



کد مقاله: ۱۲۳-۱

بررسی رفتار هیستریزیس دیوارهای برشی فولادی دوجداره دارای بازشو

حسین شوکتی^۱، لقمان سیبی^۲

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه ارومیه، H.Showkati@mail.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه

چکیده

در دهه‌های گذشته استفاده از دیوارهای برشی فولادی بعلت عملکرد فوق العاده آن در ساختمان‌های مرتفع بعنوان سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین از این سیستم جهت تقویت ساختمان‌های موجود در کشورهای لرزه خیز استفاده می‌شود. در این مطالعه رفتار دیوارهای برشی فولادی دوجداره دارای بازشو بصورتی که دو پانل پرکننده با فاصله معین از هم در داخل قاب فولادی قرار گرفته، تحت بارگذاری چرخه‌ای با انجام تحلیل‌های غیرخطی هندسی و مصالح در نرم افزار المان محدود ABAQUS بررسی شده و پارامترهای نظیر سختی، مقاومت و رفتار هیستریزیس مورد ارزیابی قرار گرفته است. براساس نتایج تحلیلی استفاده از دیوارهای برشی فولادی دوجداره دارای بازشو عملکردی مناسبتر نسبت به نمونه معمول دیوارهای برشی فولادی دارا می‌باشد.

کلمات کلیدی: دیوار برشی فولادی دوجداره، بارگذاری چرخه‌ای، اتلاف انرژی، ظرفیت نهایی

۱- مقدمه

دیوار برشی فولادی سیستمی نسبتاً جدید است که از سال ۱۹۷۰ به دلیل مزایای ویژه آن مورد توجه محققین قرار گرفته است. مطالعات گسترده‌ای بر روی رفتار انواع مختلف این سیستم انجام شده است. در صورت طراحی درست و صحیح یک دیوار برشی فولادی، این سیستم دارای شکل‌پذیری بالا، قابلیت جذب انرژی زیاد و همچنین یک سیستم مهاربندی کارآمد خواهد بود. این سیستم دارای سختی اولیه بالا می‌باشد که و در محدود کردن جابجایی جانبی سازه‌ها بسیار مؤثر می‌باشد [۱]. Roberts and Sabouri-ghomi 1991 [۲] با انجام یکسری از آزمایشات شبه‌استاتیکی بر روی ۱۶ نمونه پانل نازک تقویت نشده که تعدادی از پانل‌ها دارای بازشو بودند به بررسی مشخصات بار-تغییر مکان نمونه‌ها پرداخته‌اند. اتصالات قاب به صورت مفصلی می‌باشد و ورق به اعضا مرزی با استفاده از پیچ متصل شده است. تمام پانل‌ها شکل‌پذیری کافی و قابلیت جذب انرژی زیادی از خود نشان دادند. همچنین محققین یک روش تئوریک برای محاسبه ظرفیت دیوارهای برشی بنام اندرکنش ورق و قاب (PFI) ارائه نمودند. با بررسی نمونه‌های آزمایشگاهی دارای بازشو Roberts and Sabouri-ghomi ضریب اصلاح تجربی (1-D/d) را برای کاهش مقاومت و سختی دیوارهای برشی فولادی بعلت وجود بازشو پیشنهاد نمودند، که D قطر بازشو و d ارتفاع پانل می‌باشد. Kharrazi و همکاران [۳] در جهت بهبود نتایج ارائه شده توسط Roberts and Sabouri یک مدل تئوری بنام اندرکنش اصلاح شده قاب و ورق (M-PFI)

(برای آنالیز برشی و خمشی دیوار با ورق فولادی شکل پذیر پیشنهاد نمودند. این مدل رفتار دیوار برشی را به سه مدل کماتش الاستیک، پس کماتش و تسلیم تقسیم می کند. اندرکنش بین رفتار برشی و خمشی دیوار برشی فولادی، و بطور کامل رفتار سیستم SPW را تشریح می کند. Chen و C. Jhang [۴] با بررسی رفتار دیوار برشی فولادی با تنش تسلیم پایین به بررسی تغییرشکل های و ظرفیت استهلاک انرژی دیوار برشی فولادی پرداخته اند. دو نمونه دیوار برشی LYP تحت بارگذاری چرخه ای را بررسی کرده اند. نمونه ها بصورت یکسان طراحی شده با این تفاوت که در یک نمونه اتصال تیر به ستون بصورت صلب و در نمونه دیگر اتصال ساده بکار برده شده است. برای نمونه با اتصال تیر به ستون صلب از تیر با مقطع کاهش یافته (RBS) برای اتصال استفاده شده است مقاومت نهایی نمونه با اتصال صلب، ۲۸٪ بیشتر از نمونه با اتصال ساده می باشد. Zhang و همکاران [۵] به بررسی دیوارهای برشی فولادی تقویت شده با بتن پرداخته، ۴ نمونه CSPSW و یک نمونه SPSW را مورد آزمایش قرار داده و نتایج نشان داده که هر دو نوع دیوار برشی فولادی دارای شکل پذیری مناسبی می باشند. برای SPSW تنها، بروز کماتش موجب کاهش ظرفیت باربری و استهلاک می شود. علاوه بر این، با جوش دادن سخت کننده ها در گوشه های CSPSW ها ظرفیت استهلاک انرژی افزایش داده و اضافه کردن پوشش بتنی راهی برای بهبود رفتار SPSW می باشد. مطالعات انجام شده توسط محققین نشان می دهد که اضافه کردن یک لایه بتنی روی صفحه فولادی باعث افزایش سختی و بهبود رفتار کماتشی می شود. همچنین نتایج نشان می دهد که لایه بتنی باعث توزیع بهتر تنش در صفحه فولادی شده و خطوط میدان تنش را در ناحیه بیشتری گسترش می دهد. تنها تفاوت میان سیستم معمول و سیستم جدید ارائه شده توسط Zhang و همکاران شکاف و فاصله بین دیوار بتنی و ستون و تیرهای اطراف سیستم می باشد. در سیستم معمول بتن بدون فاصله به ستون و تیرهای کناری متصل می شود این فاصله به ظاهر ساده منجر به بهبود قابل توجه عملکرد دیوار برشی و شکل پذیری و کاهش خسارت می شود. H. Valizadeh و همکاران [۶] به بررسی تأثیر ضریب لاغری، نسبت بازشو و همچنین مدهای شکست دیوار برشی فولادی با اتصال پیچی ورق به اعضای مرزی پرداخته است نمونه های دیوار برشی فولادی ساخته شده تحت بارگذاری چرخه ای قرار گرفته اند. بررسی نتایج آزمایشگاهی نشان دهنده سختی اولیه و مقاومت بالا در دیوار برشی فولادی می باشد. وجود بازشو در مرکز پانل تغییر مکان خارج صفحه حاصل از کماتش ورق را در قطر اصلی متمرکز کرده که با افزایش قطر این عملکرد مشهودتر است. در نمونه های بدون بازشو با توجه به مقاومت بالای ورق فولادی، دارای مد شکست و لهیدگی و برش در اتصالات پیچی ورق به اعضای مرزی بوده اند. همچنین در نمونه های با ضخامت ورق کمتر و دارای بازشو بعلاو تمرکز تنش در اطراف بازشو مد شکست، گسیختگی ورق در اطراف بازشو بوده است. و در عین حال عملکرد شکل پذیر و پایداری سیستم تا دریافت ۶ درصد و جذب انرژی بالا در سیکل های رفت و برگشتی بار بوده است.

