بررسی رفتار دیوارهای برشی فولادی با اشکال هندسی مختلف بازشو

رضا بمانیان
دانشجوی دوره دکتری،پژوهشگاه مدیریت بحران شاخص پژوه، اصفهان، ایران
Bemanian.r@gmail.com

حمزه شکیب
استاد، دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس،تهران، ایران
Shakib@modares.ac.ir

کلید واژه‌ها: *دیوار برشی فولادی ، رفتار لرزه ای ، بازشو با اشکال مختلف، تحلیل غیر خطی.*

چکیده

یکی از سیستم های مقاوم در برابر بارهای جانبی در ساختمانها، سیستم دیوار برشی فولادی است. این سیستم باتوجه به سختی و مقاومت بالا نسبت به سیستم های مقاوم دیگر دارای برتری خاص است؛ به گونه ای که در سه دهه اخیر کاربرد آن مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این سیستم با توجه به الزامات معماری طراحی و تأسیساتی، بعضاً نیاز به تعبیه بازشوهایی در طراحی و اجرا است؛ از طرفی نیز این بازشوها با اشکال مختلف ممکن است اثرات منفی به ظرفیت نهایی این نوع دیوارها ایجاد نمایند. بدین منظور در پژوهش حاضر به بررسی رفتار دیوارهای برشی فولادی با اشکال هندسی مختلف بازشو پرداخته شده است.

در متن مقاله حاضر این پژوهش با توجه به روش اجزاء محدود و با استفاده از نرم افزار ABAQUS تحلیل برای مقایسه ۴ شکل مختلف بازشو صورت گرفته است. برای این منظور از اشکال متعارف مربع، دایره، مثلث و لوزی برای بازشو استفاده شده است. نتایج این بررسی حاکی از آن است که با توجه به مساحت های تقریباً مساوی، اشکال مورد نظر رفتار متفاوتی با فرض رفتار غیر خطی مصالح از خود نشان داده اند.

مقدمه

اهمیت اثر نیروی جانبی با بالا رفتن ارتفاع ساختمان افزایش می یابد. در ارتفاع معینی تغییر مکان جانبی ساختمان چنان زیاد می شود که ملاحظات سختی، کنترل کننده طرح می گردند تا اینکه مقاومت مصالح سازه ای. درجه سختی اساساً بستگی به نوع سیستم دارد. بعلاوه بازده هر سیستم جانبی بهینه کردن سازه برای شرایط فضایی معینی باید با حداقل وزن حداکثر سختی حاصل شود. این عمل منجر به ابداع سیستم‌های سازه ای مناسب برای حدود ارتفاعات معین و کاربری مناسب ساختمانها می گردد (ولف ۱۳۷۱). به عنوان یک سیستم مقاوم سازه در برابر بارهای جانبی این سیستم در چند دهه اخیر دیوارهای برشی فولادی قبول واقع شده و در ساختمانهای متعددی در جهان به مورد اجرا گذاشته شده است. دیوارهای برشی صفحه فولادی یک نوع سیستم ابتکاری مقاوم در برابر باره ای جانبی باد و زلزله همانند بادبندها بوده ولی عملکرد بهتری نسبت به آنها دارد . این پدیدهٔ نوین که در جهان به سرعت رو به گسترش می باشد در ساخت ساختمانهای جدید و همچنین تقویت ساختمانهای موجود بخصوص در کشورهای زلزله خیزی همچون آمریکا و ژاپن بکار گرفته شده است (صبوری و همکاران ۱۳۸۲). دیوارهای برشی فولادی نوعی سیستم مقاوم جدید هستند که از سال ۱۹۷۰ دیوارهای برشی فولادی در بسیاری از ساختمان های با اهمیت و بلند مرتبه به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی باد و زلزله مورد استفاده قرار گرفته اند. در حالت کلی دیوارهای برشی فولادی از دو ستون در دو طرف ورق فولادی و تیر طبقات در بالا و پایین ورق تشکیل شده است. ورق فولادی و ستونها در ترکیب با همدیگر یک تیر ورق عمودی را تشکیل می دهند که در آن ستونها بالهای تیرورق، ورق فولادی جان و تیر طبقات سخت کننده های آن می باشند (حرآبادی و همکاران ۱۳۸۸). وظیفه اصلی دیوار برشی فولادی، مقاومت در برابر برش افقی طبقه و لنکر واژگونی ناشی از بارهای جانبی است (آستانه ۱۳۸۹).

