٫۵٪ لحاظ شده است. جابه‌جایی حد تسلیم نیز از طریق ترسیم منحنی کشسان‌خمیری ایده‌آل بر منحنی پوش رفتار سیستم، به طوری که سطح محصورشده توسط منحنی‌ها در دو حالت مساوی یکدیگر باشد، مشخص شده است (شکل ۷). همان‌طور که در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود، به دلیل کاهش سطح مقطع ورق و در نتیجه کاهش مشارکت



شکل ۹. نسبت سختی اولیه برای الگوهای مختلف مدل‌های با بازشو به مدل‌های بدون بازشو نظیر در مقابل نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه.



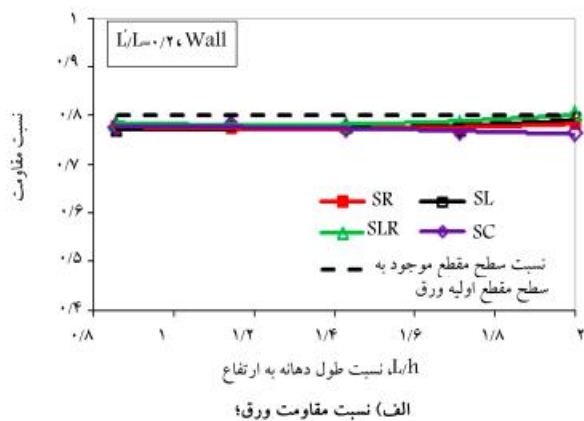
شکل ۱۰. نسبت شکل‌پذیری برای الگوهای مختلف مدل‌های با بازشو به مدل‌های بدون بازشو نظیر در مقابل نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه.

اختلاف بین نسبت‌های مقاومت برای الگوهای مختلف به حدود ۱۵٪ محدود می‌شود.

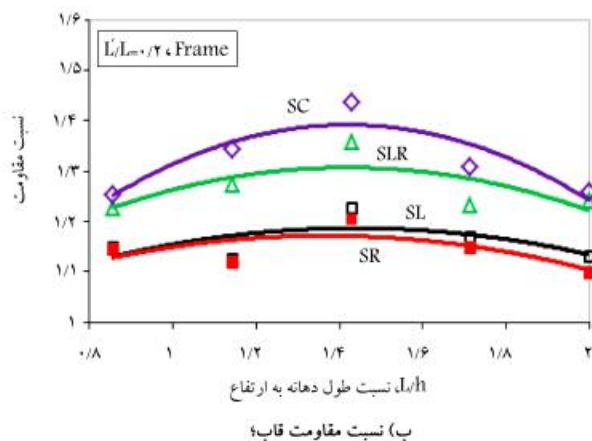
نتایج ارائه شده در شکل‌های ۸ الف الی ج همچنین تأیید می‌کند که در عمل، اختلاف چندان‌ی بین نتایج برای الگوهای SL و SR در سیستم‌های مختلف وجود ندارد.

### ۲.۲.۳. سختی اولیه و شکل‌پذیری

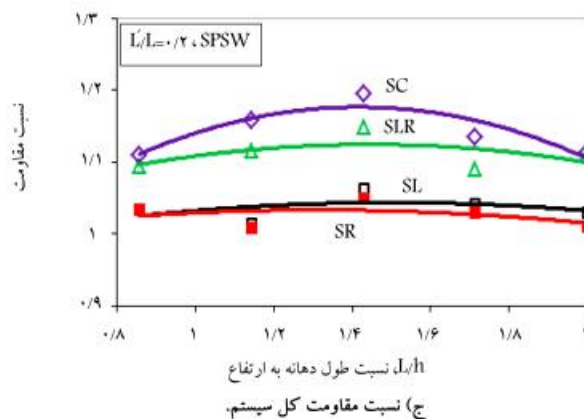
در شکل‌های ۹ و ۱۰، تأثیر ورود بازشو در سختی اولیه و شکل‌پذیری سیستم برای الگوهای مختلف بازشو و نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه و با فرض یک نسبت مشخص طول بازشو به طول دهانه ( $L'/L = 0.2$ ) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که به دلیل ورود بازشو و کوچک‌تر شدن سطح مقطع ورق و در نتیجه کمتر شدن مشارکت آن در رفتار کلی سیستم، سختی و شکل‌پذیری سیستم می‌تواند به ترتیب تا بیشینه‌ی ۲۵٪ و ۳۵٪ دچار افت شود. به علاوه، مشخص است که نسبت‌های سختی و شکل‌پذیری، چندان تحت تأثیر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه و حتی الگوی قرارگیری بازشوها نیستند. با توجه به نتایج برای یک الگوی مشخص بازشو، با تغییر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه و بالعکس (یعنی برای یک نسبت مشخص طول دهانه به ارتفاع طبقه تغییر الگوی بازشو)، تغییرات نسبت سختی یا شکل‌پذیری به کمتر از ۱۰٪ محدود می‌شود.



