

اثر بازشوی متمرکز و گسترده بر پارامترهای رفتاری پانل‌های برشی فولادی تقویت شده

مجید قلهکی*^۱ و محمدباقر قدکساز^۲

^۱ استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

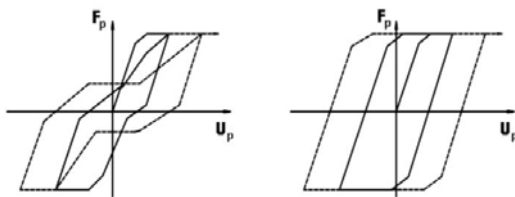
^۱ دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

چکیده

استفاده از دیوارهای برشی فولادی تقویت شده به دلیل جلوگیری از کمانش ورق‌ها تحت بارهای سرویس باد و زلزله و همچنین سختی، مقاومت و جذب انرژی بالاتر نسبت به دیوارهای مشابه بدون تقویت در طرح ساختمان‌های بلند مرتبه مورد توجه است. ایجاد بازشوهای متمرکز به دلایل معماری و ایجاد بازشوهای گسترده به دلایل محاسباتی در این گونه پانل‌ها محتمل می‌باشد. در این مقاله، پارامترهای رفتاری پانل‌های تقویت شده بدون بازشو و با بازشوهای متمرکز و گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاکی از کاهش سختی، مقاومت، شکل‌پذیری، جذب انرژی و مقدار ضریب رفتار به دلیل افزایش میزان بازشوها بوده و در عوض ضریب اضافه مقاومت افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان دادند که پانل‌های تقویت شده با بازشوی گسترده دارای سختی و مقاومت الاستیک کمتر و ضریب رفتار بزرگ‌تر نسبت به مورد مشابه با بازشوی متمرکز هستند و در دیوار برشی فولادی دارای سخت‌کننده با بازشوی متمرکز و گسترده با افزایش ۴۸ درصدی سطح بازشوها، مقدار ضریب رفتار به ترتیب ۱۶ درصد و ۸ درصد کاهش یافته است. **واژگان کلیدی:** پانل برشی با سخت‌کننده، بازشوی متمرکز، بازشوی گسترده، سختی، مقاومت، شکل‌پذیری، ضریب رفتار، جذب انرژی.

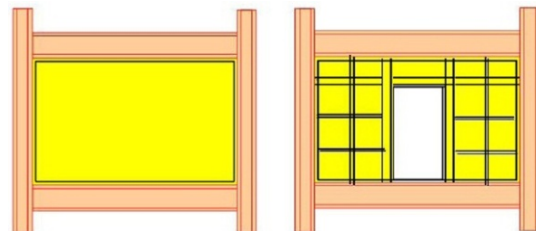
۱- مقدمه

دیوار برشی فولادی به دلیل رفتار لرزه‌ای مناسب، چندی است که مورد استقبال طراحان در سرتاسر دنیا قرار گرفته و ساختمان‌های زیادی در مرحله طراحی و تقویت از این سیستم استفاده نموده‌اند. اگر چه دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک بیش از نوع دارای سخت‌کننده آن به کار گرفته شده‌اند، اما نصب سخت‌کننده باعث جلوگیری از کمانش دیوار تحت بارهای سرویس نظیر باد گردیده و از این بابت در سازه‌های بلند مورد توجه است (شکل (۱)).



شکل ۲- رفتار هیستریزیس دیوار برشی فولادی دارای سخت‌کننده (راست) و بدون سخت‌کننده (چپ)

در آمریکای شمالی و ایران معمولاً در طراحی‌ها از دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک استفاده شده که مزایای رفتار آن در طرح و تقویت سازه‌ها مشخص است. اما در برخی از مناطق مانند ژاپن به دلیل وجود زلزله‌های خفیف با تعداد زیاد و یا وزش بادهای شدید، این بارها، بار سرویس تلقی شده و استفاده از دیوار برشی فولادی دارای سخت‌کننده به دلیل جلوگیری از کمانش ورق با استقبال بیشتری روبه‌رو است. در سال ۱۹۷۳، Takahashi و همکاران [۱]، برای بهبود رفتار کمانشی پانل‌های برشی فولادی، پانل‌های برشی با آرایش‌های مختلف سخت‌کننده را مورد آزمایش قرار داده و حداقل ممان اینرسی لازم را برای جلوگیری از کمانش کلی ورق فولادی و انتقال آن به کمانش موضعی در زیر ورق‌ها به دست آوردند. طرح استفاده از دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک بر اساس نتایج مطالعات



شکل ۱- دیوار برشی فولادی با سخت‌کننده و بدون سخت‌کننده

نصب سخت‌کننده علاوه بر افزایش سختی و مقاومت، باعث افزایش جذب انرژی شده و شکل چرخه‌های هیستریزیس را از حالت S شکل به حالت دوکی شکل تغییر می‌دهد (شکل (۲)).

میدان کشش قطری ناچیز است. در سال ۲۰۰۹، سجادی [۹] به بررسی جذب انرژی و ضریب رفتار دیوارهای برشی فولادی شکل‌پذیر با سخت‌کننده با بازشو و بدون بازشو پرداخت. در سال ۲۰۰۹، قلهکی و رضایی‌فر [۱۰] اثر مقاومت افزون را بر روی ضریب رفتار دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک مورد بررسی قرار دادند. در سال ۲۰۱۱، قلهکی [۱۱، ۱۲]، به بررسی رفتار ساختمان‌های بتنی تقویت شده با دیوار برشی فولادی و تأثیر شکل‌پذیری بر ضریب رفتار قاب فولادی سرد نورد شده مسلح به دیوار برشی فولادی پرداخت. همچنین در سال ۲۰۱۲، قلهکی و ستاری [۱۳] به بررسی اثر مؤلفه افقی زلزله در حضور مؤلفه قائم زلزله بر روی دیوارهای برشی فولادی پرداختند.

