

بررسی رفتار لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی با مقاطع کاهش یافته‌ی تیر محیطی

مسعود حسین زاده اصل^۱، مهنا صفرخانی^۲

^۱ استادیار دانشکده عمران دانشگاه تبریز

^۲ فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد سازه دانشکده عمران دانشگاه تبریز

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

مهنا صفرخانی

mahna.safarkhani@gmail.com

چکیده

در این مقاله به منظور افزایش شکل‌پذیری سیستم دیوار برشی فولادی، مدل‌های مختلف تضعیف تجمعی جان تیر مورد بررسی قرار گرفته است. قاب محیطی نقش بسزایی را در شکل‌پذیری این سیستم ایفا می‌کند. به منظور جلوگیری از شکست ترد اتصال تیر به ستون، مقطع تیر با اشکال متفاوتی نظیر بازشوهای دایروی و بیضوی، شیارهای عمودی جان تیر و همچنین کاهش در بال‌های تیر تضعیف شده است. نتایج حاصل از آنالیز اجزا محدودی نشان داد که مدل‌هایی با جان شیاری تیرها عملکرد بهتری در حوزه‌ی شکل‌پذیری، جذب انرژی، سختی و مقاومت برشی را نسبت به سایر مدل‌ها دارند. در ادامه مطالعات پارامتری بر روی هندسه و سائز شیارها نیز انجام گرفت و محدوده‌های طراحی برای اندازه و سائز بازشوها ارائه شد. نتایج آنالیز روی مدل‌های مختلف نشان داد که میزان دررفت در نمونه‌های شیاری در حدود ۴٪ بوده و همچنین طول ناحیه‌ی شیاری مؤثرترین پارامتر در بین پارامترهای دیگر می‌باشد. همچنین با بررسی مطالعه‌ی انجام‌گرفته بر روی نمونه‌ی چهار طبقه دیوار برشی فولادی با و بدون شیار در جان تیر، مشاهده شد که در نمونه‌ی شیاری کرنش‌های پلاستیک توزیع بهتری را در ورق دیوار و همچنین در ناحیه‌ی شیاری جان تیر نسبت به نمونه‌ی اولیه داشته‌اند و همچنین اتصالات نیز در درفستی حدود ۴٪ در محدوده الاستیک خود باقی‌مانده‌اند.

واژگان کلیدی: دیوار برشی فولادی، شکل‌پذیری، مقطع تیر کاهش‌یافته.

مقدمه

پس از سال ۱۹۷۰ دیوارهای برشی فولادی در بسیاری از ساختمان‌های مدرن و بااهمیت به‌عنوان یک سیستم مقاوم برابر جانبی اصلی استفاده شده است. در آغاز و در طول سال ۱۹۷۰ دیوارهای برشی سخت شده در ژاپن در ساخت‌وسازهای جدید و در ایالت متحده برای بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود بعلاوه در ساختمان‌های جدید استفاده گردید. استفاده از انواع تقویت نشده در دهه‌ی ۸۰ در امریکا و کانادا شروع شد. اولین آنالیزها و تحقیقات انجام‌گرفته جهت به‌کارگیری مقاومت پس از کمانش پانل در برش توسط [1] Thorburn et al., [2] Tromposch and Kulak انجام گرفت. به‌عنوان اولین رویکرد جهت تحلیل و طراحی دیوارهای برشی تقویت نشده ارائه‌ی مدل نواری سازگار با استاندارد کانادا [6] CSA-S16-01 می‌باشد. تحقیقات روی دیوار با بازشوی مرکزی، اولین بار توسط [3] Robert and Sabouri با اعمال بارگذاری چرخه‌ای شبه-استاتیک انجام گرفت. تمامی آزمایش‌ها شکل‌پذیری بالا، منحنی هیستریزس S شکل پایدار و همچنین افزایش جذب انرژی در هر سیکل با افزایش دامنه جابجایی برشی را نشان می‌دهد. در مورد