با تشکیل میدان کششی در پانل های پرکننده توزیع نیروها داخل پانل تحت تأثیر عواملی از قبیل هندسه پانل، سختی تیرها و ستون های مجاور، ضخامت صفحه و زاویه میدان کششی و... می باشد. نتایج تحلیل های انجام شده نشان داده اند در صورت افزایش ضخامت ورق پرکننده نیاز به ستون های قوی تر جهت توسعه میدان کششی در پانل پرکننده می باشد. در مورد اثر سختی ستون ها بر خرابی دیوارها مشاهده شده است که زمانی که دیوار با ستون های قوی احاطه می شود، تسلیم شدگی ها ابتدا در ورق شکل می گیرد و با توسعه تغییرشکل های پلاستیک در ورق به پارگی ورق منجر می شود. در صورت عدم استفاده از قاب قوی میدان کششی در گوشه های پانل ایجاد نشده و نمی توان از کل ظرفیت ورق استفاده کرد. ایجاد یک قاب بسیار قوی در کنار ورق با ضخامت بالا منجر به وارد آمدن نیروهای قابل ملاحظه ای به سیستم باربر جانبی می شود. و این نیروها اثرات خود را در اتصالات تیر به ستون نشان می دهند. تا کنون روش های متعددی جهت بهبود رفتار دیوارهای برشی فولادی از جمله استفاده از انواع سخت کننده ها تقویت به وسیله الیاف پلیمری و استفاده از بتن جهت تقویت پانل فولادی پیشنهاد و مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه به اثرات استفاده از دیوار برشی فولادی دوجداره که دو پانل با فاصله ثابت از هم در قاب فولادی محصور شده و توسط المان های رابط

به هم متصل شده‌اند بصورتی که مجموع ضخامت دو پانل پرکننده در سیستم دوجداره برابر با ضخامت ورق در سیستم دیوار برشی فولادی معمولی می‌باشد پرداخته شده است.

۲- مدل‌های مورد مطالعه

۲-۱- مشخصات مدل‌ها

مطابق با توصیه AISC نسبت L/h دیوارهای برشی فولادی به $2,5 < L/h < 0,8$ محدود شده است [۷]. در این تحقیق از سه مدل دیوار برشی فولادی یک طبقه تک دهانه با نسبت‌های L/h برابر با ۰,۸ ، ۱ و ۱,۲ استفاده شده است. پانل‌های پرکننده با فاصله‌ای به اندازه عرض تیرهای تراز سقف و کف از هم قرار دارند. در نمونه‌های دارای بازشو با استفاده از چهار المان لوله‌ای رابط، پانل‌های پرکننده را بهم متصل کرده و در محل بازشو از یک رینگ به قطر بازشو و ضخامت پانل پرکننده استفاده شده است تا پانل‌های پرکننده عملکردی هماهنگ داشته باشند. به این منظور نمونه‌های مورد مطالعه در مقیاس کامل توسط نرم افزار المان محدود مدلسازی و تحلیل شده است. بازشوها بصورت دایره‌ای و در ۳ نسبت ۵، ۱۵ و ۳۰ درصد از سطح پانل پرکننده ایجاد شده است. در جدول ۱ مشخصات نمونه‌ها نشان داده شده است. نمونه‌های مورد مطالعه براساس *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings ANSI/AISC 341* [۷] طرح شده‌اند. اتصال تیر به ستون از نوع اتصال صلب با سطح مقطع کاهش یافته مطابق با *AISC 358* [۸] در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ مشخصات سطح مقطع کاهش یافته نشان داده شده است. رابطه تیر ضعیف - ستون قوی رعایت گردیده است. مفاصل پلاستیک مجاز به تشکیل در انتهای اعضای مرزی قائم (VBE) و عمودی (HBE) می‌باشد.

۲-۲- مشخصات مصالح

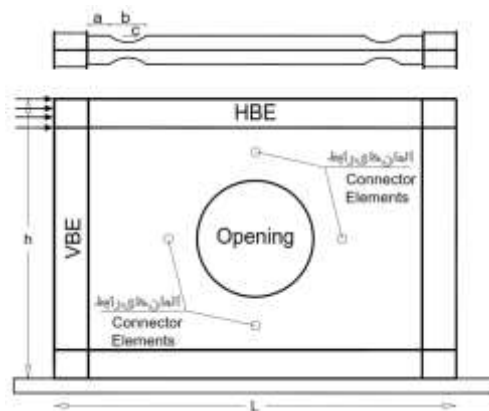
برای اعضای مرزی و پانل پرکننده بترتیب استفاده شده از فولاد *ASTM-A572* و *ASTM-A36* که نمودارهای تنش کرنش تعیین شده در شکل ۲ نشان داده شده است. مقدار مدول الاستیسته برابر با 200 GPa و ضریب پواسون برابر با $\nu = 0,3$ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱: مشخصات هندسی نمونه‌ها