۲- مودهای کمانشی پانل برشی فولادی دارای سخت‌کننده

تعداد، ابعاد و نحوه آرایش سخت‌کننده‌ها می‌تواند باعث ایجاد دو مود کمانشی در پانل برشی فولادی گردد:

الف) ایجاد کمانش کلی در ورق پانل

ب) ایجاد کمانش موضعی در زیر پانل‌های ورق

در حالت اول، طراحی سیستم اقتصادی نبوده و این مود کمانش زمانی رخ می‌دهد که ابعاد، تعداد و نحوه آرایش سخت‌کننده‌ها از مقادیر حداقلی کمتر باشد. در این صورت نه تنها سخت‌کننده‌ها کمکی به افزایش سختی، مقاومت و جذب انرژی نمی‌کنند، بلکه به دلیل ممانعت از تشکیل میدان کشش قطری در ورق، از تمام ظرفیت پس‌کمانشی ورق به صورت بهینه استفاده نمی‌شود. بنابراین این در حالت کلی بر مبنای فرض تشکیل میدان کشش قطری در هر یک از زیر پانل‌های ورق (حالت ب) سخت‌کننده‌ها طراحی می‌گردند. در مود طراحی موضعی، ابعاد و تعداد سخت‌کننده‌ها به گونه‌ای طرح می‌گردد که پس از تشکیل میدان کشش قطری در ورق، تا زمان تسلیم آن، هر یک از زیر پانل‌ها مقاومت نمایند.

۲-۱- مود کمانش کلی

تنش برشی بحرانی در حالت کمانش کلی با فرض اورتوتروپیک بودن کل ورق محاسبه می‌گردد. به این معنی که ورق تقویت شده در دو جهت مانند صفحه‌ای عمل می‌کند که در دو جهت دارای سختی‌های متفاوتی است. در این صورت تنش بحرانی برای کمانش کلی (τ_{crG}) از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۴]:

انجام شده بر روی تیورق‌ها برای اولین بار در سال ۱۹۸۳ در دانشگاه آلبرتا کانادا توسط Timler و Kulak [۲] مطرح گردید. در سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲، Sabouri-Ghomi و Roberts [۳، ۴] و Sabouri-Ghomi و Roberts [۵، ۶]، به بررسی رفتار پانل‌های برشی و اثر بازشوهای دایره‌ای بر روی مقاومت و سختی آن‌ها پرداختند. نتایج نشان دادند که مقاومت و سختی ورق با بازشو با نسبت D/d ارتفاع پانل و D قطر بازشو، نسبت به مقاومت و سختی ورق بدون بازشو کاهش می‌یابد و از نتایج این آزمایش‌ها برای تعیین منحنی رفتاری بار-تغییر مکان ورق با بازشو استفاده گردید. در سال ۲۰۰۴، Vian و Bruneau [۷]، به منظور کاهش مقاومت کلی پانل، به بررسی پانل برشی با تعداد قابل توجهی سوراخ در مقایسه با نمونه بدون بازشو پرداختند. هدف از این آزمایش، بیشتر بررسی اثر بازشوهای گسترده در کاهش سختی و مقاومت الاستیک پانل بود. آن‌ها در نتایج خود کاربرد این سیستم را بیشتر برای زمانی بیان کردند که ضخامت ورق طراحی شده در بازار وجود نداشته و ورق‌های با ضخامت بالاتر موجود بوده و لذا نیاز به ایجاد بازشوی گسترده به منظور کاهش سختی و مقاومت ورق موجود باشد (شکل ۳).



شکل ۳- دیوار برشی فولادی با بازشوی گسترده

در سال ۲۰۰۷، قلهکی [۸] دو نمونه دیوار برشی فولادی با تفاوت در نوع اتصال تیرهای میانی به ستون‌ها را مورد آزمایش قرار داده و دریافت که ضریب شکل‌پذیری نمونه دارای اتصال‌گیردار برابر ۶/۶۳ و نمونه دارای اتصال ساده برابر ۸/۲۴ می‌باشد. این مطالعات نشان دادند که اثر نوع اتصال تیر به ستون روی سختی اولیه این دیوارها قابل صرف‌نظر بوده و مقاومت نمونه دارای اتصال‌گیردار نسبت به اتصال ساده حدود ۲۶ درصد بیشتر و میزان جذب انرژی نمونه اتصال‌گیردار بیشتر از نمونه اتصال ساده بوده و اثر نوع اتصال تیر به ستون بر روی زاویه

$$\tau_{cr1} = \frac{k_l E \pi^2}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{s}\right)^2 \leq \tau_{sy} \quad (۴)$$

$$k_l = 5.35 + 4\left(\frac{s_x}{s_y}\right)^2 \quad \text{for} \left(\frac{s_x}{s_y}\right) \geq 1 \quad (۵)$$

$$k_l = 4 + 5.35\left(\frac{s_x}{s_y}\right)^2 \quad \text{for} \left(\frac{s_x}{s_y}\right) \leq 1 \quad (۶)$$

۲-۳- شرایط لازم برای سخت‌کننده‌ها

برای این که کمانش موضعی زودتر از کمانش کلی اتفاق افتد، باید رابطه (۷) اقلانگردد:

$$\tau_{cr1} > \tau_{cr2} \quad (۷)$$

بر این اساس، رابطه لازم برای ممان اینرسی لازم سخت‌کننده‌ها با توجه به ابعاد ورق فولادی به دست می‌آید:

$$\left(\frac{I_x}{s_x} + \frac{t^2}{12(1-\nu^2)}\right)^{0.75} + \left(\frac{I_y}{s_y} + \frac{t^2}{12(1-\nu^2)}\right)^{0.25} > 0.091 \frac{t^2}{s^2} \left(\frac{k_l}{k_g}\right) \cdot d^2 \quad (۸)$$

در رابطه فوق به ازای $S_x = S_y = S$ و $I_x = I_y = I$ رابطه ساده‌تر (۹) به دست می‌آید که I حداقل ممان اینرسی لازم سخت‌کننده‌ها (افقی و عمودی)، برای انتقال مود کمانش از حالت کلی به موضعی می‌باشد. همچنین بهتر است برای به دست آوردن مقدار ممان اینرسی با ضریب اطمینان بالا با استفاده از رابطه (۸)، مقدار K_g (ضریب کمانش کلی) را برابر مقدار حداقل، یعنی ۳/۶۴ (حالت اتصال ساده ورق به قاب اطراف)، در نظر گرفت.

$$I > 0.0916 \left(\frac{d^2}{s} \left(\frac{K_l}{K_g}\right) - s\right) t^3 \quad (۹)$$

