

## بررسی رفتار چرخه‌ای دیوارهای برشی فولادی سخت شده با اتصالات نیمه صلب به قاب فولادی

سینا شیرجنگ

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه، مراغه، ایران

احمد ملکی\*

استادیار، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه، مراغه، ایران

maleki\_civil@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۶/۱۰

### چکیده:

با افزایش تحقیقات روی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی و افزایش اطمینان از عملکرد آن‌ها استفاده از این دیوارها به‌خصوص در آمریکا و ژاپن به نحو محسوسی گسترش یافته است. با توجه به شناخت نسبتاً جامعی از رفتار این دیوارها اکنون آیین‌نامه‌های طراحی شروع به ارائه ضوابط طراحی برای این دیوارها نموده‌اند. اساس عملکرد این سازه‌ها مبتنی بر بهره‌گیری از عملکرد میدان کششی قطری پس از کماتش ورق فولادی می‌باشد. در این تحقیق قبل از بررسی عملکرد دیواربرشی‌های فولادی با اتصالات مفصلی، جهت اطمینان از نتایج عددی، به صحت سنجی نمونه آزمایشگاهی پرداخته و بعد از ارزیابی نتایج، به مدل‌سازی ۱۲ نمونه دیواربرشی فولادی با نرم افزار آباکوس پرداخته شده است. در این نمونه‌ها به بررسی پارامترهایی از قبیل ضخامت ورق دیواربرشی، مشخصات هندسی تیرها و ستون‌ها و میزان بازشدگی گوشه‌های ورق پرداخته شده است. نتایج حاصل از این تحقیق مشخص کرد که با افزایش سطح مقطع ستون‌ها توزیع تنش به صورت یکنواختی در سطح ورق گسترده شده و کل سطح ورق به سمت خارج از صفحه کماتش کرده، این در حالی است که در صورت افزایش مقطع تیر کماتش اغلب به صورت قطری در ورق‌ها دیده می‌شود. این در حالی است که در صورت افزایش ضخامت ورق دیواربرشی مقدار کرنش غیرالاستیک ایجاد شده کمتر شده و تقریباً محدود به قسمت‌های تحتانی ورق طبقه اول بوده است. با افزایش ۲۰ درصدی ضخامت ورق دیواربرشی ظرفیت باربری و سختی نمونه‌ها به طور متوسط در حدود ۱۸ درصد افزایش یافته و همچنین با افزایش میزان بازشدگی از ۵ به ۱۵ درصد ظرفیت باربری در حدود ۲۰ درصد کاهش یافته و مقدار کرنش پلاستیک به صورت قطری در ورق‌ها ایجاد شده است.

**کلید واژگان:** توزیع تنش، کماتش موضعی، غیرالاستیک، کرنش، رفتار لرزه‌ای، ظرفیت باربری

## ۱- مقدمه

اساس ایده دیوارهای برشی فولادی که در ۱۵ سال اخیر به طور جدی مورد توجه قرار گرفته است بهره‌گیری از میدان کششی قطری است که در این گونه دیوارهای ایجاد می‌شود. مقاومت این گونه دیوارها به طور عمده مقاومت پس کمانشی ورق‌های نازک یا در واقع مقاومت ناشی از میدان کشش قطری است که پس از کمانش ورق فولادی در آن ایجاد می‌شود.

از مزایای کلی دیوار برشی فولادی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

➤ وزن اندک ورق فولادی ساده شدن الزامات طراحی به دلیل رفتار مناسب سیستم و دارا بودن ضریب رفتار بالا به همراه عملکرد موثر در کنترل تغییر شکل‌های سازه‌ای به واسطه داشتن سختی جانبی زیاد، منجر به کاهش وزن اسکلت طراحی شده می‌شود.

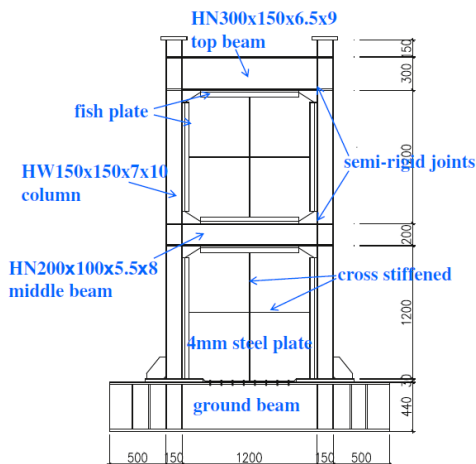
➤ از دیگر مزیت‌های دیوار برشی فولادی می‌توان به افزایش قابل توجه سرعت اجرا اشاره نمود. این موضوع خصوصاً در مقایسه با سیستم دیوار برشی بتنی بسیار بارز است. در سیستم دیوار برشی بتنی هر چقدر که سرعت اجرای سقف با استفاده از تکنولوژی‌های نوین افزایش یابد، باز هم با توجه به این که اجرای بتن سقف و دیوار باید به طور همزمان صورت گیرد اجرای سقف منوط به اجرای دیوار شده و در نهایت سرعت پروژه کاهش می‌یابد.