دیوارهای سوراخ‌دار همان‌طور که ذکر شد مطالعات اولیه‌ای که توسط [3] Robert and Sabouri روی دیوار با بازشوی مرکزی انجام گرفت نشان از شکل‌پذیری مناسب در حداقل ۴ سیکل و کرنش پلاستیک بزرگ بدون کاهش در مقاومت دارد. به‌منظور محاسبه مقاومت و سختی پانل‌های برشی فولادی سوراخ‌دار، رابطه تقریبی خطی توسط این دو نفر ارائه شد. نتایج آزمایشگاهی مطابقت قابل قبولی را با روابط طراحی ارائه‌شده نشان داد. این رابطه از انجام آزمایش تنها بر روی پانل‌های کوچک مربع و مستطیل شکل به‌دست‌آمده است. یکی از راهکارهای طراحی اقتصادی و بهینه دیوار تقویت نشده استفاده از فولاد نورد سرد بجای استفاده از روش Hot-rolled می‌باشد. آزمایش انجام‌گرفته توسط Michel Bruneau و [4] Jeffrey W. Berman در سال ۲۰۰۵ روی سه نمونه یک طبقه که در دو مورد از فولاد سبک نورد سرد با ضخامت‌های ۰/۹ mm و در نمونه سوم از فولاد نورد سرد موجدار با ضخامت ۰/۷ mm مشاهده شد که هر دو نمونه صاف و موجدار دارای شکل‌پذیری بالا و جذب انرژی خوبی بوده درحالی‌که تقاضا را در قاب محیطی کاهش می‌دهد. روش دیگر ایجاد شیارهای قائم در ورق می‌باشد. در این روش که آزمایش‌ها مربوطه آن توسط Jliu و [5] G. Cortes انجام گرفت، مابین شیارهای ایجادشده لینک‌هایی ایجاد می‌شود که این لینک‌ها مانند تیر با دو انحنا رفتار می‌کنند. با رسیدن دو انتها به ظرفیت لنگر پلاستیک اتلاف انرژی صورت می‌گیرد.

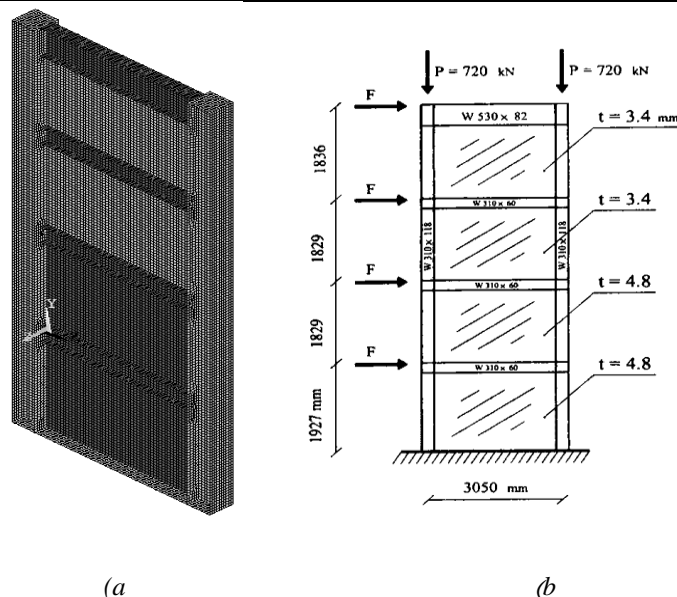
در این تحقیق به‌منظور افزایش شکل‌پذیری سیستم و با توجه به این نکته که ستون‌ها در طول بارگذاری در حالت الاستیک باقی بمانند، با هدایت مفاصل پلاستیک به تیر، مدل‌های تضعیف جان تیر مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این مقاله برای تمامی مدل‌سازی‌ها، روش اجزا محدود و نرم‌افزار ANSYS [7] بکار گرفته شده است.

۲- فرضیات مدل‌سازی و صحت‌سنجی نمونه‌ها با استفاده از آزمایش‌های گذشته

برای صحت‌سنجی مدل‌ها از نمونه دیوار برشی فولادی چهار طبقه مورد آزمایش در دانشگاه آلبرتا کانادا استفاده شد. نتایج منحنی بار- تغییر مکان جانبی مدل با نمونه آزمایش تحت اثر بارگذاری مونوتونیک، در زیر آورده شده است.