۳- صحت‌سنجی مدل اجزاء محدود با نمونه آزمایشگاهی

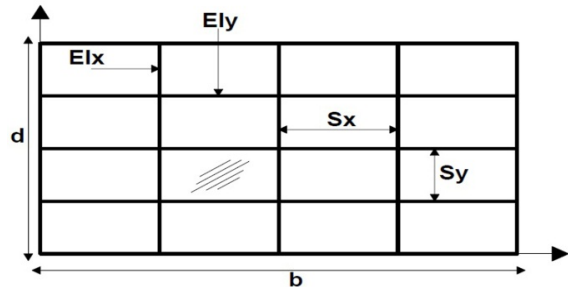
به منظور بررسی اثر بازشوهای متمرکز و گسترده بر روی پانل‌های تقویت شده ابتدا نمونه آزمایش شده توسط صبوری و سجادی [۹]، شکل (۵)، در نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS

$$\tau_{cr2} = (D_x^{0.75} D_y^{0.25}) \frac{k_g \pi^2}{t_w d^2} \leq \tau_{sy} \quad (۱)$$

$$D_x = \frac{EI_x}{s_x} + \frac{Et^2}{12(1-\nu^2)} \quad (۲)$$

$$D_y = \frac{EI_y}{s_y} + \frac{Et^2}{12(1-\nu^2)} \quad (۳)$$

در روابط فوق، t ضخامت ورق فولادی، I_x و I_y به ترتیب ممان اینرسی سخت‌کننده‌ها در جهت x و y و حول محور گذرنده از مرکز ورق b و d به ترتیب عرض و ارتفاع ورق، E مدول الاستیسیته، ν ضریب پواسون، S_x و S_y به ترتیب فاصله سخت‌کننده‌ها در جهت x و y و k_g ضریب کمانش کلی است که با توجه به شرایط مرزی ورق دیوار برشی تعیین می‌گردد و $\tau_{sy} = \sigma_y / \sqrt{3}$ که σ_y تنش تسلیم ورق فولادی است (شکل (۴)).



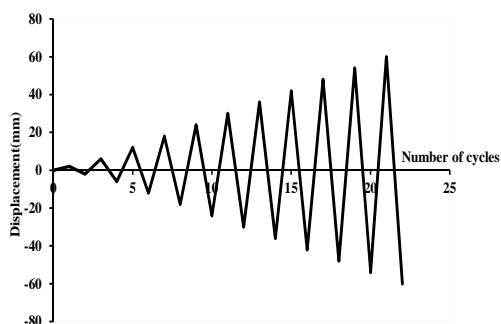
شکل ۴- وضعیت قرارگیری سخت‌کننده‌ها در پانل

اگر محل اتصال ورق به تیر و ستون‌های اطراف به صورت گیردار باشد، $k_g = 6.9$ و اگر این شرایط به صورت ساده در نظر گرفته شود، $k_g = 3.64$ فرض می‌شود. در عمل شرایط مرزی ورق دیوار برشی فولادی به حالت نیمه‌گیردار نزدیک‌تر می‌باشد. با این حال اگر اتصال ورق به تیرها و ستون‌های اطراف به صورت جوشی باشد، شرایط به حالت گیردار و اگر اتصال ورق به صورت پیچی باشد، به حالت ساده نزدیک‌تر است.

۲-۲- مود کمانش موضعی

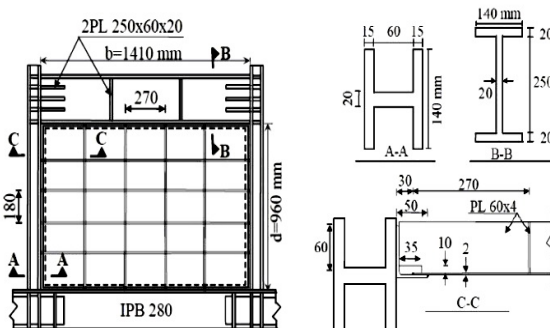
اگر کمانش در مود موضعی اتفاق افتد، تنش برشی بحرانی الاستیک کمانش برای زیر ورق فولادی محصور در میان سخت‌کننده‌ها (τ_{cr1}) از رابطه کلاسیک زیر به دست می‌آید [۱۵]:

پوسته‌ای با انتگرال‌گیری کاهش یافته (S4R) استفاده و برای مش‌بندی نمونه‌ها از مش منظم مکعبی با ابعاد ۵۰ میلی‌متر استفاده گردیده است. اتصال تیر به ستون، پانل به قاب و سخت‌کننده‌ها به پانل و قاب اطراف به صورت گیردار در نظر گرفته شده است. جنس مصالح پانل از فولاد St14 با تنش تسلیم ۱۹۲ مگاپاسکال و جنس تیر و ستون‌های قاب اطراف از فولاد St52، و سخت‌کننده‌های قائم و افقی پانل نیز از فولاد St37 انتخاب گردیده‌اند. مدول الاستیسیته فولاد مصرفی ۲۱۰ گیگاپاسکال و ضریب پواسون ۰/۳ در نظر گرفته شده است. برای تعریف مشخصات پلاستیسیته مصالح از منحنی دو خطی تنش- کرنش الاستو-پلاستیک فولاد استفاده شده است. مصالح تعریف شده دارای قابلیت سخت‌شوندگی سینماتیک می‌باشند. از آن-جایی که مصالح مورد استفاده فولاد می‌باشد از معیار فون-مایسز برای گسیختگی استفاده گردیده است. بارگذاری چرخه‌ای نمونه‌ها مطابق پروتکل بارگذاری (ATC-24) [۱۷]، به مدل‌ها اعمال گردیده است، شکل (۷). از آنالیز استاتیکی غیر خطی برای تحلیل نتایج استفاده و اثرات تغییر شکل‌های بزرگ، اثرات غیر خطی مصالح و غیر خطی هندسی نیز در مدل‌سازی‌ها لحاظ گردیده و برای حل معادلات از روش حل مستقیم استفاده شد. جهت سهولت در تشخیص مدل‌ها از حروف زیر جهت نامگذاری نمونه‌های اجزاء محدود استفاده شده است. به عنوان نمونه مثال، نمونه با نام SSSW-O-8% که مخفف عبارت Stiffened Steel Shear Walls می‌باشد، بیانگر دیوار برشی فولادی با سخت‌کننده و O مخفف کلمه Opening به معنای بازشوی، و ۸ درصد به معنای میزان بازشو ۸ درصد به صورت متمرکز در نمونه است و SSSW-eo-8% به معنای دیوار برشی فولادی با سخت‌کننده با بازشوی گسترده به میزان ۸ درصد است.