درخلال چهار دهه گذشته، ازدیوار برشی فولادی به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بارجانبی که دارای عملکرد لرزه ای مناسبی می‌باشد، در طراحی و تقویت بعضی از ساختمانها استفاده شده است. از مزایای استفاده این سیستم نسبت به مشابه بتنی می توان به مواردی

همچون، کاهش وزن مرده ساختمان ودر نتیجه کاهش نیروی زلزله وارد برآن، افزایش سختی جانبی آن، کاهش ابعاد تیر و ستون ودر نتیجه افزایش فضای مفید طبقات و اجرای سریع آن اشاره نمود. اولین کار جدی برای بررسی مقاومت پانلهای برشی پس از کمانش جان آنها توسط واگنر در سال ۱۹۳۱ انجام گرفت. پس از او دانشمندان بسیاری چون کوهن، باسلر، راکی، پورتر و غیره برروی میدان کشش قطری تیرورقها مطالعه نمودندو به تدریج در محاسبه مقاومت نهایی آنها ، سختی بالها نیز با توجه به نتایج آزمایشگاهی در نظر گرفته شد (حقی و همکاران ۱۳۸۷).

در این سیستم مانند همه سیستم های سازه ای به لحاظ الزامات ضوابط معماری لازم است که بازشوهای چندگانه ای در دیوار برشی فولادی تعبیه شود. در این حالات، بازشو باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا به عنوان یک پنجره بتوان از آن استفاده کرد. ایجاد چنین بازشوهای بزرگی می تواند به شدت توزیع تنش را درون صفحه تغییر دهد و در اغلب اوقات مود شکست و رفتار صفحه بارگذاری شده را تحت تاثیر قرار می دهد. همچنین ملاحظات طراحی و ملاحظات غیر سازه ای از قبیل موقعیت و مسیر سیستم های تأسیساتی می تواند از دیگر عوامل موثر در ایجاد بازشوهای چندگانه در دیوارهای برشی فولادی باشد.

تا کنون تحقیقات ارزشمندی برای ارزیابی رفتار صفحات برشی فولادی و جان لاغر تیرورق‌ها انجام شده است که از جمله این تحقیقات می توان به مدل های صبوری و روبرتز در سال ۱۹۹۲ که مطالعاتی در مورد نمونه های بدون سخت کننده و با بازشوی دایره در وسط دیوار انجام داده اند پرداخت. آنها در انتها ضریب محافظه کارانه کاهشی $(1-D/d)$ را برای تخمین مقاومت و سختی پانل بازشودار پیشنهاد نموده اند که در آن D قطر بازشو و d ارتفاع پانل می باشد. در سال ۲۰۰۰ نیز دیلمی و دستفان تأثیر بازشو مستطیلی بزرگ و برخی پارامترهای هندسی را بر رفتار دیواربرشی مورد مطالعه قرار دادند. با این وجود، این مطالعات برای بررسی موقعیت چند بازشوی همزمان برای صفحات برشی فولادی از اعتبار کافی برخوردار نیست. اطلاعات بسیار کمی در خصوص رفتار و ظرفیت برشی این نوع از صفحات وجود دارد که از آن جمله می‌توان به کارهای وین و برونیو سال ۲۰۰۴ اشاره داشت، در این تحقیق سه نمونهٔ دیوار برشی فولادی با مقاومت تسلیم پایین را طراحی و تحت بارگذاری چرخه ای مورد آزمایش قرار دادند اشاره کرد که دو نمونه از این سه نمونه دارای بازشو بودند. در این آزمایش یکی از نمونه ها دارای ۲۰ عدد بازشو دایره ای هریک به قطر ۲۰۰ میلیمتر بود. وجود سوراخ های متعدد در نمونه علاوه بر ملاحظات معماری، دسترسی به تأسیسات را تسهیل می بخشد. همچنین جیان و لی سال ۲۰۱۳ در تحقیقی سه نمونهٔ دیوار برشی فولادی سه طبقه بدون بازشو و با بازوشو از هتل بین المللی تیانجین چین با مقیاس ۲۰٪ وضخامت صفحه فولادی ۴ میلیمتر را مورد آزمایش و بررسی قرار دادند. مقایسه سختی شکل پذیری و جذب انرژی بر اساس نتایج با بارگذاری چرخه ای معکوس در دو مدل آزمایشگاهی و نرم افزاری مدل شده مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که دیوار برشی فولادی سخت شونده دارای مقاومت بالاتر و شکل پذیری خوب و ظرفیت جذب انرژی بالاتر است که بدیهی است در مدل با بازشو که سختی و مقاومت کاهش می یابد سخت کننده می تواند استفاده شود و منهنی هیسترزیس نمونه های آزمایشگاهی با نرم افزاری مقایسه شد که نشان‌دهنده نزدیکی جواب های این ۲ روش می باشد همچنین نهایتا یک روش ساده طراحی برای محاسبه ظرفیت مقاومت جانبی ارائه شد که این روش بر اساس مکانیسم خرابی دیوار برشی با سخت کننده با در نظر گرفتن اثر قاب خمشی و اثر طره ای می باشد.