➤ در مقابل در سیستم دیوار برشی فولادی به این علت که اجرای سیستم باربر جانبی همزمان با نصب اسکلت انجام و پایداری جانبی سازه تامین می‌شود. اجازه بتن‌ریزی و اجرای همزمان سقف‌ها بدون هیچ محدودیتی به پیمانکار داده می‌شود. با افزایش تحقیقات روی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی و افزایش اطمینان از عملکرد آن‌ها استفاده از این دیوارها به خصوص در آمریکا و ژاپن به نحو محسوس گسترش یافته است. با توجه به شناخت نسبتاً جامعی از رفتار این دیوارها اکنون آیین‌نامه‌های طراحی شروع به ارائه ضوابط طراحی برای این دیوارها نموده‌اند. اساس عملکرد این سازه‌ها مبتنی بر بهره‌گیری از عملکرد میدان کششی قطری پس از کمانش ورق فولادی می‌باشد. اجرای ساده صرفاً با تکیه بر دانش فنی موجود و بدون نیاز به کسب مهارت جدید، کاهش ابعاد فونداسیون، افزایش محسوس سختی جانبی سازه، کاهش بار مرده و در ضمن اقتصادی بودن این سیستم نسبت به قاب‌های خمشی فولادی از مزایای عمده این سیستم محسوب می‌شود. دیوار برشی فولادی نوعی سیستم جدید مقاوم در برابر بارهای جانبی بوده که نسبت به سایر سیستم‌های مقاوم در برابر بار جانبی دارای عملکرد بهتری است. با توجه به اهمیت استفاده از این گونه سازه‌ها نیاز به مطالعه در این زمینه احساس می‌شود. علینیا و شیرازی، تاثیر پیکربندی تقویت کننده‌ها را بر روی عملکرد دیواربرشی‌ها را مورد بررسی قرار دادند و تاکید کردند که تقویت کننده‌های یک طرفه در مقاومت کمانشی بسیار موثرتر از تقویت کننده‌های دوطرفه می‌باشند [۱]. YU و همکارانش در مطالعه‌ای نشان دادند که دیواربرشی‌های دارای سخت کننده دارای رفتار چرخه‌ای

بهتری می‌باشند. صفحات فولادی به افزایش سختی و مقاومت کمانشی سازه در مرحله اولیه بارگذاری کمک می‌کنند [۲]. ژئو و همکارانش، عملکرد دیواربرشی‌های فولادی دارای اتصالات تیر-ستون نیمه صلب و تقویت کننده‌های عرضی بر روی صفحات فولادی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که تقویت کننده‌های عرضی در افزایش مقاومت کمانش و ظرفیت بارگذاری دیواربرشی‌های فولادی موثر می‌باشد. به طور خلاصه، نصب تقویت کننده‌ها بر روی صفحات فولادی یکی از روش‌های موثر جهت افزایش عملکرد کلی سازه دیواربرشی می‌باشد [۳]. همچنین ژئو و همکارانش عملکرد دیواربرشی‌ها را با افزودن پوشش‌های بتن مسلح بر روی صفحات فولادی میان‌قاب مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج حاصل شده نشان دادند که پوشش‌های بتن مستعد مجزا شدن از صفحات فولادی به علت پیوستگی ضعیف و سنگینی می‌باشد [۴]. علوی و ناطقی، آزمون شبه استاتیک بر روی دیواربرشی‌های دارای ورق تقویتی قطری و بدون آن انجام دادند. نتایج نشان داد که افزایش سخت کننده‌ها در افزایش ظرفیت باربری دیواربرشی‌های فولادی تاثیر زیادی است [۵]. فرزام‌پور و لاهان در سال ۲۰۱۵ در مقاله‌ای نتایج بررسی دقیقی را از پارامتریک عددی ارائه می‌کنند و به مقایسه صفحه فولادی موجدار و دیوارهای برشی فولادی ساده، با و بدون بازشوها می‌پردازند. پارامترهای بررسی شده شامل ضخامت صفحه، زاویه موج، اندازه بازشو، و جابه‌جایی بازشو هستند. متغیرهای در نظر گرفته شده برای مقایسه نیز شامل سختی اولیه، مقاومت نهایی، جذب انرژی، ارتباط نیرو و جابه‌جایی است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از دیوارهای برشی فولادی موج دار دوزنقه‌ای شکل سبب افزایش سختی جانبی اولیه، جذب انرژی و شکل پذیری می‌شود در حالی که مقاومت نهایی را کاهش می‌دهد [۶]. ژئو و همکارانش در سال ۲۰۱۷ در مقاله‌ای حالت شکست و مکانیسم اتلاف انرژی سازه را مورد تحلیل قرار داده و به بحث در خصوص اثر پذیری اتصال قاب‌ها و ترتیب سخت کننده‌ها بر عملکرد لرزه‌ای سازه می‌پردازند. طبق نتایج به دست آمده، سختی اتصال تیر به ستون تاثیر ناچیزی بر ظرفیت باربر سازه دیوار برشی فولادی دارد و تفاوت‌های میان ظرفیت باربر نهایی کمتر از ۵٪ است. هنگامی که زاویه جابه‌جایی طبقه میانی ۱/۵ باشد، عامل شکل پذیری بین ۳/۶۹ و ۴/۴ خواهد بود، که نشان می‌دهد سازه دیوار برشی فولادی نسبت به ظرفیت تغییر شکل پلاستیک خوب عمل می‌کند [۷]. نسیمیا و شوکتی در سال ۲۰۱۷ در مقاله‌ای جنبه‌های نظری و آزمایشگاهی انواع خاص دیوارهای برشی فولادی در میان دهانه و اثرات بازشوی چرخشی بر این سیستم را مورد بررسی و آزمایش قرار دادند. اجرای عملیات میان دهانه در دیوارهای برشی بدین صورت است که نیازی به مقاوم سازی ستون‌های اصلی اطراف نیست. این مطالعه بر روی یک قاب صلب انجام می‌شود. سیستم دیوار برشی طراحی شده و در قسمت میانی قاب دستکاری و باربرها به صورت دقیق روی آن قاب مدل‌سازی می‌شود. سیستم مربوط در محیط آزمایشگاه و با مقیاس ۸۰ در ۸۰ سانتی‌متر ساخته و بار چرخه‌ای نیز بر این سیستم اعمال می‌شود. بارگذاری چرخه‌ای به تدریج به وسیله یک جک هیدرولیک