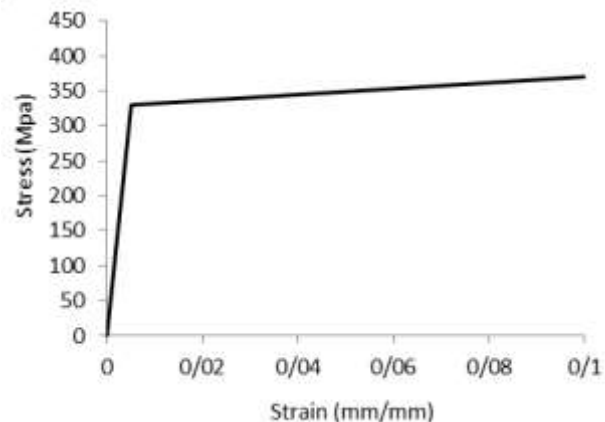
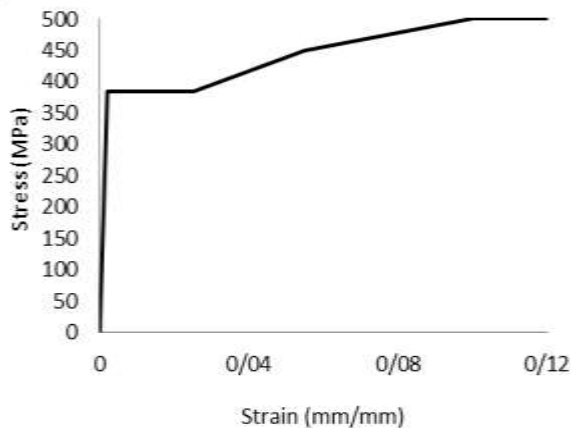
درصد بازشو	سایز اعضای مرزی		ضخامت پانل پرکننده (mm)	نسبت عرض به ارتفاع L/h	ارتفاع دهانه h(mm)	عرض دهانه L(mm)	مدل
	اعضای افقی	اعضای قائم					
۰	W14x109	W14x132	۱,۳	۰,۸	۴۸۰۰	۴۰۰۰	SPW0.8
۵٪	W14x109	W14x132	۱,۳	۰,۸	۴۸۰۰	۴۰۰۰	SPW0.8
۱۵٪	W14x109	W14x132	۱,۳	۰,۸	۴۸۰۰	۴۰۰۰	SPW0.8
۳۰٪	W14x109	W14x132	۱,۳	۰,۸	۴۸۰۰	۴۰۰۰	SPW0.8
۰	W14x109	W14x120	۲	۱	۴۰۰۰	۴۰۰۰	SPW1
۵٪	W14x109	W14x120	۲	۱	۴۰۰۰	۴۰۰۰	SPW1
۱۵٪	W14x109	W14x120	۲	۱	۴۰۰۰	۴۰۰۰	SPW1
۳۰٪	W14x109	W14x120	۲	۱	۴۰۰۰	۴۰۰۰	SPW1
۰	W14x120	W14x132	۳	۱,۲	۴۰۰۰	۴۸۰۰	SPW1.2
۵٪	W14x120	W14x132	۳	۱,۲	۴۰۰۰	۴۸۰۰	SPW1.2
۱۵٪	W14x120	W14x132	۳	۱,۲	۴۰۰۰	۴۸۰۰	SPW1.2
۳۰٪	W14x120	W14x132	۳	۱,۲	۴۰۰۰	۴۸۰۰	SPW1.2

جدول ۲: ابعاد کاهش یافته بال

W 14x109	W 14x120	ابعاد RBS
۲۰۰	۲۵۰	a (mm)
۲۸۰	۳۰۰	b (mm)
۵۰	۵۰	c (mm)