از نتایج تحقیقات انجام شده ضرایبی در بدست آوردن مقاومت دیواربرشی فولادی پیشنهاد گردید. مزایای فنی و اقتصادی دیوار برشی فولادی از طرفی الزامات معماری طراحی و تأسیساتی که بعضاً نیاز به تعبیه بازشوهایی با اشکال مختلف می شود؛ که این نوع بازشوها اثرات منفی به ظرفیت نهایی این نوع دیوارها ایجاد می نماید باعث شده است که اطلاعات دقیق خصوصاً درباره تأثیرات مشخصات بازشو بر مقاومت و ظرفیت پس از کمانش صفحه وسختی سیستم برای طراحان این نوع از سازه‌ها از اهمیت حیاتی برخوردار باشد.

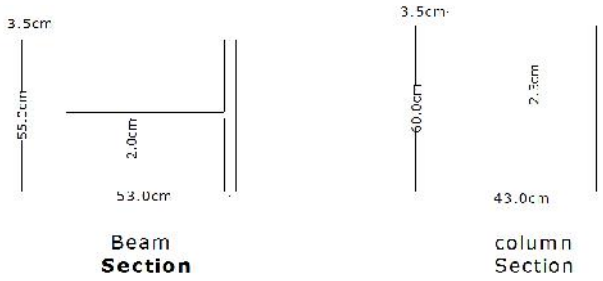
مدلسازی اجزاء محدود و صحت سنجی آن

در این تحقیق از برنامه المان محدود غیرخطی ABAQUS جهت مدلسازی و تحلیل نمونه ها استفاده شده است، تا علاوه بر بررسی مجدد صحت مدلسازی، بتوان با استفاده از آن به مطالعه رفتار و بررسی رفتار این نوع سیستم با بازشو پرداخته شود. این نرم افزار قادر به تحلیل نمونه ها به کمک دو روش Standard (استاندارد) و Explicit (صریح دینامیکی) در تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه ها می باشد. در این مقاله با توجه به کار تحقیقاتی انجام شده (بمانیان، عسگری، عسگری و بمانیان ۱۳۹۱) به دلیل نزدیک بودن پاسخ های مدل به پاسخ های ناپایداری سازه شامل ناپایداری جانبی که ناشی از تغییر شکل ناگهانی خارج از صفحه ورق فولادی است با توجه به عملکرد ضعیف روش ضمنی، از روش صریح دینامیکی (Explicit) برای همگرا کردن جوابها استفاده شده است. ورق و اعضای مرزی با المان shell که یک المان چهار گرهی دو انحنایی با انتگرال گیری کاهش یافته مدل شده که دلیل انتخاب این المان به عنوان المان مرزی را می توان به دلیل اتفاق افتادن کمانش موضعی در المانها دانست. هر گره از المان فوق دارای ۶ درجه آزادی یعنی ۳ درجه انتقالی و ۳ درجه دوران می باشد. اعتبار سنجی مدل اجزا محدود مورد بررسی بر روی کارهای تحلیلی وین و برونیو ۲۰۰۴ انجام پذیرفته است.