## ۲- صحت‌سنجی نمونه عددی

در این تحقیق به منظور اطمینان از صحت نتایج مدل‌سازی از مقاله ژئو و همکارانش که در سال ۲۰۱۷ در طی یک کار آزمایشگاهی به بررسی رفتار دیواربرشی‌های دارای سخت‌کننده با اتصالات نیمه‌گیردار پرداخته‌اند، استفاده شده است [۳]. مشخصات هندسی نمونه آزمایش شده در آزمایشگاه در شکل ۱ نشان داده شده است. در جدول ۱ نیز مشخصات مصالح استفاده شده در المان‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱- مشخصات هندسی نمونه مورد نظر (واحد برحسب میلی‌متر) [۳]

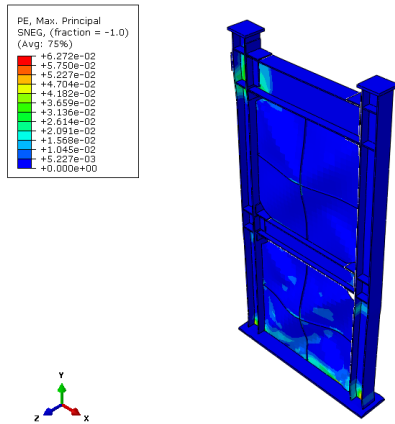
جدول ۱- مشخصات مصالح نمونه آزمایشگاهی [۳]

Item	Yield stress $f_y$ (MPa)	Ultimate stress $f_u$ (MPa)	Elastic modulus $E$ ( $10^4$ MPa)	Tensile elongation $\delta$ (%)
HW150 × 150 × 7 × 10	292.87	437.3	1.99	45.0
HN200 × 100 × 5.5 × 8	312.90	463.3	2.01	41.0
HN300 × 150 × 6.5 × 9	285.61	451.0	2.01	41.0
L140 × 90 × 8	297.48	429.0	2.10	43.3
L70 × 8	353.31	461.6	2.10	40.0
4 Thickness panel	301.18	467.9	2.01	36.0

در این مدل‌سازی کلیه المان‌ها به جزء ورق فولادی از نوع Solid انتخاب شده‌اند. (ورق فولادی از نوع Shell می‌باشد). مصالح فولادی بکار رفته در نمونه‌ها ایزوتروپیک فرض می‌شوند. برای معرفی روابط تنش و کرنشی مصالح در برنامه تحلیل المان محدود، این روابط به صورت نمودار چند خطی در نظر گرفته می‌شوند. اما باید توجه کرد که افزایش تعداد ناپیوستگی‌های نمودار تنش و کرنش، تعداد تکرارهای لازم برای رسیدن به جواب را بیشتر می‌کند. بنابراین باید نمودار تنش و

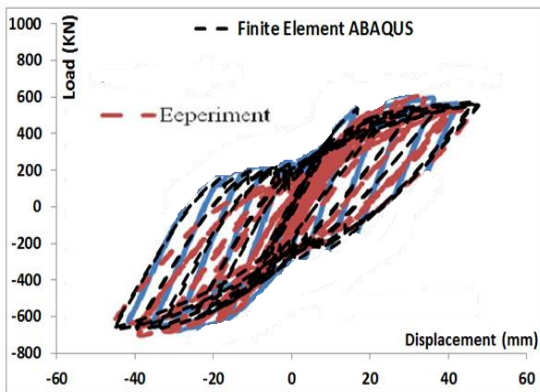
انجام می‌شود و به طور کامل مقدار مجاز و جابه‌جایی نهایی با ارزیابی مقدار کشش و جابه‌جایی نقطه‌های بحرانی با نصب کشش‌سنج و LVDT ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج رفتار مناسب و قابل قبول این سیستم را با وجود حتی سطح بالای جابه‌جایی نشان می‌دهد. در نهایت، این مدل بر اساس روش المان محدود طراحی شد و نتایج آزمایشگاهی تصدیق گردید و اثر بخشی سیستم تایید شد [۸]. ونگ وی و همکارانش در سال ۲۰۱۷ به بررسی دیوار برشی فولادی کماتش ناپذیر نیمه‌گیردار پرداختند، که از یک ورق فولادی داخلی متصل به دو ورق با پوشش بتن تقویت شده خارجی تشکیل شده است، پیشنهاد می‌شود. تنها چهار گوشه ورق فولادی داخلی به المان‌های قاب مرزی متصل می‌شود در نتیجه ورق فولادی می‌تواند عمل میدان کششی را گسترش دهد و سبب کاهش آسیب بالاقوه به المان‌های قاب‌های اطراف تحت بارهای جانبی چرخه‌ای گردد. از دو نمونه با مقیاس‌های یک سوم، آزمون بارگذاری چرخه‌ای شبه پایدار به عمل آمد و رفتار پسماند این سیستم جدید که در برابر بار جانبی از خود مقاومت نشان می‌دهد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون نشان می‌دهد که دیوار برشی فولادی کماتش ناپذیر نیمه متصل، سختی اولیه بالا، شکل‌پذیری مناسب، ظرفیت اتلاف انرژی خوب، و حلقه پسماند پایداری را از خود نشان می‌دهد. بر اساس حالت‌های شکست و نتایج آزمون مشاهده شده، یک مدل نظری که در آن حالت‌های کماتش برشی ورق فولادی داخلی وجود دارد گسترش یافته است که مقاومت برشی ورق فولادی را پیش‌بینی می‌کند. نتایج آزمایشگاهی با نتایج پیش‌بینی شده، به جهت تایید درستی این سیستم در پیش‌بینی کردن رفتار واکنش دیوار برشی فولادی کماتش ناپذیر نیمه متصل تحت بارهای جانبی، با نتایج پیش‌بینی شده مقایسه می‌شوند [۹]. گوانگ یو در سال ۲۰۱۸ در تحقیقی محاسبه عملکرد دینامیک دیوارهای برشی فولادی (SPSW<sub>s</sub>) تقویت شده با ورق‌های نواری بدون جوش را پیشنهاد می‌دهد. سخت‌کننده‌های نواری در هر دو سمت صفحه فولادی نصب می‌شوند و به جای اینکه جوشکاری به شیوه سنتی انجام گیرد به وسیله پیچ‌های رزوه دار از طریق صفحه متصل می‌شوند. تاثیر قیدها بین سخت‌کننده‌ها و صفحه فولادی بر روی عملکرد SPSW<sub>s</sub> در ابتدا به وسیله تحلیل المان محدود مورد بررسی قرار می‌گیرد. پس از مدل عددی در سازه SPSW گسترش می‌یابد و به وسیله نتایج آزمون تثبیت می‌شود [۱۰].