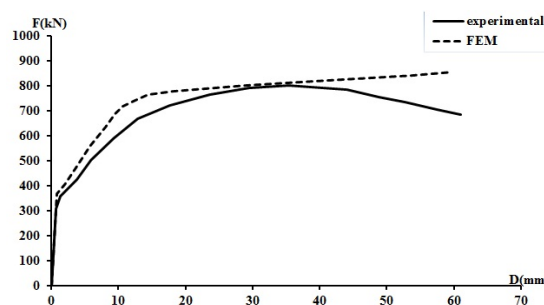


شکل ۷- پروتکل بارگذاری نمونه‌ها بر اساس ATC-24

[۱۶]، مدل‌سازی گردیده و نتایج با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج حاکی از انطباق قابل قبول میزان سختی و مقاومت هستند (شکل (۶)).



شکل ۵- مشخصات نمونه آزمایشگاهی صبوری و سجادی



شکل ۶- مقایسه منحنی پوش مدل اجزاء محدود با نمونه آزمایشگاهی

اصولاً نمونه‌های اجزاء محدود به دلیل این که پارگی و تسلیم‌شدگی‌های برخی از نقاط نمونه از جمله جوش‌ها را مدل نمی‌نماید. لذا میزان سختی نمونه اجزاء محدود بیشتر از میزان واقعی آن است. بر این اساس با توجه به این که همه جزئیات مدل آزمایشگاهی در روش اجزاء محدود مدل‌سازی نمی‌شود، در نتیجه شیب ثانویه که عمدتاً خواص پلاستیک‌شدگی نمونه را نشان می‌دهد به صورت صد در صد قابل مدل‌سازی نبوده و فقط در این بخش باید بتوان بار حداکثر نمونه را به خوبی تقریب زد که در نمودار شکل (۶)، این مسئله رعایت شده است. همچنین با توجه به مشکلات فوق معمولاً در تحلیل‌های پوش اور منحنی بار تغییر مکان روش اجزاء محدود دچار افت مقاومت نمی‌گردد.

۴- معرفی مشخصات پانل‌های برشی فولادی تقویت شده با بازشوی متمرکز و گسترده

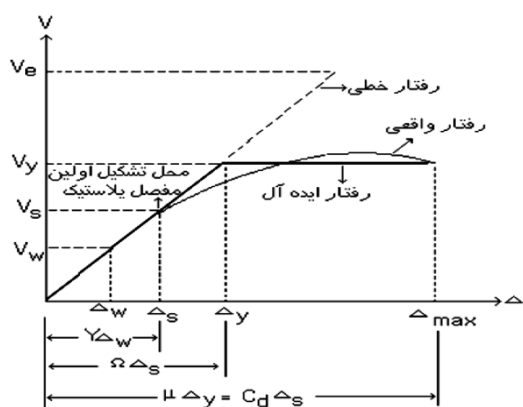
جهت مدل‌سازی اجزاء تیر، ستون‌ها، پانل برشی و سخت‌کننده‌های عمودی و افقی نمونه‌ها از المان چهار گره‌ای

خصوص دیوارهای برشی فولادی بدون سخت کننده می باشد، لذا در این تحقیق به تعیین شکل پذیری و ضریب رفتار پانل های برشی فولادی با سخت کننده دارای بازشو پرداخته شده است. در آزمایشات انجام شده توسط صبوری و سجادی [۹]، مقدار ضریب رفتار محاسبه شده برای پانل های تقویت شده ۱۷/۱ به دست آمد.

روش های مختلفی برای تعیین ضریب رفتار در آیین نامه های مختلف آمریکایی و اروپایی وجود دارند که روش آیین نامه های آمریکایی ساده و کاربردی تر هستند. از میان این روش ها، دو روش طیف ظرفیت فریمن و شکل پذیری یوانگ نسبت به بقیه روش ها بیشتر مورد استفاده واقع شده و لذا در این مقاله از روش شکل پذیری یوانگ مطابق رابطه (۱۰) برای محاسبه ضریب رفتار نمونه ها استفاده شده است.

$$R_w = R_S \times R_{\mu} \times Y \quad (10)$$

که در آن، R_w ضریب رفتار تنش مجاز، R_S ضریب مقاومت افزون، R_{μ} ضریب کاهش ناشی از شکل پذیری و Y ضریب تنش مجاز سازه می باشد.



شکل ۹- منحنی دوخطی یوانگ جهت تعیین ضریب رفتار

مطابق شکل (۹)، ضریب شکل پذیری سازه از رابطه (۱۱) محاسبه می شود:

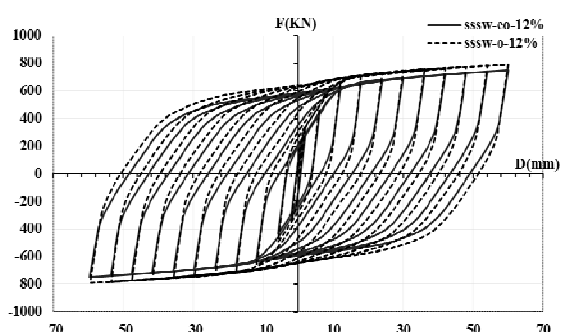
$$\mu = \Delta_{max} / \Delta_y \quad (11)$$

همچنین ضریب مقاومت افزون از رابطه (۱۲) قابل محاسبه است:

$$R_S = \Omega = V_S / V_y \quad (12)$$

۵- مقایسه منحنی های حاصل از تحلیل چرخه ای در پانل های برشی فولادی تقویت شده با بازشوی متمرکز و گسترده

به منظور مقایسه رفتار دیوارهای برشی فولادی با سخت کننده از نمونه های با درصد بازشوی ۰، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۱۰۰ درصد سطح ورق به دو صورت متمرکز و گسترده استفاده شد. نتایج پانل های با ۱۲ درصد بازشو به عنوان نمونه در شکل (۸) آورده شده است.



شکل ۸- منحنی های هیستریزس پانل های با بازشوی ۱۲ درصد و به صورت متمرکز و گسترده

همان طور که در شکل (۸) مشاهده می شود، پانل با بازشوی گسترده دارای سختی و مقاومت کمتر بوده و سختی و مقاومت الاستیک نمونه با بازشوی گسترده نسبت به نمونه با بازشوی متمرکز به ترتیب حدود ۲۲ و ۲۸ درصد کاهش یافته است. همچنین سطح زیر منحنی های هیستریزس در این پانل ها نسبت به پانل های با بازشوی متمرکز کمتر می باشد که نشان از جذب انرژی کمتر این نمونه ها دارد. با توجه به این که در پانل های با بازشوی گسترده، بازشوها به صورت دایره ای و در مرکز زیر صفحه های بین سخت کننده ها ایجاد می شوند باعث جلوگیری از تشکیل کامل میدان پس کمانش پلاستیک در زیر صفحه ها شده و به همین علت سختی، مقاومت، شکل پذیری و میزان انرژی میرا شده در این نمونه ها به طور چشمگیری کاهش یافته است.