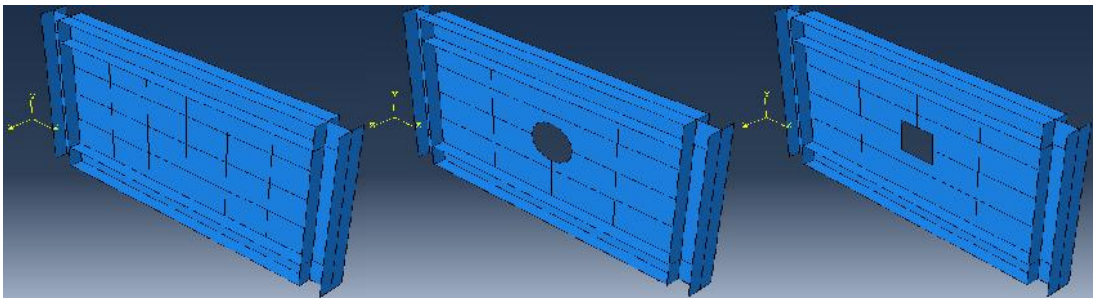
مشخصات نمونه ها

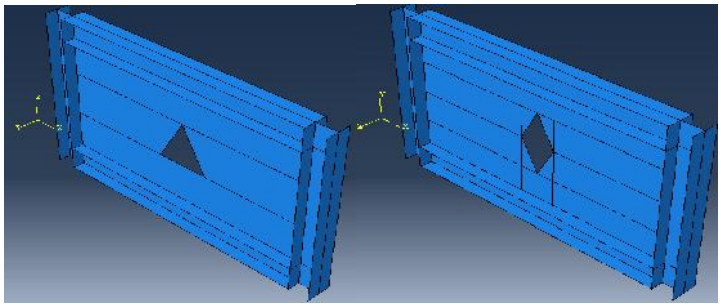
جدول۱ مشخصات هندسی پانل ها و سخت کننده ها را نشان می دهد که در جدول زیر عرض و ارتفاع پانل ها به ترتیب فواصل مرکز به مرکز ستون و تیر واقع در اطراف پانل ها می باشند. ابعاد بازشوهای موجود به گونه ای انتخاب شده که مساحت بازشو ها تقریباً برابر باشند. بدین منظور ضلع بازشو مربعی ۰.۸ متر، شعاع بازشو دایره ای ۰.۵ متر، ارتفاع و قاعده بازشو مثلثی به ترتیب ۱.۱ و ۱.۲ متر می باشد همچنین قطر بزرگ و قطر کوچک بازشو لوزی به ترتیب ۱.۶ و ۰.۸۸ متر می باشد. تمام بازشوها در وسط ورق دیوار برشی قرار دارند. در تمام مدل های مورد بررسی از مصالح فولادی به صورت ایزوتروپیک با رفتار غیر الاستیک سخت شونده دو خطی استفاده شده است. فولاد انتخابی از نوع ST37 با مدول الاستیسیته $2.1\times10^{11} N/m^2$ و تنش تسلیم $2.4\times10^{8} N/m^2$ و ضریب پواسون ۰.۳ می باشد. همچنین جهت بررسی رفتار غیر خطی مصالح معیار فون-میزس به عنوان ضابطه تسلیم انتخاب شده است.

مقاطع تیر و ستون بصورت I شکل مطابق شکل (۱) انتخاب گردید.