۲-۱- فرضیات کلی مدل‌سازی عددی

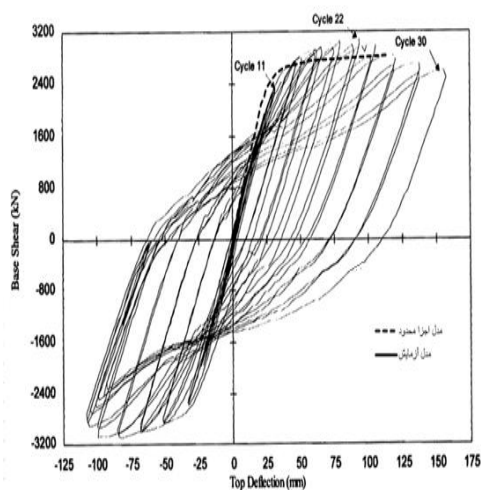
المان‌های انتخاب‌شده برای ورق فولادی و تیرها و ستون‌های اطراف آن از نوع [7] Shell181 در نظر گرفته شده است. به منظور لحاظ کردن تغییرشکل‌های بزرگ، فرض غیرخطی هندسی و به منظور در نظر گرفتن رفتار غیرخطی تنش- کرنش مصالح فرض غیرخطی مصالح در تحلیل در نظر گرفته شده است. بنا به توصیه خود نرم‌افزار را به دلیل سازگاری با المان‌های بکار رفته از روش تحلیل غیرخطی نیوتن-رافسون استفاده گردید. روش نیوتن-رافسون نسبت به سایر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. معیار همگرایی که برای این روش استفاده شده است، معیار همگرایی نیرویی می‌باشد. در شکل ۱ ابعاد و مشخصات مدل آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل ۱- مشخصات نمونه آزمایشی در دانشگاه Alberta کانادا.

۲-۲- صحت سنجی نتایج

برای صحت سنجی، منحنی‌های بار- تغییر مکان مکان برشی نمونه‌ی آزمایشگاهی با منحنی متناظر حاصل از مدل‌سازی مقایسه شده‌اند. بر اساس شکل ۲، انطباق قابل قبولی بین منحنی آزمایشگاهی و منحنی متناظر عددی، مشاهده می‌شود.



شکل ۲- مقایسه م منحنی مربوط به صحت سنجی مدل آزمایشگاهی با مدل عددی.

۳- مدل سازی و معرفی مشخصات نمونه‌ها

از آنجایی که مقاومت فشاری ورق فولادی ناچیز بوده، ورق در همان مراحل ابتدایی بارگذاری کمانش می‌کند و مقاومت توسط میدان کششی ایجاد شده در ورق تأمین می‌گردد. صلبیت المان‌های مرزی (تیر و ستون) در تشکیل این میدان کششی نقش بسزایی داشته و باعث افزایش شکل پذیری سیستم می‌شود. نوع اتصال تیر به ستون نیز در میزان ظرفیت شکل پذیری سیستم تأثیرگذار می‌باشد. این اتصال می‌بایست گیردار باشد. تأثیر مطلوب اتصال گیردار در بالا بردن درجه نامعینی سیستم و به تبع آن افزایش مقاومت خواهد بود. از سویی دیگر گیرداری اتصال باعث افزایش تقاضا در المان‌های مرزی شده و می‌تواند منجر به خرابی اتصال شود قبل از اینکه میدان کششی در ورق به طور کامل گسترش یابد. به طور کلی به منظور جلوگیری از شکست ترد اتصال دو روش مورداستفاده قرار می‌گیرد: (۱) افزایش مقاومت اتصال (۲) استفاده از مقطع تیر کاهش یافته. هر دو رویکرد منجر به هدایت خرابی در ناحیه‌ای دور از اتصال می‌شوند. کاهش مقطع تیر می‌تواند با کاهش در جان و یا بال باشد. هدف از این تحقیق مطالعه پاسخ دیوار برشی فولادی با سه نوع کاهش در مقطع تیر تحت بارگذاری جانبی یک‌سویه می‌باشد.