۶- بررسی و مقایسه شکل پذیری و ضریب رفتار پانل های برشی فولادی با سخت کننده دارای بازشوی متمرکز و گسترده

با توجه به این که بیشترین تحقیقات و آزمایش های انجام گرفته برای تعیین ضریب رفتار دیوارهای برشی فولادی، در

جدول ۱- ضریب رفتار پانل‌های برشی فولادی با سخت‌کننده دارای بازشوی متمرکز

نمونه‌ها	μ	R_{μ}	Ω	Y	R	R_w
sssw-o-0%	۲۹/۰	۷/۵	۱/۸۶	۱/۴۰	۱۴/۰	۱۹/۷
sssw-o-4%	۲۵/۲	۷/۰	۱/۹۰	۱/۴۰	۱۳/۴	۱۸/۷
sssw-o-8%	۲۲/۰	۶/۷	۱/۹۵	۱/۴۰	۱۳/۱	۱۸/۳
sssw-o-12%	۲۱/۰	۶/۴	۱/۹۸	۱/۴۰	۱۲/۷	۱۷/۷
sssw-o-16%	۱۸/۴	۶/۰	۲/۰۰	۱/۴۰	۱۱/۹	۱۶/۷
sssw-o-24%	۱۶/۱	۵/۶	۲/۱۰	۱/۴۰	۱۱/۷	۱۶/۴
sssw-o-36%	۱۴/۵	۵/۳	۲/۲۸	۱/۴۰	۱۲/۰	۱۶/۸
sssw-o-48%	۱۱/۵	۴/۷	۲/۵۳	۱/۴۰	۱۱/۸	۱۶/۶
fram	۴/۸	۲/۰	۱/۳۰	۱/۴۰	۳/۸	۵/۴

جدول ۲- ضریب رفتار پانل‌های برشی فولادی با سخت‌کننده دارای بازشوی گسترده

نمونه‌ها	μ	R_{μ}	Ω	Y	R	R_w
sssw-eo-0%	۲۹/۰	۷/۵	۱/۸۶	۱/۴۰	۱۴/۰	۱۹/۷
sssw-eo-4%	۲۴/۰	۶/۹	۱/۹۹	۱/۴۰	۱۳/۶	۱۹/۱
sssw-eo-8%	۱۹/۲	۶/۱	۲/۲۲	۱/۴۰	۱۳/۶	۱۹/۰
sssw-eo-12%	۱۷/۵	۵/۸	۲/۳۰	۱/۴۰	۱۳/۴	۱۸/۸
sssw-eo-16%	۱۵/۵	۵/۵	۲/۴۵	۱/۴۰	۱۳/۴	۱۸/۸
sssw-eo-24%	۱۳/۰	۵/۰	۲/۶۴	۱/۴۰	۱۳/۲	۱۸/۴
sssw-eo-36%	۸/۷	۴/۰	۳/۲۰	۱/۴۰	۱۳/۰	۱۸/۱
sssw-eo-48%	۶/۹	۳/۶	۳/۵۹	۱/۴۰	۱۲/۹	۱۸/۰
fram	۴/۸	۲/۰	۱/۳۰	۱/۴۰	۳/۸	۵/۴

با توجه به نتایج جدول (۱) مشاهده می‌شود که با افزایش درصد بازشوها، میزان ضریب شکل‌پذیری و ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری کاهش یافته ولی ضریب اضافه مقاومت افزایش می‌یابد. همچنین ضریب رفتار تنش مجاز (R_w)، تا میزان بازشوی ۱۲ درصد تغییر محسوسی نداشته، بنابر این می‌توان ضریب رفتار تنش مجاز (R_w)، در دیوارهای برشی فولادی با سخت‌کننده دارای بازشوی متمرکز تا میزان بازشو ۱۲ درصد را به طور میانگین برابر ۱۸ در نظر گرفت. همچنین ضریب رفتار تنش مجاز (R_w)، از میزان بازشوی ۱۶ درصد تا ۵۰ درصد تغییر محسوسی نداشته و لذا می‌توان مقدار آن را برای این میزان بازشوها در حدود ۱۶/۵ در نظر گرفت.

مطابق نتایج جدول (۲)، روند تغییرات ضریب شکل‌پذیری، ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری و ضریب اضافه مقاومت در پانل‌های با بازشوی گسترده مشابه پانل‌های با بازشوی متمرکز است. بر این اساس مقدار ضریب رفتار تنش مجاز (R_w) این

مطابق شکل (۹) رفتار واقعی و منحنی ایده‌آل دو خطی الاستیک-پلاستیک کامل بر روی یک دستگاه ترسیم شده، به گونه‌ای که انرژی جذب شده توسط هر دو منحنی برابر یکدیگر می‌باشد. بدین ترتیب مقادیر مختلف پارامترهای فوق با توجه به شکل (۹) قابل استخراج هستند.

با توجه به این که روش‌های متفاوتی برای محاسبه ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری (R_{μ}) نظیر روش Newmark و Hall [۲۲]، روش میراندا و برترو [۲۳]، روش Krawinkler و Nassar [۲۴]، وجود داشته و در میان این روش‌ها به غیر از روش نیومارک و هال، در بقیه آن‌ها تعیین نوع خاک در محل سازه عامل مهمی در تعیین ضریب رفتار می‌باشد. لذا از روش نیومارک و هال برای تعیین R_{μ} استفاده می‌شود. مطابق این روش میزان R_{μ} برای سه حالت زیر تعیین می‌گردد:

حالت (۱) برای سازه‌های نرم با فرکانس کوچک‌تر از یک هرتز (زمان تناوب بزرگتر از یک ثانیه):

$$R_{\mu} = \mu \quad (13)$$

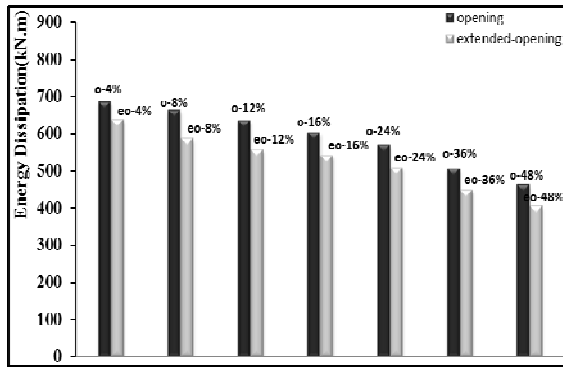
حالت (۲) برای سازه‌های سخت با فرکانس بین ۲ تا ۸ هرتز (زمان تناوب بین ۰/۱۲ تا ۰/۵ ثانیه):

$$R_{\mu} = \sqrt{2\mu - 1} \quad (14)$$

حالت (۳) برای سازه‌های بسیار سخت با فرکانس بالای ۳۳ هرتز (زمان تناوب کمتر از ۰/۰۳ ثانیه):

$$R_{\mu} = 1.0 \quad (15)$$

با توجه به محاسبه زمان تناوب پانل‌های دارای سخت‌کننده، مشخص گردید که این پانل‌ها جزء سازه‌های سخت و در محدوده فرکانسی حالت دوم قرار داشته و لذا برای محاسبه ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری رابطه (۱۴) استفاده می‌شود. همچنین ضریب تنش مجاز در حدود ۱/۴ تا ۱/۵ می‌باشد. بر این اساس مقدار ضریب رفتار پانل‌های تقویت شده با بازشوی متمرکز و گسترده و برای مقادیر مختلف بازشوها به ترتیب در جداول (۱) و (۲) آورده شده است.



شکل ۱۰- مقایسه میزان انرژی میرا شده در نمونه‌های دارای بازشوی متمرکز و گسترده

۸- نتیجه‌گیری

نتایج نشان دادند که در هر دو دسته پانل‌های با بازشوی متمرکز و گسترده با افزایش میزان بازشو، میزان سختی، مقاومت الاستیک، ضریب شکل‌پذیری و ضریب رفتار کاهش و در عوض ضریب اضافه مقاومت افزایش یافته است. بر اساس نتایج، میزان ضریب رفتار تنش مجاز پانل تقویت شده بدون بازشو برابر ۱۹/۷ و ضریب رفتار قاب خمشی در حدود ۵/۴ است. این مسأله میزان شکل‌پذیری و جذب انرژی فوق‌العاده پانل‌های تقویت شده فولادی نسبت به قاب خمشی را نشان می‌دهد. با افزایش درصد بازشو تا ۱۲ درصد، میزان ضریب رفتار تنش مجاز پانل‌های تقویت شده با بازشوی متمرکز و گسترده به ترتیب برابر ۱۸ و ۱۶/۵ می‌باشد. این مسأله حاکی از بزرگ‌تر بودن ضریب رفتار تنش مجاز در پانل‌های تقویت شده با بازشوی گسترده نسبت به متمرکز است. نتایج همچنین نشان می‌دهند که میزان سختی، مقاومت الاستیک و شکل‌پذیری پانل‌های تقویت شده با بازشوی گسترده کمتر از پانل‌های با بازشوی متمرکز بوده و میزان سختی، مقاومت الاستیک و انرژی مستهلک شده توسط پانل‌های با بازشوی گسترده، به ترتیب حدود ۲۲، ۲۸ و ۱۱ درصد کمتر از پانل‌های با بازشوی متمرکز است. این مسأله مربوط به وجود بازشو در هر زیرصفحه و مانع از تشکیل میدان کشش قطری کامل در هر زیرصفحه است.

۹- مراجع

- [1] Takahashi, Y., Takeda, T., Takemoto, Y., Takagi, M., "Experimental Study on Thin Steel Shear Walls and Particular Steel Bracings under Alternative Horizontal Load", Preliminary Report, IABSE Symposium on

پانل‌ها را برای بازشو تا ۱۲ درصد می‌توان ۱۹ و برای بازشویهای بین ۱۶ تا ۵۰ درصد به طور میانگین برابر ۱۸ در نظر گرفت. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در میزان بازشویهای برابر، ضریب رفتار و ضریب اضافه مقاومت پانل‌های با بازشوی گسترده اندکی بیشتر از مقادیر آن در پانل‌های با بازشوی متمرکز بوده و در مورد ضریب شکل‌پذیری برعکس می‌باشد. همچنین ضریب رفتار نمونه بدون بازشو نسبت به نمونه مشابه دارای بازشو بیشتر است. ضرائب رفتار پیشنهادی برای پانل‌های برشی فولادی دارای سخت‌کننده منطبق بر نتایج این تحقیق بوده و مسائلی از قبیل اثرات ارتفاع قاب، نسبت عرض به ارتفاع، تأثیرات سختی ورق نسبت به قاب پیرامونی و ... می‌تواند روی ضرائب شکل‌پذیری و مقاومت اضافه و تأثیرگذار بوده و لذا در خصوص ارائه یک ضریب رفتار برای آیین‌نامه‌ها کارهای تحقیقاتی بیشتر در این زمینه مفید خواهد بود.

۷- مقایسه میزان انرژی میرا شده در پانل‌های برشی فولادی با سخت‌کننده با بازشوی متمرکز و گسترده

یکی از مزایای تحلیل‌های استاتیکی غیر خطی تحت بارگذاری چرخه‌ای، امکان محاسبه انرژی‌های (میرا) شده توسط سیستم مقاوم است و در طی آن سطح زیر منحنی هر چرخه محاسبه شده و امکان مقایسه جذب انرژی در طی سیکل‌های مختلف (کاهش یا افزایش) میسر می‌شود. علاوه بر این که جذب انرژی طی هر چرخه قابلیت مقایسه دارد، جمع انرژی‌های جذب شده تجمعی در طی تعداد مشخصی چرخه بارگذاری با تغییر مکان‌های یکسان برای سیستم‌های مختلف قابل مقایسه است. میزان انرژی میرا شده توسط نمونه‌های دارای بازشو متمرکز و گسترده در طی ۲۳ چرخه بارگذاری در شکل (۱۰) نشان داده شده و با هم مقایسه گردیده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش میزان درصد بازشوها میزان انرژی میرا شده توسط پانل‌ها کاهش یافته است.

مطابق شکل (۱۰)، مقایسه میزان انرژی میرا شده بین نمونه‌های دارای بازشو متمرکز و گسترده با درصد بازشو برابر، نشان می‌دهد که میزان انرژی میرا شده توسط نمونه‌های دارای بازشوی گسترده حدود ۱۱٪ کمتر از نمونه‌های با بازشو متمرکز است.