شکل ۱- مشخصات مقاطع تیر و ستون





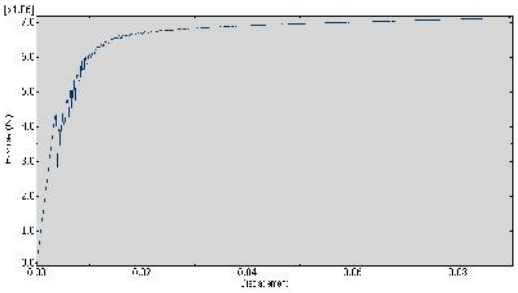
شکل۲- نمایش موقعیت و اشکال مختلف بازشوها

جدول۱- مشخصات هندسی پانل ها و بازشوها- تمام ابعاد به cm

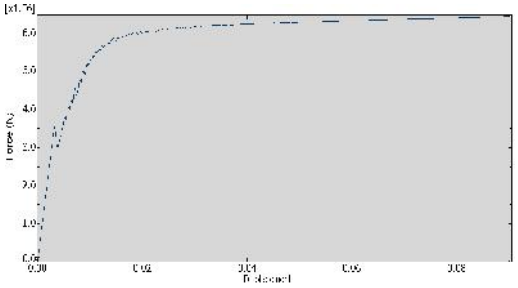
مدل	نوع پانل	ارتفاع پانل	عرض پانل	ضخامت ورق فولادی	مساحت بازشو
۱	بدون بازشو	۳۵۰	۶۵۰	۰.۷	۰
۲	با بازشو دایره ای	۳۵۰	۶۵۰	۰.۷	۷۸۵
۳	با بازشو مربعی	۳۵۰	۶۵۰	۰.۷	۶۴۰
۴	با بازشو لوزی	۳۵۰	۶۵۰	۰.۷	۶۴۰
۵	با بازشو مثلثی	۳۵۰	۶۵۰	۰.۷	۶۶۰

تحلیل نمونه‌ها

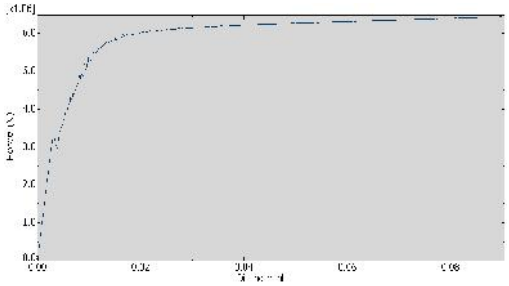
منحنی پوش نمونه ها با اعمال تغییرمکان بیشتر از تغییرمکان هدف که برابر (۰.۰۲h) بود توسط تحلیل دینامیکی نرم افزار بدست آمد این منحنی های پوش‌اور تحت بار یکنوا در شکل ۳ الی ۷ نشان داده شده است. محور افقی تغییرمکان می باشد که واحد آن میلیمتر است.



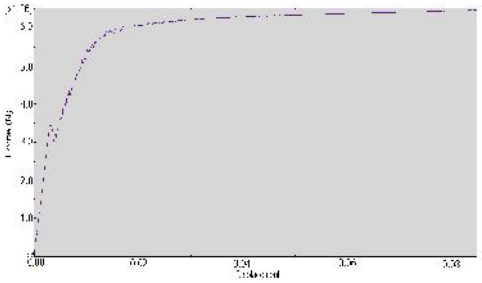
شکل ۳- دیاگرام بار- جابجایی مدل بدون بازشو



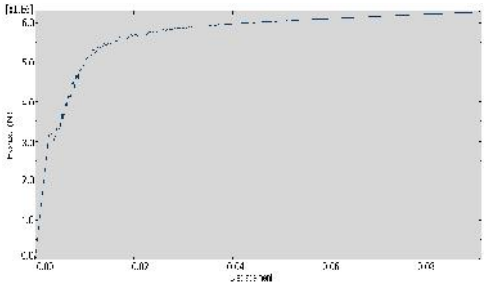
شکل ۴ - دیاگرام بار- جابجایی مدل ش با بازشو مربعی



شکل ۵- دیاگرام بار- جابجایی مدل با بازشو دایره ای



شکل ۶- دیاگرام بار- جابجایی مدل با بازشو لوزی



شکل ۷ - دیاگرام بار- جابجایی مدل با بازشو مثلث

همانطور که در منحنی ها بالا نشان داده شده است، شکل ۳ یعنی مدل بدون بازشو دارای مقاومت نهایی حدودی ۷۱۰۰ (KN) بوده در صورتی که در نمونه های دارای بازشو این مقاومت نهایی به عدد حدودی ۶۴۰۰ (KN) رسیده است.