۳-۱- معرفی مشخصات نمونه‌ها و معیار شکست

در این قسمت سه نوع دیوار برشی فولادی با مقطع جان کاهش یافته با سوراخ‌های دایروی، بیضوی و شیاری مدل سازی خواهد شد. در تمامی مدل‌ها اتصال تیر به ستون صلب در نظر گرفته شده است. اطلاعات مربوط به هندسه و ابعاد اعضا سیستم در جدول ۱ و ۲ آورده شده است. همچنین مقادیر تنش تسلیم، تنش کششی نهایی و مدول الاستیسیته را نیز می‌توان در جدول ۳ مشاهده کرد. از آنجایی که اتصال تیر به ستون با جوش انجام گرفته است، شروع کرنش پلاستیک در بر اتصال می‌تواند منجر به شکست شود. به همین منظور اولین معیار خرابی مربوط به محدود کردن مقادیر کرنش پلاستیک تا $\epsilon_u = 0.14$ در مدل اجزاء محدود و در المان‌های تیر و ستون و همچنین ورق فولادی (به جز اتصال) در نظر گرفته شده است (ϵ_u کرنش متناظر با مقاومت نهایی فولاد). نمونه‌ها تحت بارگذاری یک‌سویه همراه با دو بار قائم متمرکز به میزان 180 kN در بالای ستون‌ها قرار داده شده‌اند. در ادامه رفتار مدل‌ها از جمله رفتار تحت بارگذاری پوش آور مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پارامترهای مربوط به هندسه بازو جان تیرها و اتصال جوش منقطع ورق به المان‌های مرزی در شکل ۳ و جزئیات مربوط به نمونه‌ها در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۱- ابعاد مقاطع تیر و ستون.

عضو	عرض بال (mm)	ضخامت بال (mm)	ارتفاع جان (mm)	ضخامت جان (mm)
ستون	۳۵۰	۲۰	۳۵۰	۱۵
تیر	۲۰۰	۱۵	۳۵۰	۱۰

جدول ۲- ابعاد ورق فولادی در نمونه‌ها.

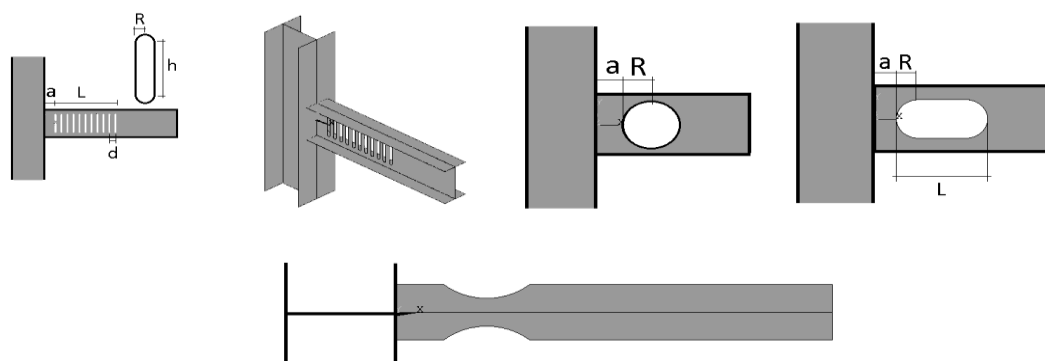
عضو	طول (mm)	عرض (mm)	ضخامت (mm)
ورق فولادی	۲۶۵۰	۱۶۵۰	۱,۸

جدول ۳- خصوصیات مکانیکی نمونه‌ها.

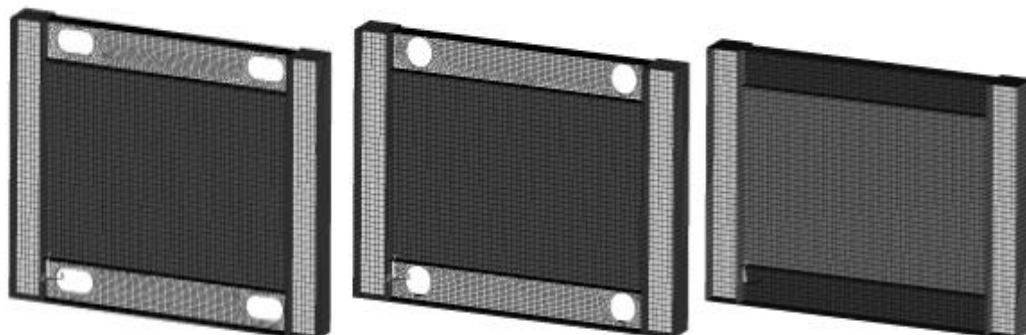
عضو	مقاومت تسلیم (Mpa)	مقاومت نهایی (Mpa)	مدول الاستیسیته (Mpa)
ورق فولادی	۳۴۲	۴۵۶	۲۰۸۸۳۵
ستون	۳۱۴	۴۸۱,۷	۲۰۲۹۹۱
تیر	۳۳۲,۷	۴۷۸	۲۰۳۹۴۷