- [۱۲] قلهکی، م.، " اثر شکل‌پذیری بر ضریب رفتار قاب فولادی سرد نورد شده مسلح شده به دیوار برشی فولادی"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ۶ و ۷ اردیبهشت ۱۳۹۰.
- [۱۳] قلهکی، م.، ستاری، م. ج.، "اثر مؤلفه افقی زلزله بر رفتار دینامیکی دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک در حضور مؤلفه قائم زلزله"، دومین کنگره ملی سازه و فولاد، هتل المپیک، تهران، ۱۰ تا ۱۲ دی ۱۳۹۰.
- [۱۴] صبوری قمی، س.، مام عزیزی، ص.، "بررسی سخت کننده‌ها در دیوارهای برشی فولادی تقویت شده"، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۸ تا ۲۰ اردیبهشت ۱۳۸۵.
- [15] Timoshenko, S., Woinowsky-Krieger, S., "Theory of Plates and Shell", McGraw Hill Book Company, 1959.
- [16] ABAQUS Standard User's manual, Version (6.10.1), Karlsson and Sorensen.
- [17] ATC-24, "Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures", by Applied Technology Council, 1992.
- [18] Driver, R. G., Kulak, G. L., Kennedy, D. J. L., Elwi, A. E., "Cyclic Test of Four-Story Steel Plate Shear Wall", Journal of Structural Engineering, 1998, 124 (2), 121-130.
- [19] Vian, D., Bruneau, M., "Testing of Special LYS Steel Plate Shear Walls", the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, British Columbia, Canada, Paper No. 978, August 1-6, 2004.
- [20] Kharrazi, M. H. K., "Rational Methode for Analysis and Design of Steel Plate Shear Walls", PhD Dissertation, UBC, Canada, 2005
- [21] Sabouri-Ghomi, S, Gholhaki, M., "Cyclic Test on Two Specimens of Three-Story Ductile steel plate shear wall", Report Submitted to Building and Housing Research Center (BHRC), 2006.
- [22] Newmark, N. M., Hall, W. J., "Earthquake Spectra and Design", Earthquake Engineering Research Institute, El Cerrito, California 1982.
- [23] ATC, (1995). "Structural Response Modification Factors", ATC-19 Report, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- [24] Krawinkler, H., Nassar, A. A., "Seismic Design Based on Ductility and Cumulative Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated loads, Lisbon, Portugal, 1973, pp 185-191.
- [2] Timler, P. A., Kulak, G. L., "Experimental Study of Steel Plate Shear Walls", Structural Engineering Rep. No.114, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Canada, 1983.
- [3] Sabouri-Ghomi, S., Roberts, T. M., "Nonlinear Dynamic Analysis of Thin Steel Plate Shear Walls", Computers and Structures, 1991, 39, 121-127.
- [4] Sabouri-Ghomi, S., Roberts, T. M., "Nonlinear Dynamic Analysis of Thin Steel Plate Shear Walls including Shear and Bending Deformations", Engineering Structures, 1992, 14, 309-317.
- [5] Roberts, T. M., Sabouri-Ghomi, S., "Hysteretic Characteristics of Unstiffened Plate Shear Panels", Thin Walled Structures, 1991, 12, 145-162.
- [6] Roberts, T. M., Sabouri-Ghomi, S., "Hysteretic Characteristics of Unstiffened Perforated Steel Plate Shear Panels", Thin Walled Structures, 1992, 14, 139-151.,
- [7] Vian, D., Bruneau, M., "Testing of Special LYS Steel Plate Shear Walls", The 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 978, Vancouver, British Columbia, Canada, 2004.
- [۸] قلهکی، م.، "بررسی رفتار دیوارهای برشی فولادی شکل‌پذیر و اثر نوع اتصال تیر به ستون بر آنها"، رساله دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۶.
- [۹] اسعد سجادی، س. ر.، "بررسی رفتار دیوارهای برشی فولادی با بازشو"، رساله دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۸.
- [۱۰] قلهکی، م. رضایی‌فر، ا.، "اثر مقاومت افزون بر ضریب رفتار دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک"، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، ۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت، ۱۳۸۸.
- [۱۱] قلهکی، م.، "بررسی رفتار ساختمان‌های بتنی تقویت شده با دیوار برشی فولادی"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ۶ و ۷ اردیبهشت ۱۳۹۰.

Damage Demands and Capacities", Nonlinear Seismic Analysis and Design of Reinforced Concrete Buildings, P. Fajfar and Krawinkler, eds., Elsevier Applied Science, New York, 1992.

EXTENDED ABSTRACT

Effect of Centralized and Distributed Opening on the Behavioral Parameters of Stiffened Steel Shear Panels

Majid Gholhaki *, Mohammad Bagher Ghadaksaz

Faculty of Civil Engineering, University of Semnan, Semnan, Iran

Received: 23 February 2015; **Accepted:** 28 October 2015

Keywords:

Shear panel with stiffener, Centralized opening, Distributed opening, Stiffness, Strength, Ductility, Force modification factor, Energy absorption

1. Introduction

In North America and Iran, the steel plate shear walls with a thin plate are used usually in the designs and its behavior is clear in design and resistance of structures. However, in some regions, such as Japan, because of the large number of minor earthquakes or strong winds, these loads are considered as service loads and the stiffener type of steel plate shear walls are more often used due to the prevention of buckling of the plate. Recently, steel plate shear walls are welcome by several designers around the world, and many buildings have been used this system in the design phase. Although steel plate shear walls with thin plates have been used more than stiffener type, but the installation of stiffener type prevents the wall buckling under service loads such as wind and it is considered in tall buildings. In addition to increasing the stiffness and strengths, installation of stiffener type enhances energy absorption and changes the S shape of the hysteresis cycles to fusiform shape.

As an example, we can mention the research work. In 1973, Takahashi et. al [1] used shear panels with various stiffeners for optimization of buckling behavior of SPSW. In 2009, Sajjadi [2] investigated the energy-dissipation and response modification coefficient of ductility for steel shear walls with stiffness with openings and without openings. In 2009, Gholhaki and Rezayi Far [3] investigated the effect of increasing resistance on response modification coefficient of steel shear walls with thin plates.

2. Methodology

2.1. Buckling of stiffened SPSW systems

The stiffened shear panel under shear load could generally buckle in two modes: (1) global buckling mode; and (2) local buckling mode. Stiffeners are designed to force the buckling of the infill plate from a global buckling mode to a localized buckling in the sub-panels. To achieve a local buckling mode, shear panels are typically stiffened using vertical and horizontal stiffeners. To develop local buckling in sub-panels, the stiffeners require a minimum moment of inertia or stiffness to withstand buckling due to the created shear forces in the sub-panel. Global buckling occurs when stiffeners are too slender (or have low moment of inertia). As a result, the entire steel infill plate is going to globally buckle including the plate stiffeners.