الف) نسبت مقاومت ورق؛



ب) نسبت مقاومت قاب؛



ج) نسبت مقاومت کل سیستم.

شکل ۸. نسبت‌های مقاومت ورق، قاب و کل سیستم برای الگوهای مختلف از مدل‌های با بازشو به مدل‌های بدون بازشو نظیر در مقابل نسبت‌های مختلف طول دهانه به ارتفاع طبقه.

می‌شود. بنابراین، همان‌طور که در شکل ۸ ج نیز مشاهده می‌شود، مقاومت کل سیستم برای الگوهای SL و SR که یک عدد المان تقویتی قائم دارند، تغییر چندان‌ی را نسبت به مدل‌های بدون بازشو نظیر نشان نمی‌دهد (به میزان بیشینه‌ی ۵٪ افزایش در مقاومت)، در حالی که برای الگوهای SLR و SC تا بیشینه‌ی ۲۰٪ افزایش در مقاومت کل سیستم مشاهده می‌شود. شکل ۸ ج همچنین نشان می‌دهد که برای یک الگوی بازشو به خصوص، با تغییر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه تغییر چندان‌ی در نسبت مقاومت سیستم مشاهده نمی‌شود (کمتر از ۱۰٪). همچنین، برای یک نسبت مشخص طول دهانه به ارتفاع طبقه نیز بیشینه‌ی



مدل بدون بازشو نظیر به دست آمده است. همچنین مشابه با نتایج به دست آمده در بخش‌های پیشین، نتایج در این بخش نیز تأیید می‌کند که عملاً اختلاف چندانی در رفتار مدل‌های با بازشو با الگوهای SL یا SR تحت بارگذاری سیکلی وجود ندارد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، رفتار دیوارهای برشی فولادی یک طبقه با بازشوهایی مستطیلی تقویت‌شده با کاربری درب و پنجره با استفاده از روش المان محدود مطالعه شده است. جهت کاهش تعداد المان‌های تقویتی و صرفه‌ی اقتصادی بیشتر، بازشوها در کل ارتفاع دیوار فرض شده‌اند. همچنین اثر طول و موقعیت بازشوها و تغییر نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه در رفتار سیستم‌های با بازشو مطالعه شده و رفتار سیستم‌های با بازشو از حیث مقاومت، سختی اولیه، شکل‌پذیری و جذب انرژی با مدل‌های بدون بازشو نظیر مقایسه شده و نتایج نشان داده است:

— برخلاف حالتی که ارتفاع بازشو محدود است و در نتیجه، علاوه بر المان‌های تقویتی قائم، نیاز به استفاده از المان‌های تقویتی افقی نیز هست<sup>[۱]</sup> و موقعیت قرارگیری بازشوها تمام - ارتفاع می‌تواند در رفتار سیستم‌های با بازشو تقویت‌شده مؤثر باشد.

— با افزایش طول بازشو تا ۴۰٪ طول دهانه، برای الگوهای بازشو SL و SR که فقط شامل یک المان تقویتی قائم هستند، تغییر چندانی در مقاومت سیستم مشاهده نمی‌شود، در حالی که برای الگوهای SLR و SC افزایش در مقاومت سیستم تا حدی برجسته‌تر است.

— به دلیل ورود بازشو و کاهش سطح مقطع ورق، مقاومت ورق در سیستم‌های با بازشو همواره کوچک‌تر از سیستم‌های بدون بازشو نظیر است. کاهش نسبی در مقاومت ورق متناسب با کاهش سطح مقطع ورق است. بنابراین، با افزایش متناسب ضخامت ورق انتظار می‌رود که کاهش سطح مقطع ورق و در نتیجه کاهش مقاومت آن جبران شود.