شکل ۳- تنش ایجاد شده در نمونه عددی بعد از آنالیز



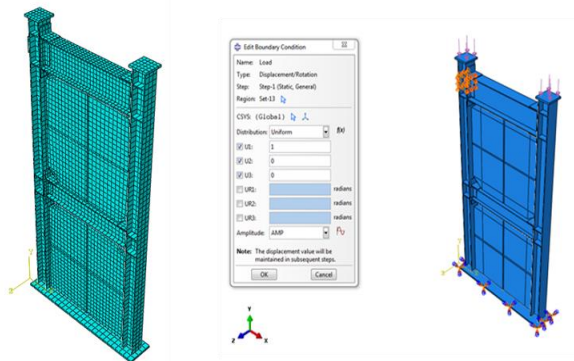
شکل ۴- کرنش پلاستیک ایجاد شده در نمونه عددی با بزرگنمایی ۲

در شکل ۵ نتیجه مقایسه دو نمودار آزمایشگاهی و نمونه عددی نشان داده است. همانطور که ملاحظه می‌شود نتیجه مدل‌سازی عددی به نتیجه نمونه آزمایشگاهی بسیار نزدیک بوده و می‌توان گفت که منطق مدل‌سازی برای بررسی نمونه‌های عددی می‌تواند قابل استناد باشد. خطای مدل‌سازی در این تحقیق کمتر از ۳ درصد بوده که این مقدار خطا می‌تواند به علت برخی خطاهای عددی در نرم‌افزار و یا خطاهای آزمایشگاهی در حین انجام آزمایش باشد، که این یک امر کاملاً طبیعی است. با وجود این درصد و میزان خطا باید منطقی بوده و از حد طبیعی فراتر نرود.

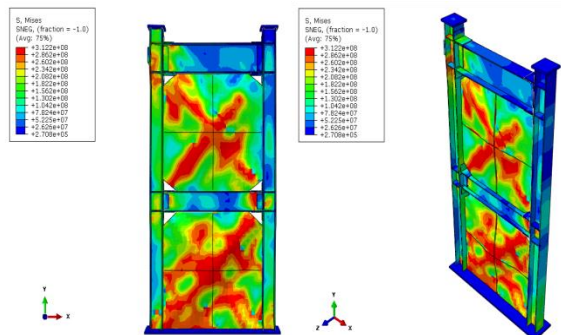


شکل ۵- مقایسه منحنی نیرو- جابجایی نمونه عددی با نمونه آزمایشگاهی

کرنش را با تعداد کمی ناپیوستگی معرفی نمود. در این تحقیق نمودار تنش و کرنش به صورت دو خطی در نظر گرفته شده است. این منحنی تنش-کرنش دو خطی، شامل یک خط در منطقه الاستیک و یک خط در مرحله پلاستیک می‌باشد. برای تحلیل نمونه عددی نیز از روش استاتیکی غیرخطی و برای ایجاد اتصال در بین قطعات ساخته شده، از المان Tie استفاده شده است. نام المان مورد استفاده در م‌ش‌بندی C3D8R می‌باشد که یک المان ۸ گرهی با گرهی با روش حل آنالیز کاهش یافته می‌باشد. برای ورق دیواربرشی فولادی از المان S4R استفاده شده است که یک المان ۴ گرهی می‌باشد. در شکل‌های ۳ و ۴ تنش و کرنش پلاستیک ایجاد شده در نمونه عددی نشان داده شده است. بعد از تغییر شکل نمونه، میدان کششی قطری ایجاد شده در سطح ورق کاملاً مشهود بوده، که بعد از آن مقاومت پس کمانشی قابل توجهی در ورق‌ها ایجاد می‌شود. با شکل‌گیری میدان کششی قطری مکانیزم تحمل بار از برش داخل صفحه به میدان کششی قطری تغییر می‌یابد و سپس با تسلیم ورق، مقدار قابل توجهی انرژی در سیکل‌های بارگذاری جذب خواهد شد. از نظر عددی نیز ماکزیم تنش در سطح ورق پایینی و به مقدار ۳۱۲ مگاپاسکال ایجاد شده است.



شکل ۶- به ترتیب از راست به چپ: نمایی از بارگذاری و شرایط مرزی، نمایی از م‌ش‌بندی نمونه عددی



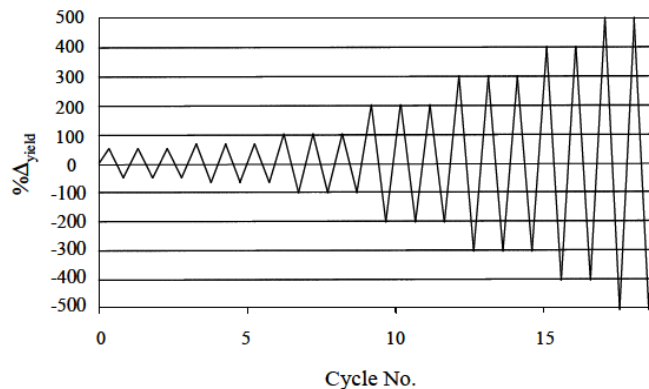
نمونه‌ها ایجاد میدان کششی قطری در سطح ورق کاملاً مشهود بوده و این مقدار در طبقات پایین‌تر از شدت بیشتری برخوردار می‌باشد.