شکل ۱: نمای مدل مورد مطالعه دیوار برشی فولادی دو جداره



ب- نمودار تنش - کرنش مصالح مورد استفاده در اعضای مرزی

الف- نمودار تنش کرنش مصالح مورد استفاده در پانل پرکننده

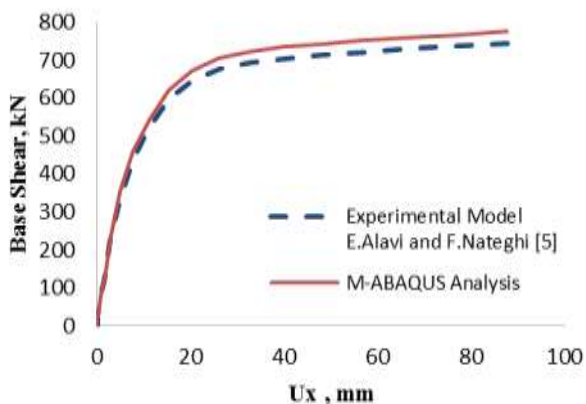
شکل ۲: نمودار تنش کرنش مصالح

۲-۳- مدل‌سازی عناصر محدود و کنترل صحت مدل‌سازی

در این تحقیق از نرم افزار ABAQUS جهت مدل‌سازی و تحلیل نمونه‌ها استفاده شده است. این نرم‌افزار قادر به حل مسائل مهندسی با درجات غیرخطی بالا می‌باشد. بررسی رفتار مدهای مورد نظر براساس تحلیل استاتیکی بارافزون و شبه استاتیکی غیرخطی شامل غیرخطی هندسی و غیرخطی مصالح صورت گرفته است. تا علاوه به بررسی مجدد صحت مدل‌سازی بتوان با استفاده از آن به مطالعه پارامترهای مؤثر بر رفتار دیوار برشی فولادی بازشودار پرداخت. در مدل‌سازی برای در نظر گرفتن کماتش جانبی اعضای مرزی و پانل پرکننده تمام اعضای مرزی و اجزاء تشکیل دهنده پانل از المان Shell که یک المان ۴ گرهی (S4R) دو انحنایی با انتگرال‌گیری کاهش یافته می‌باشد استفاده شده است هر گره از المان مذکور دارای ۶ درجه آزادی انتقالی و ۳ درجه آزادی دورانی می‌باشد. اتصال ورق به قاب گیردار فرض شده و در مدل‌سازی اتصال ستون به بیس-پلیت گره‌های پایین دو ستون در تمام جهات مقید شده همچنین تغییرشکل خارج از صفحه جان تیر در تراز سقف جلوگیری و بارگذاری در محل اتصال تیر به ستون در تراز سقف اعمال شده است. تغییرشکل‌های ناگهانی خارج از صفحه ورق فولادی بعلت توسعه میدان کششی سبب مشکلات همگرایی در آنالیز سیستم دیواربرشی فولادی می‌گردد. با توجه به عملکرد ضعیف روش المان محدود ضمنی، روش صریح دینامیکی برای آنالیز سازه‌ها انتخاب گردید. در کارهای آزمایشگاهی پایان آزمایش معمولاً با گسیختگی‌هایی نظیر پارگی ورق، شکست اتصال و ... مشخص می‌شود. برای مقایسه نیروهای برشی نمونه‌های مورد مطالعه معیاری مطابق با نتایج آزمایشات انجام شده در زمینه دیوار برشی فولادی با مقیاس کامل که برابر با تغییرمکان نسبی (دریفت) ۴ تا ۵ درصد ارتفاع دیوار در نظر گرفته شده است. در مدل‌های مورد بررسی جابجایی افقی در جهت بارگذاری جانبی تا دریفت ۵ درصد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با توجه به امکان وجود خطاهای ساخت در حین مونتاژ سیستم دیوار برشی فولادی، ناکاملی اولیه‌ای به میزان $h/500$ در جهت عمود بر پانل پرکننده در تمام مدل‌ها لحاظ شده است.

جهت کنترل و اعتبارسنجی مدل‌سازی از مدل آزمایشگاهی E.Alavi and F.Nateghi [۹] مطابق با شکل ۳ استفاده شده است. نمونه به‌وسیله نرم‌افزار مدل‌سازی شده و مورد تحلیل قرار گرفته است. با توجه به نتیجه بدست آمده از تحلیل نمودار بار-تغییرمکان نشان داده در شکل ۴ می‌توان

مدل‌سازی توسط نرم افزار را بعنوان یک مدل قابل اعتماد پذیرفت. همچنین معیار سنجش تحلیل شبه استاتیکی با بررسی انرژی جنبشی سیستم کنترل می‌گردد که باید در طول تحلیل مقدار آن ناچیز باشد.

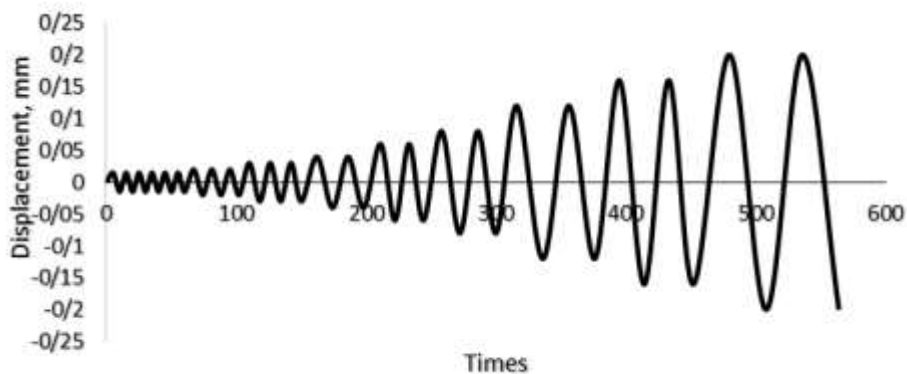


شکل ۴: مقایسه نتایج تحلیلی با مدل آزمایشگاهی

شکل ۳: نمونه آزمایش شده توسط E.Alavi and F.Nategh

۲-۴- نحوه اعمال بارگذاری بر روی نمونه‌ها

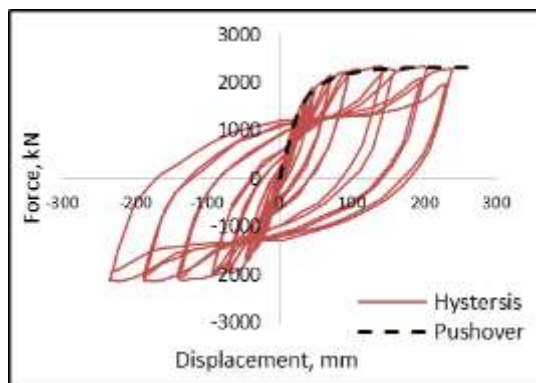
نحوه اعمال بارگذاری بر روی نمونه‌ها که بصورت چرخه‌ای بوده و مطابق با آئین نامه ATC-24 [۱۰] می‌باشد. تاریخچه زمانی بارگذاری بصورت شکل ۵ می‌باشد. این بارگذاری شامل اعمال تغییر مکان بر تیر بالایی متصل به ستون‌ها و ورق بوده و مقادیر مربوطه با توجه به قواعد آئین نامه بدست آمده است.