جدول شماره (۲) مقادیر محاسبه شده را نشان می دهد. برای تعیین سختی از شیب اولیه منحنی بار-تغییرمکان استفاده شده است. برای تعیین مقاومت سیستم نیز بیشترین نیروی تحمل شده در منحنی بار-تغییرمکان مد نظر می باشد.

جدول ۲- مقایسه سختی و مقاومت نمونه های تحلیلی با بازشو مربعی و دایره ای

وضعیت ورق فولادی (نمونه)	درصد کاهش سختی نمونه	درصد کاهش مقاومت نمونه
۱	٪۰	٪۰
۲	٪۹.۳۳	٪۹.۸
۳	٪۱۰.۰۲	٪۱۰.۲۰
۴	٪۹.۸۷	٪۱۰.۱۷
۵	٪۱۰.۰۹	٪۱۲.۳۴۹

نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر ۵ نمونه دیوار برشی یک طبقه یک دهانه با استفاده از نرم افزار المان محدود ABAQUS تحلیل شده و با توجه به نمودارها و جدول ارائه شده نتایج زیر حاصل می گردد:

- مقایسه دیاگرام های بار-جابجایی نمونه ها نشان می دهد که با توجه به کاهش مساحت دیوار برشی به دلیل وجود بازشو این دیوار داری پایداری نسبتاً مناسبی بوده و ناپایداری در آن رخ نمی دهد در نتیجه می توان از این نوع سیستم در مقاوم سازی ساختمانهای ساخته شده و در حال ساخت استفاده نمود.
- البته با ایجاد بازشو در سیستم دیوار برشی فولادی از میزان سختی و مقاومت این سیستم کاسته شده است.
- با وجود اینکه بازشوهای مربعی، مثلث و لوزی تقریباً ٪۲۰ مساحت کمتری نسبت به بازشو دایره ای دارد اما درصد بیشتری از مقاومت و سختی دیوار کاسته است، که این امر با توجه به گوشه های تیز در این بازشو که باعث تمرکز تنش می شوند قابل توجیه می باشد.

مراجع

- آستانه اصل ا (۱۳۸۹) رفتار لرزه ای و طراحی دیوارهای برشی فولادی، نشر علوم رایانه چاپ اول

- بمانیان ر (۱۳۹۱) بررسی اثر همزمان چند بازشو در رفتار لرزه ای دیوار برشی فولادی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی

- حرآبادی فراهانی س، ناطقی الهی ف، برقی م (۱۳۸۸) مطالعه تحلیلی اثر تقویت در رفتار دیوار برشی فولادی بازشودار، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله

- حقی ن، واثقی ج، حسینعلی بیگی م، قدرتی غ.ر (۱۳۸۷) بررسی تاثیر بازشو در رفتار دیوار برشی فولادی، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران

- صبوری س، حاتمی ف (۱۳۸۲) تأثیر تقویت تیر بر روی دیوارهای برشی فولادی، چهارمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

- عسگری مارنانی جعفر، بمانیان رضا (۱۳۹۱) رفتار دیوارهای برشی فولادی با بازشوهای متعدد دوگانه دایره ای شکل، دومین کنفرانس ملی سازه زلزله ژئوتکنیک مازندران

- عسگری مارنانی جعفر، بمانیان رضا (۱۳۹۱) موقعیت مناسب بازشوهای دایره ای شکل دیواربرشی فولادی در مقاوم سازی ساختمانها، دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران تهران

- ولف گانگ شولر (۱۳۷۱) سازه های ساختمانهای بلند ترجمه: عادلی ،حجت الله انتشارات دهخدا

Deylami A Dafari H (2000) Nonlinear behavior of steel plate shear wall with large rectangular opening, 12th World Conference on Earthquake Engineering

Jian-Guo Nie, Li Zhu, Jian-Sheng Fan, Yi-Lung Mo (2013) Lateral resistance capacity of stiffened steel plate shear walls, Journal of Thin-Walled structures

Roberts T M, Sabouri-Ghomi S (1991) Hysteretic characteristics of unstiffened perforated steel plate shear panels, Journal of Thin-Walled Structures, 12(2), 145-162

Vian, D, Bruneau M (2004) Testing of special LYS steel plate shear wall, 13th World Conference on Earthquake Engineering