### ۳- مدل‌سازی نمونه‌های عددی

در این تحقیق به مدل‌سازی ۱۲ نمونه دیواربرشی فولادی با نرم افزار آباکوس پرداخته شده که پارامترهایی از قبیل ضخامت ورق دیواربرشی، مشخصات هندسی تیرها و ستون‌ها و میزان بازشدگی گوشه‌های ورق از جمله متغیرهای در نظر گرفته شده می‌باشد. در جدول ۲ مشخصات کلیه نمونه‌ها نشان داده شده است. پروتکل بارگذاری اعمال شده به نمونه‌ها نیز ATC-24 بوده و در شکل ۶ نشان داده شده است [۱۱]. در شکل‌های ۷ تا ۹ کانتورهای ایجاد شده (تنش، کرنش و نقاط تسلیم شده) در نمونه‌های عددی بعد از آنالیز نشان داده شده است. در اغلب نمونه‌ها همانطور که مشاهده می‌شود مقدار تنش تقریباً در کل ورق‌های دیواربرشی گسترش یافته و در قسمت‌هایی از ورق تغییر شکل ماندگار نیز مشاهده می‌شود. در تراز طبقات به خصوص در قسمت‌هایی از ستون‌ها، کمانش جزئی بال و تسلیم شدگی جان ستون نیز ایجاد شده است. همچنین در نمونه‌هایی که پارامتر متغیر میزان بازشو گوشه اتصال انتخاب شده است، در قسمت‌های بازشودار ورق فولادی دارای کمانش خارج از صفحه زیادی بوده به طوری که در اغلب سطح ورق فولادی مقدار تنش از تنش تسلیم فراتر رفته است. با بررسی نمونه‌های تغییرشکل یافته می‌توان گفت که تقریباً در کلیه

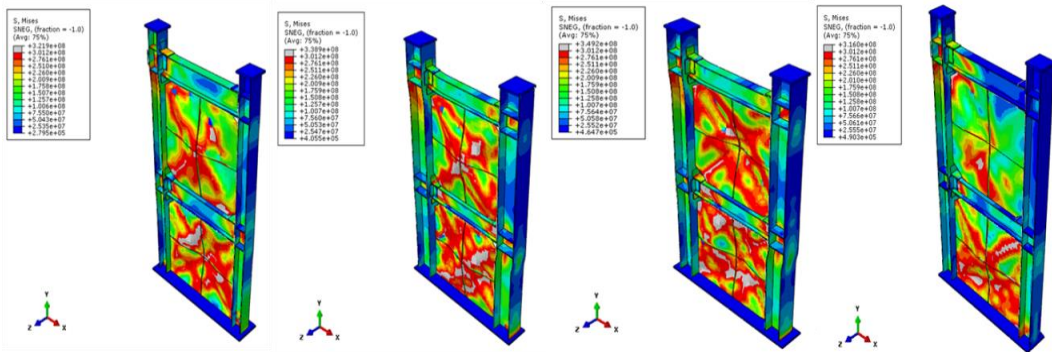
جدول ۲- مشخصات نمونه‌های عددی

شماره نمونه	نام نمونه	مقطع تیر	مقطع ستون	ضخامت ورق (mm)
1	M1-COLUMN 180	H-200	H-180	4
2	M2-COLUMN 220	H-200	H-220	4
3	M3-COLUMN 260	H-200	H-260	4
4	M4-BEAM 240	H-240	H-150	4
5	M5-BEAM 260	H-260	H-150	4
6	M6-COLUMN 180-PLATE-T5	H-200	H-180	5
7	M7-COLUMN 180-PLATE-T6	H-200	H-180	6
8	M8-COLUMN 180-PLATE-T7	H-200	H-180	7
9	M9-COLUMN220-OP-10%	H-200	H-220	4
10	M10-COLUMN220-OP-15%	H-200	H-220	4
11	M11-COLUMN 220-beam250	H-250	H-220	4
12	M12-COLUMN 220-beam250-op-5%	H-250	H-220	4

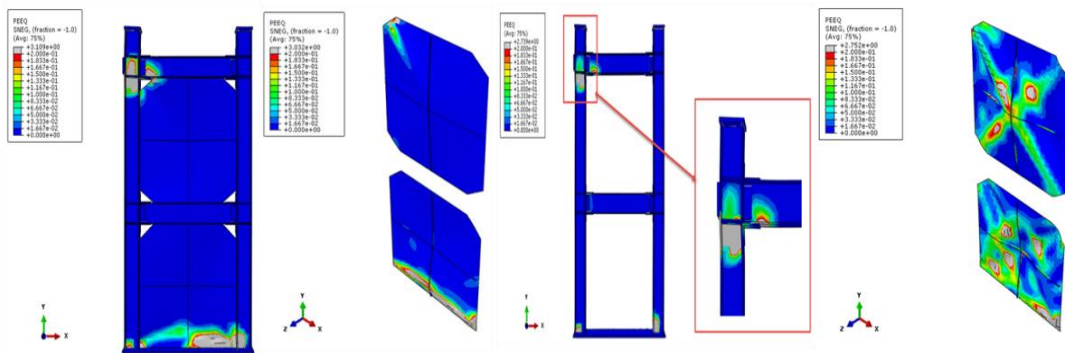


شکل ۶- پروتکل بارگذاری ATC-24 [۱۱]