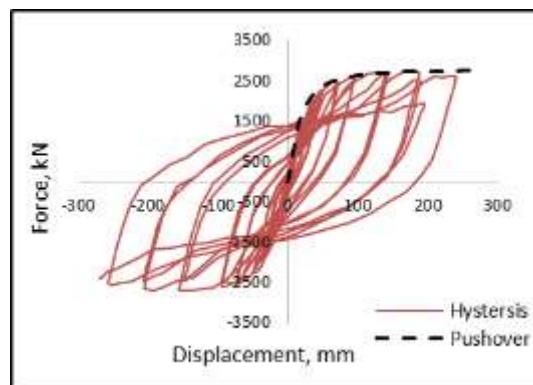
شکل ۵: نمودار بارگذاری چرخه‌ای

۳- بحث و بررسی

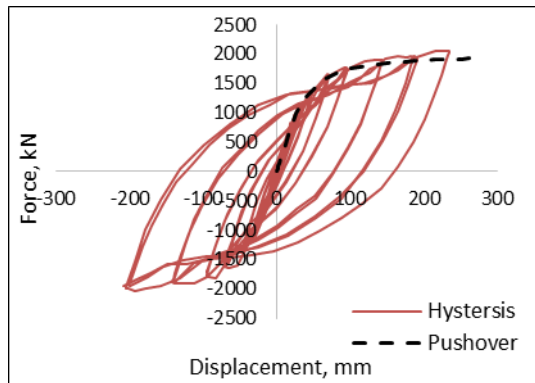
نمودارهای بار-تغییرمکان مربوط به نمونه‌های SPW0.8 در شکل‌های ۶ الی ۹ نشان داده شده است. مطابق با نمونه‌های نشان داده شده مقاومت نهایی نمونه بدون بازشو برابر با ۲۷۳۵ کیلونیوتن بوده همچنین در نمونه‌های دارای بازشو ۵، ۱۵ و ۳۰ درصد بترتیب برابر با ۲۳۱۱، ۲۱۵۵ و ۱۹۱۷ کیلونیوتن می‌باشد که نمونه‌های دارای بازشو نسبت به نمونه بدون بازشو بترتیب ۱۸، ۲۷ و ۴۳ درصد کاهش ظرفیت باربری مشاهده شده است.



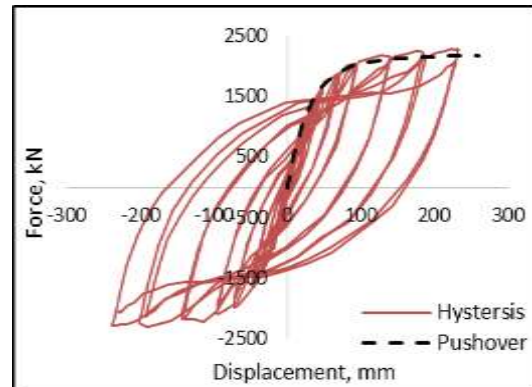
شکل ۷: نمودار بار-تغییرمکان نمونه SPW0.8-Open5% دارای بازشو



شکل ۶: نمودار بار-تغییرمکان نمونه SPW0.8-unopen بدون بازشو

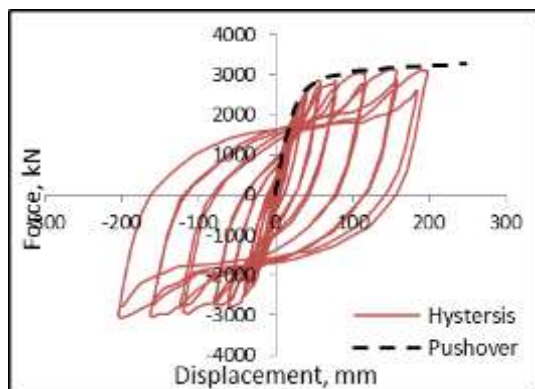


شکل ۹: نمودار بار-تغییرمکان نمونه SPW0.8-Open30% دارای بازشو

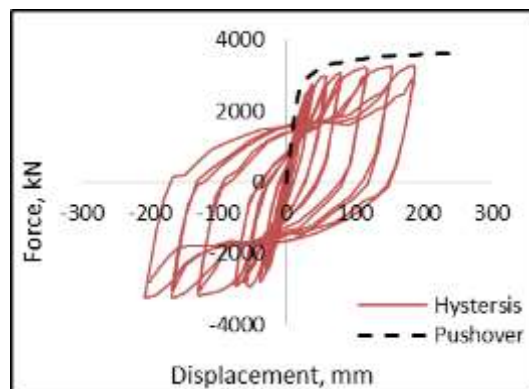


شکل ۸: نمودار بار-تغییرمکان نمونه SPW0.8-Open15% دارای بازشو

نمودارهای بار-تغییرمکان مربوط به نمونه‌های SPW1 در شکل‌های ۱۰ الی ۱۳ نشان داده شده است. مطابق با نمونه‌های نشان داده شده مقاومت نهایی نمونه بدون بازشو برابر با ۳۶۱۹ کیلونیوتن بوده همچنین در نمونه‌های دارای بازشو ۵، ۱۵ و ۳۰ درصد بترتیب برابر با ۳۲۲۳، ۲۸۴۳ و ۲۴۲۶ کیلونیوتن می‌باشد که نمونه‌های دارای بازشو نسبت به نمونه بدون بازشو بترتیب ۱۲، ۲۷ و ۴۹ درصد کاهش ظرفیت باربری مشاهده شده است.

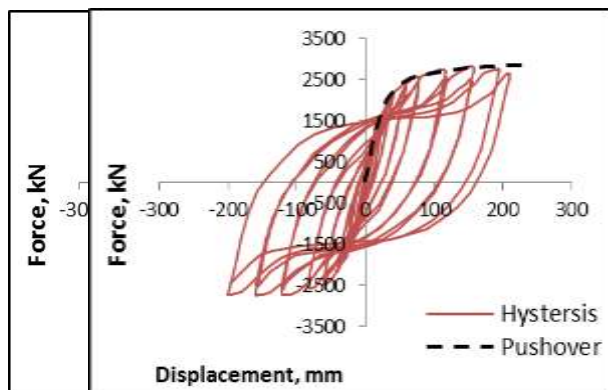


شکل ۱۱: نمودار بار-تغییر مکان نمونه SPW1-Open5% دارای بازشو



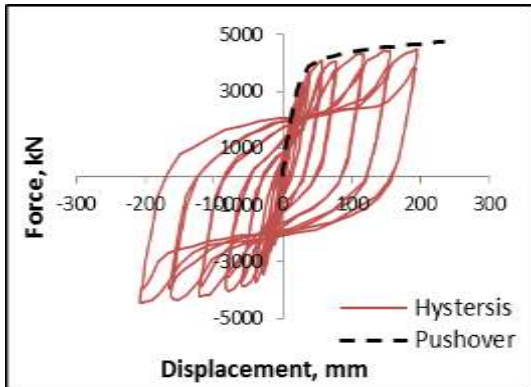
شکل ۱۰: نمودار بار-تغییر مکان نمونه SPW1 بدون بازشو

نمودارهای بار-تغییر مکان مربوط به نمونه‌های SPW1.2 در شکل‌های ۱۴ الی ۱۷ نشان داده شده است. مطابق با نمونه‌های نشان داده شده مقاومت نهایی نمونه بدون بازشو برابر با ۵۳۰۷ کیلونیوتن بوده همچنین در نمونه‌های دارای بازشو ۵، ۱۵ و ۳۰ درصد بترتیب برابر با ۴۷۱۰، ۴۱۳۸ و ۳۵۷۰ کیلونیوتن می‌باشد که نمونه‌های دارای بازشو نسبت به نمونه بدون بازشو بترتیب ۱۲،۶، ۲۸ و ۴۸ درصد کاهش ظرفیت باربری مشاهده شده است.