— به دلیل حضور المان‌های تقویتی، مقاومت قاب در سیستم‌های با بازشو همواره بزرگتر از سیستم‌های بدون بازشو نظیر است. پیش‌بینی مقدار افزایش در مقاومت قاب پیچیده به نظر می‌رسد و در حالت کلی می‌تواند تابع تعداد و موقعیت المان‌های تقویتی قائم، هندسه، و مشخصات هندسی اعضاء قاب و المان‌های تقویتی و اندرکنش قاب و ورق باشد.

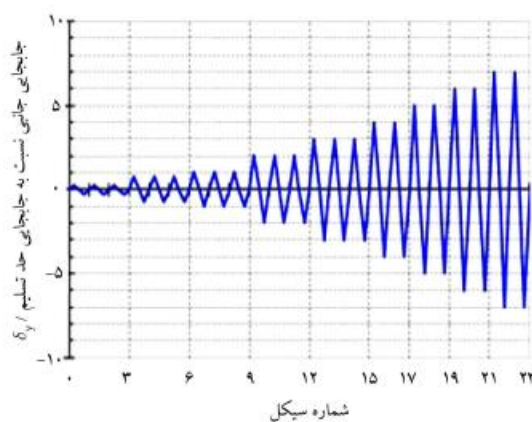
— با افزایش نسبی طول بازشو، نسبت‌های سختی و شکل‌پذیری سیستم‌های با بازشو به سیستم‌های بدون بازشو نظیر به صورت خطی کاهش می‌یابد. به طور کلی، برای یک نسبت مشخص طول بازشو به طول دهانه، کمترین کاهش در سختی برای الگوی SLR و بیشترین کاهش در شکل‌پذیری برای الگوی SC مشاهده شده است.

— برای یک نسبت مشخص طول بازشو به طول دهانه، نسبت‌های مقاومت، سختی، و شکل‌پذیری سیستم‌های با بازشو به بدون بازشو نظیر تقریباً مستقل از نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه است. همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده، برای یک نسبت مشخص طول دهانه به ارتفاع طبقه، بیشینه اختلاف بین نتایج برای الگوهای مختلف بازشو به حدود ۱۵٪ در مورد نسبت مقاومت

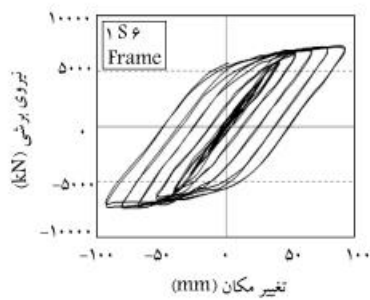
#### ۳.۳. بررسی قابلیت استهلاک انرژی

در این بخش، به جهت مطالعه‌ی بیشتر تأثیر بازشوها در رفتار سیستم‌های دیواربرشی فولادی، قابلیت استهلاک انرژی در سیستم‌های با بازشو مطالعه، و با سیستم‌های بدون بازشو نظیر مقایسه شده است. برای انجام مطالعات، نسبت طول بازشو به طول دهانه معادل با  $0.7 = L'/L$  و نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه نیز برابر با  $(L/h = 1.71)$  فرض شده است. جابه‌جایی حد تسلیم  $(\delta y)$  که پارامتر اصلی در اعمال بارگذاری سیکلی است، با استفاده از نتایج تحلیل پوش‌اور، تقریباً معادل با  $13.5$  میلی‌متر برای مدل‌های با بازشو و بدون بازشو در نظر گرفته و تخمین زده شده است. براساس دستورالعمل ۲۴-ATC<sup>[۱۸]</sup>، بارگذاری سیکلی با اعمال ۲۳ سیکل جابه‌جایی، همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، به تراز تیر فوقانی طبقه صورت می‌گیرد. با توجه به شکل ۱۱، سیکل ابتدایی مبتنی بر جابه‌جایی‌های کوچک‌تر از جابه‌جایی تسلیم  $(0.33\delta y, 0.67\delta y)$  است و در سیکل‌های بعدی بارگذاری تا جابه‌جایی معادل با ۷ برابر جابه‌جایی حد تسلیم  $(7\delta y)$  ادامه می‌یابد. به‌طور کلی با توجه به دستورالعمل ۲۴-ATC<sup>[۱۸]</sup> برای جابه‌جایی‌های کوچک‌تر یا مساوی با ۳ برابر جابه‌جایی حد تسلیم  $(3\delta y)$ ، سیکل بارگذاری، و برای جابه‌جایی‌های بزرگ‌تر از آن، ۲ سیکل بارگذاری در نظر گرفته شده است.