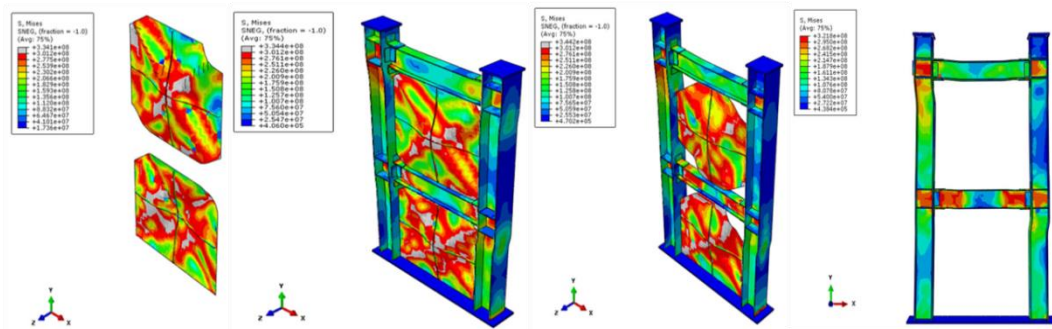




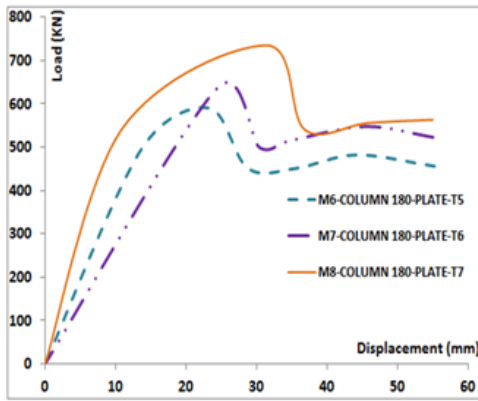
شکل ۷- به ترتیب از راست به چپ: تنش‌های ایجاد شده در نمونه‌های ۱ تا ۴



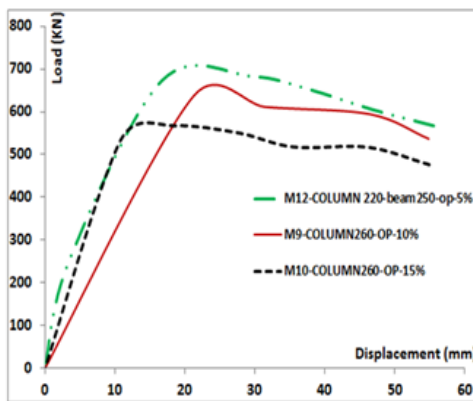
شکل ۸- به ترتیب از راست به چپ: کرنش‌های ایجاد شده در برخی از المان‌های نمونه‌های ۵ تا ۸



شکل ۹- به ترتیب از راست به چپ: تنش‌های ایجاد شده در نمونه‌های ۹ تا ۱۳



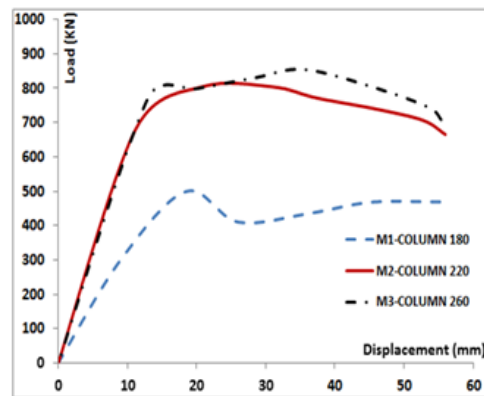
شکل ۱۲- مقایسه پوش منحنی هیستریسیس نمونه‌هایی با ضخامت ورق مختلف



شکل ۱۳- مقایسه پوش منحنی هیستریسیس نمونه‌هایی با ابعاد بازشدگی مختلف

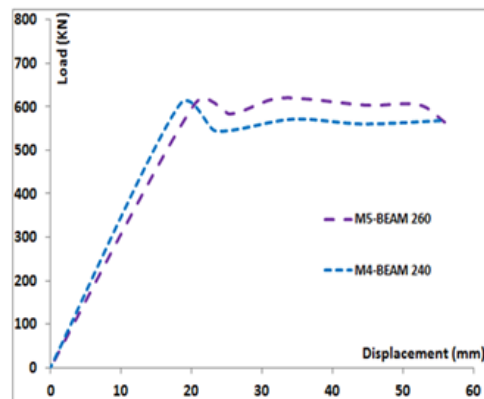
با مشاهده نمودار شکل ۱۴ می‌توان گفت که تاثیر ستون‌های محیطی بیشتر از افزایش مقطع تیر بوده است. در این مقایسه هر دو نمونه در ناحیه الاستیک رفتار یکسانی از خود نشان داده که بعد از ادامه بارگذاری و وارد شدن به ناحیه غیرخطی در نمونه ۳ ظرفیت باربری افزایش یافته که از نظر عددی این افزایش در حدود ۸/۹۵ درصد بوده که بعد از کسب این مقدار نیرو، در هر دو نمونه افت و زوال مقاومت با شیب ملایمی قابل مشاهده می‌باشد. نتایج ارائه شده در شکل ۱۵ نشان می‌دهد که نمونه شماره ۱۲ با ستون H220 رفتاری یکنواخت نسبت به نمونه شماره ۸ با ستون H180 داشته، این در حالی است که نمونه ۸ در سیکل‌های اولیه بارگذاری دچار افت آنی ظرفیت باربری شده است.