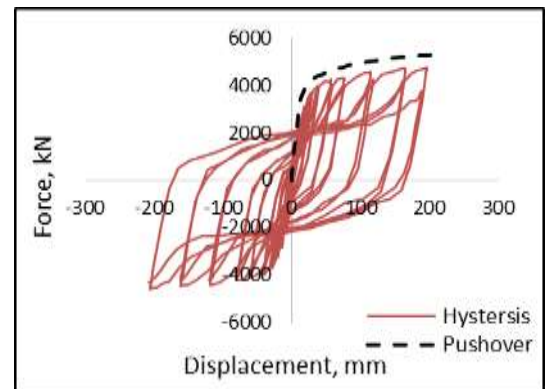


شکل ۱۲: نمودار بار-تغییر مکان نمونه SPW1-Open15% دارای بازشو

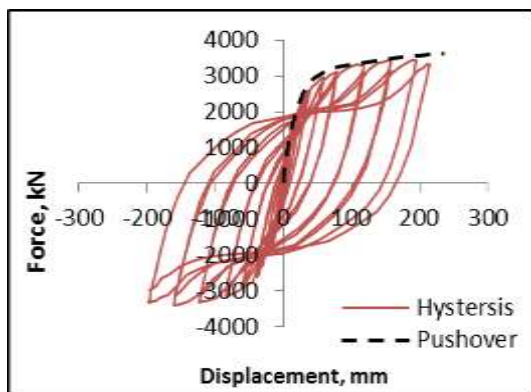
شکل ۱۳: نمودار بار-تغییر مکان نمونه SPW1-Open30% دارای بازشو



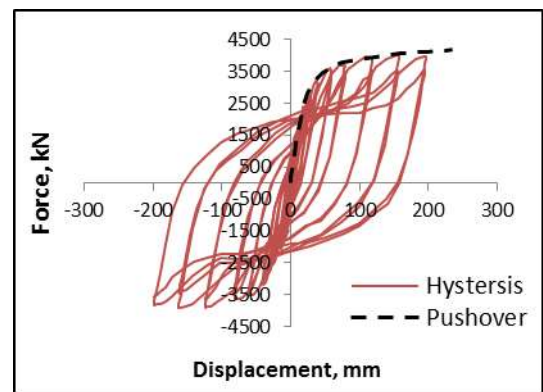
شکل ۱۵: نمودار بار-تغییر مکان نمونه SPW1.2-Open5% دارای بازشو



شکل ۱۴: نمودار بار-تغییر مکان نمونه SPW1.2 بدون بازشو



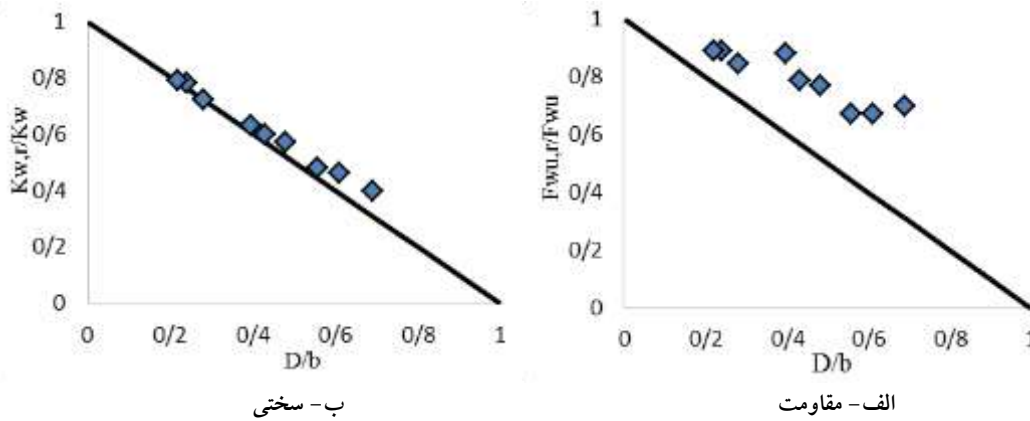
شکل ۱۷: نمودار بار-تغییر مکان نمونه SPW1.2-Open30% دارای بازشو



شکل ۱۶: نمودار بار-تغییر مکان نمونه SPW1.2-Open15% دارای بازشو

Sabouri-ghomi و همکاران [۱۱] با انجام یکسری تحلیل‌های عددی ضریب کاهش مقاومت و سختی D/b را پیشنهاد نمودند. با مقایسه نمودارهای ضریب کاهش مقاومت و سختی با نتایج بدست آمده از تحلیل دیوار برشی فولادی دوجداره که در شکل‌های ۱۸ نشان داده شده است نشان دهنده رفتار مشابه نمونه دوجداره از لحاظ کاهش مقاومت و سختی با نمونه معمول دیوار برشی فولادی می‌باشد.