2.2. Simulation of experimental model and verification

To investigate the effect of concentrated and distributed openings on reinforced panels. First, the tested sample by Sajjadi [2], Fig. 1, was modeled by the ABAQUS finite element software [4], and the results indicated that there was an acceptable level of compliance for stiffness and strength, Fig. 2.

* Corresponding Author

E-mail addresses: mgholhaki@semnan.ac.ir (Majid Gholhaki), mohammad.ghadaksaz@semnan.ac.ir (Mohammad Bagher Ghadaksaz)

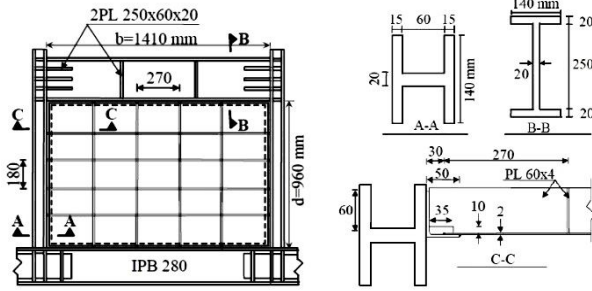


Fig. 1. Experimental sample specifications

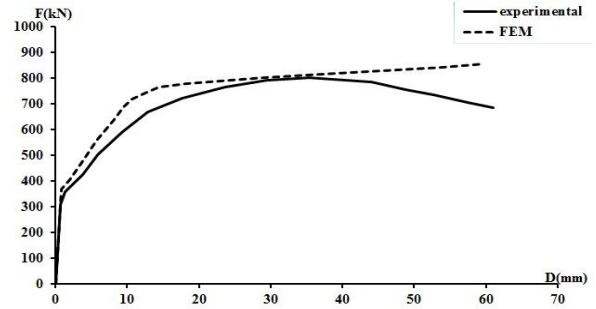


Fig. 2. Comparison of numerical results with experimental results

3. Results and discussion

3.1. Comparison of cyclic analysis curves

In order to compare the behavior of steel shear walls with stiffener, samples with opening percentages of 0, 4, 8, 12, 16, 24, 36, 48 and 100% were used in both centralized and distributed spread. The results of panels with 12% opening for example are shown in Fig. 3.

As it is shown in scheme 8, the panel with distributed opening has less resistance and hardness. Also, elastic resistance and hardness of sample with distributed opening has reduced to 22 and 28 percent in comparison to centralized opening. Also, the area under the hysteresis curves in this panels is less than centralized opening panels due to the less energy-dissipation by the samples.

3.2. Comparison of energy dissipation

To calculate the dissipated energy by the resistance system, the area under curve should be calculated for each cycle and comparison of the energy-dissipation during different cycles (decrease or increase) becomes possible. In addition to the energy-dissipation during each cycle is comparable, the total cumulative energy-dissipation during a certain number of loading cycles with the same deformation for different systems is comparable. The amount of dissipated energy by samples with distributed and centralized opening has been shown in scheme 10 during 23 cycles of loading. It is observed that the amount of dissipated energy in panels has decreased by increasing the percent amount of openings. According to Fig. 4, comparison of dissipated energy amount between samples of centralized and distributed opening with same percent opening indicates that damped energy amount in distributed opening is 11% more than centralized opening.

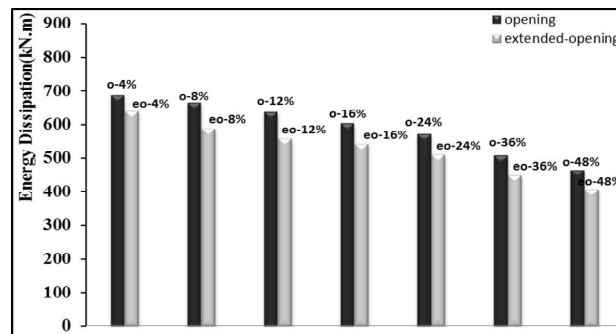


Fig. 3. Comparing the amount of damped energy in centralized and distributed opening

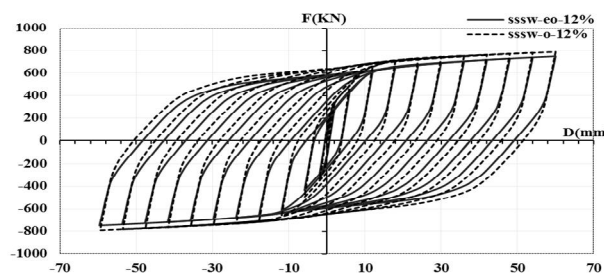


Fig. 4. Hysteresis curves of panels with 12% centralized and distributed opening

4. Conclusions

The results showed that in both centralized and distributed panels, by increasing the amount of hardness, elastic resistance, ductility and response modification coefficient have decreased and overstrength factor has been increased. Based on the results, the amount of response modification coefficient of allowable stress reinforced panel without opening is equal to 19.7 and response modification coefficient of the frame moment is about 5.4. These results indicate the amount of extraordinary energy-dissipation and ductility in comparison with frame moment. With increasing the percentage of opening up to 12 percent, the response modification coefficient of allowable stress of reinforced panels and centralized and distributed opening have been 18% and 19% respectively and for opening 16-50% is 16.5% and 18% respectively. This results indicate that response modification coefficient of allowable stress of the reinforced panels with distributed openings is bigger than centralized ones. The results also show that the stiffness, elasticity and ductility of reinforced panels with distributed opening is less than panels with distributed openings, and the hardness, elastic resistance and energy-dissipation are respectively 22, 28 and 11 percent less than panels with centralized openings. The reason is related to opening in each sub plate down and preventing the formation of diagonal tension field full in every sub plate.

5. References

- [1] Takahashi, Y., Takeda, T., Takemoto, Y., Takagi, M., "Experimental Study on Thin Steel Shear Walls and Particular Steel Bracings under Alternative Horizontal Load", Preliminary Report, IABSE Symposium on Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated loads, Lisbon, Portugal, 1973, pp 185-191.
- [2] Sajjadi, A., "Investigating the Behavior of Ductile SPSW with Opening", PhD Dissertation, Civil Engineering Department, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, 2009 (In Farsi).
- [3] Gholhaki, M., Rezayifar, O., "Effect of Overstrength on Response Modification Coefficient of Steel Plate Shear Wall", The 8th International Conference on Civil Engineering, Shiraz University, Iran, 2009 (In Farsi).
- [4] Karlsson and Sorensen "ABAQUS Standard User's Manual", Version (6.10.1).