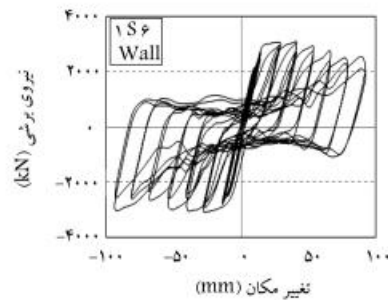
شکل ۱۲، منحنی‌های هیستریزس (کل سیستم، ورق، و قاب) را در مدل‌های با بازشو و بدون بازشو مقایسه می‌کند. با توجه به شکل ۱۲، الگوی نسبتاً مشابهی برای منحنی‌های هیستریزس ورق، قاب، و کل سیستم در مدل‌های با بازشو و بدون بازشو مشاهده می‌شود. البته به دلیل کاهش سطح مقطع ورق در اثر حضور بازشو، میزان جذب انرژی ورق در سیستم‌های با بازشو نسبت به سیستم بدون بازشو تا حدی کمتر به نظر می‌رسد (به‌ویژه در دو سیکل نهایی). در حالی که به دلیل حضور المان‌های تقویتی در لبه‌ی بازشوها، جذب انرژی قاب در مدل‌های با بازشو نسبتاً بیشتر است. همچنین شکل ۱۳، متوسط انرژی کل جذب‌شده توسط سیستم را در مدل‌های با بازشو و بدون بازشو برای سیکل‌های مختلف مقایسه می‌کند. شکل ۱۳ نشان می‌دهد که علی‌رغم وجود بازشو و کاهش سطح مقطع ورق، به دلیل حضور المان‌های تقویتی، مدل‌های با بازشو، قابلیت استهلاک انرژی بالاتری نسبت به مدل بدون بازشو نظیر در سیکل‌های مختلف دارند. به‌طور متوسط با توجه به نتایج به دست آمده در دو سیکل نهایی (سیکل‌های ۲۲ و ۲۳)، میزان جذب انرژی در مدل‌های با بازشو با الگوهای SL و SR در حدود ۱۴٪، و با الگوهای SLR و SC در حدود ۲۴٪ بزرگتر از



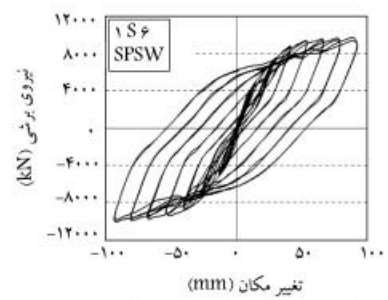
شکل ۱۱. تاریخچه‌ی جابه‌جایی سیکلی.



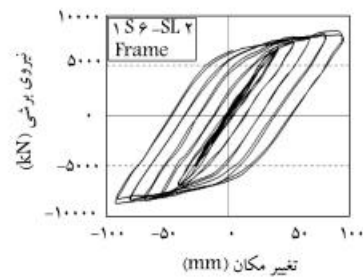
ج) قاب، مدل (1 S 6)



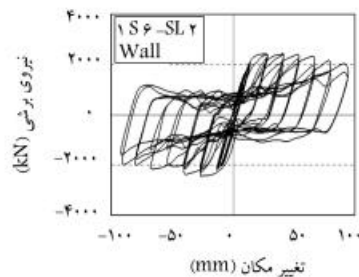
ب) ورق، مدل (1 S 6)



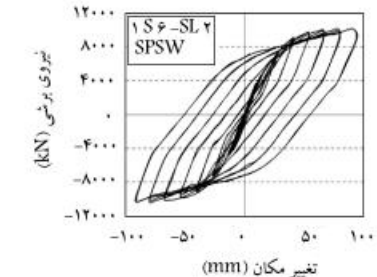
الف) دیوار برشی فولادی، مدل (1 S 6)