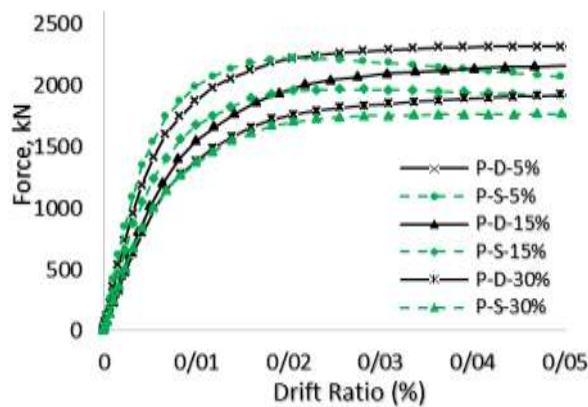
D قطر بازشو، b عرض پانل، $F_{wu,r}$ برش نهایی یافته پانل دارای بازشو، F_{wu} برش نهایی پانل بدون بازشو، $K_{w,r}$ سختی کاهش یافته، K_w سختی اولیه



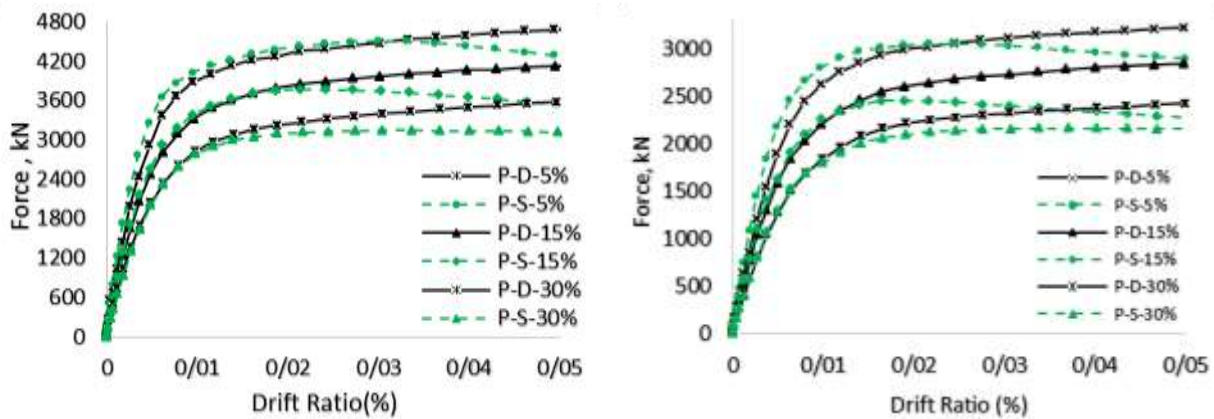
شکل ۱۸: نمودار ضریب کاهش مقاومت و سختی (D/b)

۴- مقایسه سیستم دیوار برشی فولادی دوجداره و نوع معمول دیوار برشی فولادی

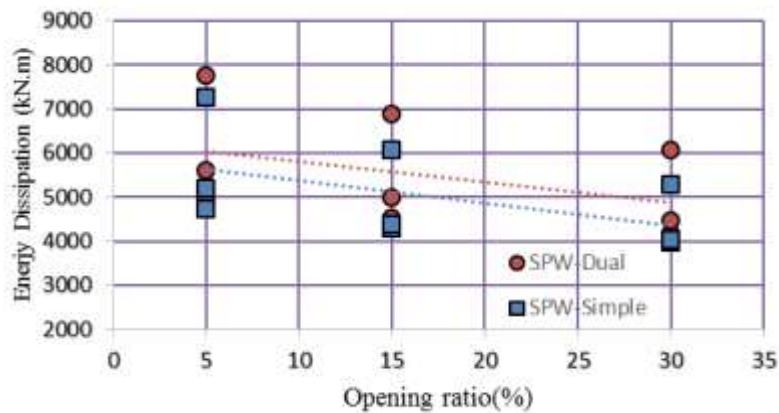
در این بخش به مقایسه نتایج بدست آمده، دیوار برشی فولادی دوجداره و دیوار برشی معمولی پرداخته شده است. نتایج بدست آمده از تحلیل نمونه‌های دیوار برشی فولادی دوجداره و معمولی نشان دهنده رفتاری پایدار و مقاومت بالاتر و ظرفیت اتلاف انرژی بالاتری را در نمونه‌های دیوار برشی فولادی دوجداره نسبت به نوع معمول این دیوارها مشاهده شده است. نتایج بدست آمده از تحلیل‌ها در شکل ۱۹ نشان داده شده است. در نمونه‌های دیوار برشی با نسبت $L/h=0.8$ میزان افزایش مقاومت در نمونه دوجداره از ۴٫۳ تا ۱۰ درصد و اتلاف انرژی تا ۵ درصد بیشتر از نمونه معمولی می‌باشد. در نمونه‌های دیوار برشی با نسبت $L/h=1$ میزان افزایش مقاومت در نمونه دوجداره از ۵٫۵ تا ۱۲ درصد و اتلاف انرژی تا ۱۱ درصد بیشتر از نمونه معمولی می‌باشد. در نمونه‌های دیوار برشی با نسبت $L/h=1.2$ میزان افزایش مقاومت در نمونه دوجداره از ۶ تا ۱۴ درصد و اتلاف انرژی تا ۱۵ درصد بیشتر از نمونه معمولی می‌باشد. همچنین در شکل ۲۰ اتلاف انرژی در نمونه‌های دیوار برشی فولادی دوجداره و نوع معمول آن در جدول ۳ نشان داده شده است.



الف) نمونه SPW0.8 ضخامت پانل در نمونه دوجداره و معمول بترتیب ۱٫۳، ۱٫۶ و ۲٫۳ میلیمتر



شکل ۱۹: نمودار بار - تغییر مکان دیوار برشی فولادی دوجداره و نوع معمول با نسبت L/h ، و ضخامت پانل‌های پرکننده متفاوت (ب) نمونه SPW1 ضخامت پانل در نمونه دوجداره و معمول بترتیب ۲ و ۴ میلی‌متر (پ) نمونه SPW1.2 ضخامت پانل در نمونه دوجداره و معمول بترتیب ۳ و ۶ میلی‌متر



شکل ۲۰: مقایسه جذب انرژی در دیوارهای برشی فولادی دوجداره و معمولی

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه سه نمونه دیوار برشی فولادی با نسبت‌های مختلف عرض به ارتفاع، ضخامت پانل پرکننده و دارای سطح باز شو ۵، ۱۵ و ۳۰ درصد بصورت یک طبقه و یک دهانه با در نظر گرفتن حالات غیرخطی هندسی و غیرخطی مصالح تحلیل گردید. در محدوده نمونه‌های بررسی شده در این تحقیق نتایج زیر قابل ارائه می‌باشد.