در ادامه به مقایسه تاثیر مقطع ستون در عملکرد دیوار برشی با اتصالات نیمه صلب پرداخته می‌شود. در شکل ۱۰ مقایسه پوش منحنی هیستریسیس نمونه‌هایی با ستون‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش مقطع ستون مقدار سختی و ظرفیت باربری افزایش یافته و افت مقاومت آنی دیده نمی‌شود. نمونه شماره ۳ با نیروی ۸۳۳ کیلو نیوتن نسبت به نمونه‌های ۱ و ۲ به ترتیب ۶ درصد و ۳۶ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد. در شکل ۱۱ نیز به مقایسه تاثیر افزایش مقطع تیر پرداخته شده است. همانطور که مشاهده می‌شود رفتار دو نمونه نزدیک به هم بوده به طوری که با افزایش ۸ درصدی ارتفاع تیر مقدار ظرفیت باربری کمتر از ۱ درصد افزایش یافته است.



شکل ۱۰- مقایسه پوش منحنی هیستریسیس نمونه‌هایی با مقطع ستون مختلف

در شکل ۱۲ همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت ورق دیوار برشی از ۵ به ۷ میلیمتر ظرفیت باربری و سختی نمونه‌ها افزایش قابل توجهی یافته، به طوری که نمونه شماره ۸ به طور متوسط در حدود ۱۸ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد. همچنین در شکل ۱۳ همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش میزان بازشدگی از ۵ به ۱۵ درصد ظرفیت باربری در حدود ۲۰ درصد کاهش یافته است.



شکل ۱۱- مقایسه پوش منحنی هیستریسیس نمونه‌هایی با مقطع تیر مختلف

#### ۴- نتیجه گیری

۱- با افزایش سطح مقطع ستون‌ها، در نمودارهای هیسترسیس شاهد رفتار یکنواخت‌تری بوده به طوری که مقدار بار یک‌شدگی در نمودارها افزایش قابل توجهی یافته است.

۲- با افزایش سطح مقطع ستون‌ها توزیع تنش به صورت یکنواختی در سطح ورق گسترده شده و کل سطح ورق به سمت خارج از صفحه کمانش کرده، این در حالی است که در صورت افزایش مقطع تیر کمانش اغلب به صورت قطری در ورق‌ها دیده می‌شود.

۳- با افزایش ضخامت ورق دیواربرشی مقدار کرنش غیرالاستیک ایجاد شده کمتر شده و تقریباً محدود به قسمت‌های تحتانی ورق طبقه اول بوده است.

۴- نمونه شماره ۳ با نیروی ۸۳۳ کیلو نیوتن نسبت به نمونه‌های ۲ و ۱ به ترتیب ۶ درصد و ۳۶ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد.

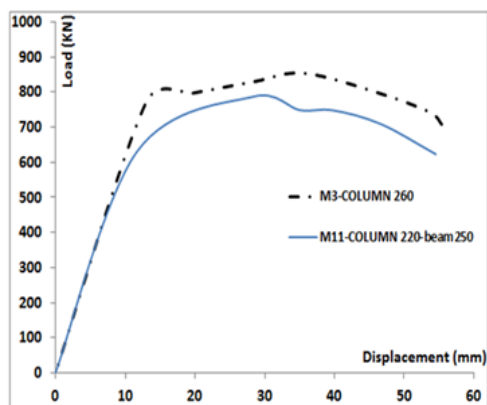
۵- افزایش سطح مقطع تیر تأثیرگذاری کمتری در نمونه‌ها داشته به طوری که با افزایش ۸ درصدی سطح مقطع تیر مقدار ظرفیت باربری کمتر از ۱ درصد افزایش یافته است.

۶- با افزایش ۲۰ درصدی ضخامت ورق دیواربرشی ظرفیت باربری و سختی نمونه‌ها افزایش قابل توجهی یافته، به طوری که نمونه شماره ۸ به طور متوسط در حدود ۱۸ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد.

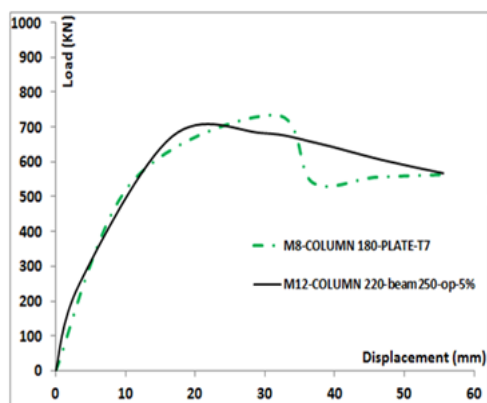
۷- با افزایش میزان بازشدگی از ۵ به ۱۵ درصد ظرفیت باربری در حدود ۲۰ درصد کاهش یافته و مقدار کرنش پلاستیک به صورت قطری در ورق‌ها ایجاد شده و تقریباً در محل‌های اتصال ورق به قاب محیطی در قسمت‌هایی از بال ستون‌ها کمانش موضعی قابل مشاهده است.

۸- در نمونه شماره ۳ ظرفیت باربری نسبت به نمونه ۱۱ افزایش یافته که از نظر عددی این افزایش در حدود ۸/۹۵ درصد بوده که بعد از کسب این مقدار نیرو، در هر دو نمونه افت و زوال مقاومت با شیب ملایمی قابل مشاهده می‌باشد.

۹- از نظر عددی نمونه شماره ۱۱ با نیروی ۷۵۸/۳۸ کیلو نیوتن نسبت به نمونه ۵ در حدود ۲۱ درصد ظرفیت باربری بیشتری دارد. به طور کلی می‌توان گفت که افزایش سطح مقطع ستون نسبت به افزایش سطح مقطع تیر از تأثیرگذاری بیشتری برخوردار می‌باشد.