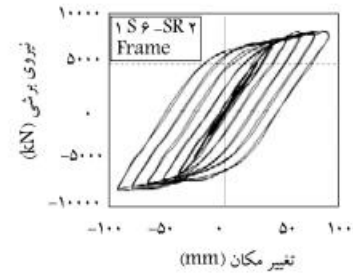
و) قاب، مدل (1 S 6-SL 2)



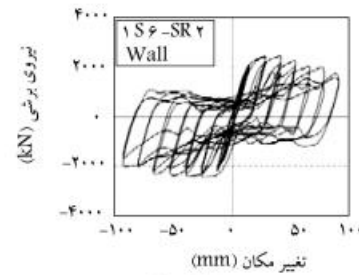
ه) ورق، مدل (1 S 6-SL 2)



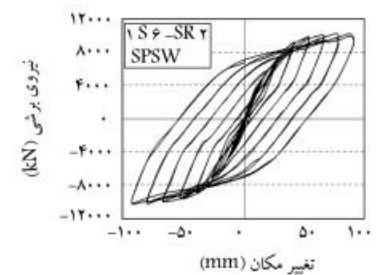
د) دیوار برشی فولادی، مدل (1 S 6-SL 2)



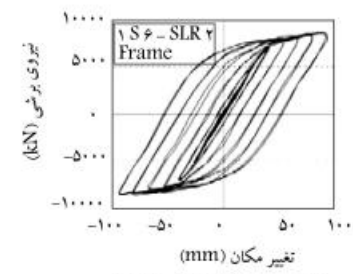
ط) قاب، مدل (1 S 6-SR 2)



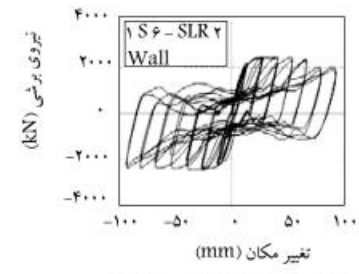
ح) ورق، مدل (1 S 6-SR 2)



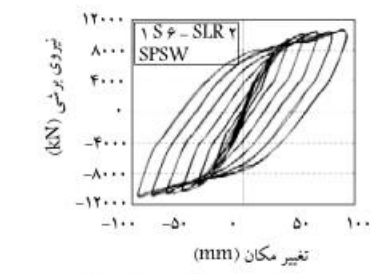
ز) دیوار برشی فولادی، مدل (1 S 6-SR 2)



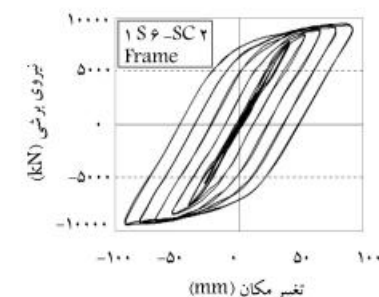
ل) قاب، مدل (1 S 6-SLR 2)



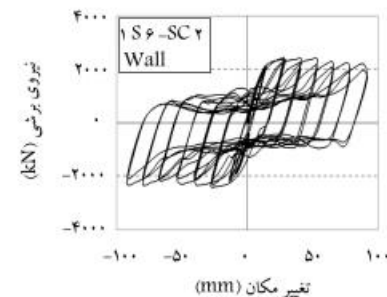
ک) ورق، مدل (1 S 6-SLR 2)



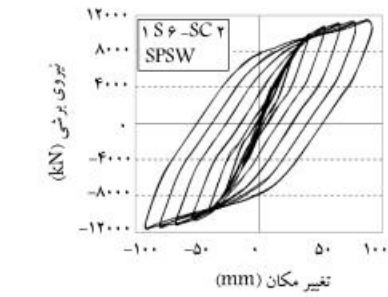
ی) دیوار برشی فولادی، مدل (1 S 6-SLR 2)



ش) قاب، مدل (1 S 6-SC 2)



ن) ورق، مدل (1 S 6-SC 2)



م) دیوار برشی فولادی، مدل (1 S 6-SC 2)

شکل ۱۲. منحنی‌های هیستریزیس سیستم‌های با بازشو و بدون بازشو.