- ۱- کاهش ظرفیت باربری در سیستم دوجداره دیوار برشی فولادی با نسبت‌های ارائه شده دارای باز شو ۵، ۱۵ و ۳۰ درصد نسبت به نمونه بدون باز شو بترتیب ۱۲، ۲۷ و ۴۹ درصد کاهش ظرفیت باربری مشاهده شده است.
- ۲- در نمونه‌های دیوار برشی با نسبت $L/h=0.8$ میزان افزایش مقاومت در نمونه دوجداره از ۴،۳ تا ۱۰ درصد و اتلاف انرژی تا ۵ درصد بیشتر از نمونه معمولی می‌باشد. در نمونه‌های دیوار برشی با نسبت $L/h=1$ میزان افزایش مقاومت در نمونه دوجداره از ۵،۵ تا ۱۲ درصد

و اتلاف انرژی تا ۱۱ درصد بیشتر از نمونه معمولی می‌باشد. در نمونه‌های دیوار برشی با نسبت $L/h=1,2$ میزان افزایش مقاومت در نمونه دوجداره از ۶ تا ۱۴ درصد و اتلاف انرژی تا ۱۵ درصد بیشتر از نمونه معمولی می‌باشد

۳- منحنی‌های هیستریزس بدست آمده بصورت S شکل و نشان دهنده رفتار پایدار سیستم دوجداره می‌باشد همچنین پدیده پانچینگ در منحنی‌ها رخ نداده است.

۴- در سیستم دوجداره با کاهش قابل توجه ضخامت پانل‌های پرکننده نیاز به قاب قوی جهت توسعه میدان کششی کاهش می‌یابد.

۵- با کاهش ضخامت ورق پرکننده عملکرد فیوزشکل دیوار سریعتر شده و سیستم در دریفت‌های ابتدای جهت مقابله با نیروهای جانبی فعال می‌شود.

جدول ۳: مقاومت نهایی و ظرفیت اتلاف انرژی در نمونه‌های تحلیل شده تا دریفت ۵ درصد

اختلاف مقاومت نمونه دوجداره نسبت به نمونه معمول. %	اختلاف اتلاف انرژی نمونه دوجداره نسبت به نمونه معمول. %	اتلاف انرژی (kN.m)		مقاومت نمونه (kN)		L/h	سطح بازشو. %	ضخامت پانل دیوار برشی فولادی، (mm)		نمونه
		معمول	دو جداره	معمول	دو جداره			معمول	دوجداره	
-	-	۵۶۶۸	-	۲۷۳۵	-	۰,۸	۰	۱,۳	۲,۶	SPW0.8
۴,۳	۴,۷	۴۹۷۰	۴۷۴۳	۲۳۱۱	۲۲۱۵	۰,۸	۵	۱,۳	۲,۶	
۹,۸	۵,۳	۴۵۲۰	۴۲۹۱	۲۱۵۵	۱۹۶۳	۰,۸	۱۵	۱,۳	۲,۶	
۹	۵,۴	۴۱۸۵	۳۹۷۰	۱۹۱۷	۱۷۶۰	۰,۸	۳۰	۱,۳	۲,۶	
-	-	۵۶۶۲	-	۳۶۱۹	-	۱	۰	۲	۴	SPW1
۵,۸	۷,۵	۵۶۰۵	۵۲۱۰	۳۲۲۳	۳۰۵۴	۱	۵	۲	۴	
۱۶	۱۳,۷	۴۹۹۵	۴۳۹۳	۲۸۴۳	۲۴۵۰	۱	۱۵	۲	۴	
۱۲	۱۱,۲	۴۴۷۲	۴۰۲۱	۲۴۲۶	۲۱۶۳	۱	۳۰	۲	۴	
-	-	۷۹۷۵	-	۵۳۰۷	-	۱,۲	۰	۳	۶	SPW1.2
۶,۳	۷,۱۱	۷۷۶۸	۷۲۵۲	۴۷۱۰	۴۴۲۹	۱,۲	۵	۳	۶	
۱۰	۱۳,۷	۶۸۹۰	۶۰۵۷	۴۱۳۸	۳۷۶۵	۱,۲	۱۵	۳	۶	
۱۴	۱۴,۷	۶۰۵۶	۵۲۷۶	۳۵۷۰	۳۱۳۴	۱,۲	۳۰	۳	۶	

مراجع

[۱] صبوری قمی، س. سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی، مقدمه‌ای بر دریاوارهای برشی فولادی، تهران، نشر انگیزه، ۱۳۸۰

- [۲] Roberts, T. M. , Sabouri-Ghomi, S. *Hysteretic Characteristics of Unstiffened Perforated Steel Plate Shear Panels. Thin-Walled Structures* , 1992 (14) 139-151.
- [۳] Mehdi H.K. Kharrazi , Helmut G.L. Prion , Carlos E. Ventura. *Implementation of M-PFI method in design of steel plate walls. Journal of Constructional Steel Research* , 2008 (64) 465–479.
- [۴] Sheng-Jin , Chen Chyuan Jhang. *Experimental study of low-yield-point steel plate shear wall under in-plane load. Journal of Constructional Steel Research* , (2011) (67) 977–98.
- [۵] Zhang Sumei , Guo Lanhui , Ma Xinbo , Li Ran. *Experimental research on the seismic behavior of CSPSWs connected to frame beams. Earthq Eng & Eng Vib* (2011) 10: 65-73
- [۶] Valizadeh, H. , Sheidaii, M, Showkati, H. *Experimental investigation on cyclic behavior of perforated steel plate shear walls. Journal of Constructional Steel Research* 70 (2012) 308–316
- [۷] American Institute of Steel Construction (AISC) *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings ANSI/AISC 341*, 2005.
- [۸] *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications ANSI/AISC 358-2005*.
- [۹] Alavi, E. , Nateghi, F. *Experimental study on diagonally stiffened steel plate shear walls with central perforation. Journal of Constructional Steel Research* , (2013) (89) 9–20.
- [۱۰] *ATC Guidelines for Seismic Testing of Components of Steel Structure*, Report 24, Applied Technology Council, 1992.
- [۱۱] Sabouri-Ghomi, E. Ahouri, M, S. Asad Sajjadi , Alavi, A. Roufegarinejad, M.A. Bradford. *Stiffness and strength degradation of steel shear walls having an arbitrarily-located opening. Journal of Constructional Steel Research* , (2012) (75)152–159.