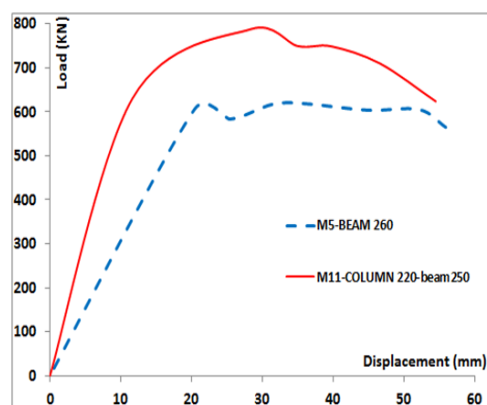


شکل ۱۳- مقایسه پوش منحنی هیسترسیس نمونه‌های ۳ و ۱۱



شکل ۱۴- مقایسه پوش منحنی هیسترسیس نمونه‌های ۸ و ۱۲

در شکل ۱۶ همانطور که مشاهده می‌شود شیب منحنی نیرو-جابجایی نمونه ۱۱ بیشتر از نمونه ۵ بوده است. از نظر عددی نمونه شماره ۱۱ با نیروی ۷۵۸/۳۸ کیلو نیوتن نسبت به نمونه ۵ در حدود ۲۱ درصد ظرفیت باربری بیشتری دارد. به طور کلی می‌توان گفت که افزایش سطح مقطع ستون نسبت به افزایش سطح مقطع تیر از تأثیرگذاری بیشتری برخوردار می‌باشد.



شکل ۱۶- مقایسه پوش منحنی هیسترسیس نمونه‌های ۵ و ۱۱



## منابع

- 1- M.M. Alinia, R.S. Shirazi, (2009), On the design of stiffeners in steel plate shear walls, *J.Constr. Steel Res.* 65 (10–11)- 2069–2077.
- 2- J.G. Yu, J.P. Hao, (2016), Behaviour of semi-rigid steel frames with steel plate shear walls, *Adv. Steel Constr.* 12 (2)- 154–173.
- 3- H.C. Guo, Y.L. Li, G. Liang, Y.H. Liu, (2017), Experimental study of cross stiffened steel plate shear wall with semi-rigid connected frame, *J. Constr. Steel Res.* 135 - 69–82.
- 4- Y.L. Guo, Q.L. Dong, M. Zhou, (2009), Tests and analysis on hysteretic behavior of buckling-restrained steel plate shear wall, *J. Build. Struct.* 30 (1) -31–39.
- 5- E. Alavi, F. Nateghi, (2013), Experimental study on diagonally stiffened steel plate shearwalls with central perforation, *J. Constr. Steel Res.* 89- 9–20.
- 6- Farzampour, F, Laman, J, (2015), Behavior prediction of corrugated steel plate shear walls with openings, *Journal of Constructional Steel Research* 114- 258–268.
- 7- Guo, H, Li, Y, Liang, G, Liu, Y, (2017), Experimental study of cross stiffened steel plate shear wall with semi-rigid connected frame, *Journal of Constructional Steel Research* 135- 69–82.
- 8- Nassernia, S, Showkati, H, (2017), Experimental study of opening effects on mid-span steel plate shear walls, *Journal of Constructional Steel Research* 137- 8–18.
- 9- Wang Wei, W, Liew, L, Du, Y, Xue-Yi Fu, (2017), Seismic behavior of novel partially connected buckling-restrained steel plate shear walls, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 103- 64–75 .
- 10- Jin-Guang Yu, Xiao-Tian Feng, Bo Li , Yung-Tsang Chen, (2018), Effects of non-welded multi-rib stiffeners on the performance of steel plate shear walls, *Journal of Constructional Steel Research* 144- 1–12.
- 11- Helmut Krawinkler, (2005), Loading Histories For Cyclic Tests In Support Of Performance Assessment Of Structural Components.

## Study on Cyclic Behavior of Stiffened Steel Shear Walls with Semi-rigid Joints to Steel Frame.

Sina Shirjang

Department of Civil Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

Ahmad Maleki

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

### Abstract:

With increasing research on the operation of the shear walls of the steel walls and increasing the reliability of their operation, the use of these walls has been noticeably expanded, especially in the United States and Japan. Given the relatively comprehensive understanding of the behavior of these walls, design rules have now begun to provide design rules for these walls. The basis of the performance of these structures is based on the operation of the diagonal tensile field after the buckling of the steel plate. Simple implementation is based on the technical advantages of the system without the need to acquire new skills, reduce the dimensions of the foundation, increase the perceptibility of the lateral structure of the structure, reduce the dead load, and, in the meantime, the economy of this system in counteracting the steel frame framing system is considered as the main advantages of this system. Gets The steel shear wall is a new side-impact resistant system that has better performance than other side-impact resistant systems. Considering the importance of using such structures, there is a need for study in this field. In this study, prior to examining the performance of joint wall joints, to verify the numerical results, we verified the laboratory sample and after evaluating and assuring the results of the modeling, 12 steel wall panels with Abaqus software were used. In these samples, parameters such as wall thickness, geometric characteristics of beams and columns, and the degree of opening of the corners of the sheet are investigated. The results of this study showed that with increasing the cross-section of the columns, the stress distribution was uniformly distributed on the surface of the sheet and the entire surface of the sheet buckling to the outside of the sheet, while in the case of an increase in the cross section of the buckler, It is visible on the sheets. However, in the event of an increase in the thickness of the wall plate, the amount of non-elastic strain created is less and is approximately limited to the lower parts of the first sheet. With a 20% increase in wall thickness, the bearing capacity and hardness of the samples increased by an average of 18%, and by increasing the opening rate, from 5 to 15% of the bearing capacity decreased by about 20%, and the amount of strain of plastic in the form of a diameter in the sheets It is visible at the site of the sheet attachment to the perimeter bore in the portions of the columns.

**Keywords:** stress distribution, local buckling, non-elastic, strain, seismic behavior, bearing capacity.