جدول ۴- جزئیات ابعاد بازشوها.

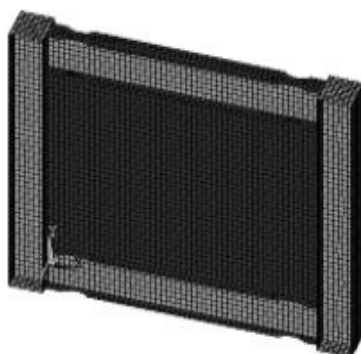
نمونه	a (mm)	R (mm)	h (mm)	L (mm)	c (mm)
دایروی	۱۴۰	۱۴۰	-	-	-
بیضوی	۱۰۵	۱۰۵	-	۴۲۰	-
RBS	۱۵۰	-	-	۱۵۰	۵۰
شیاری	۱۰۰	۱۵	۱۴۵	۱۷۰	-



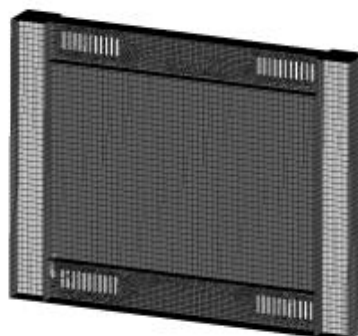
شکل ۳- هندسه بازشو جان تیرها.



شکل ۴- مدل اجزاء محدود نمونه اولیه. شکل ۵- مدل اجزاء محدود نمونه دایروی. شکل ۶- مدل اجزاء محدود نمونه بیضوی.



شکل ۸- مدل اجزاء محدود نمونه RBS



شکل ۷- مدل اجزاء محدود نمونه شیاری.

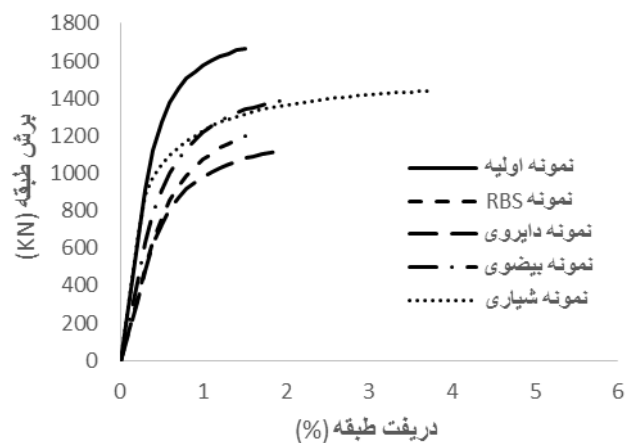
۲-۳- نتایج آنالیز

در شکل ۹ نمودارهای نیرو-تغییر مکان جانبی برای تمامی نمونه‌های تیر تضعیف‌شده آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نمونه‌های بازو جان دایروی و بیضوی توانسته‌اند سختی برشی تقریباً برابر با ۵۱ و ۶۷ درصد از سختی نمونه اولیه و همچنین ۶۵ و ۸۰ درصد از مقاومت برشی را تأمین کنند. سختی و مقاومت برشی در نمونه RBS نیز به ترتیب تقریباً برابر است با ۵۳ و ۶۶ درصد مقادیر در نمونه اولیه می‌باشد. در نمونه شیاری، سختی تقریباً برابر با نمونه اولیه بوده این در حالی است که مقاومت برشی تا ۸۸٪ نمونه اولیه کاهش یافته است.

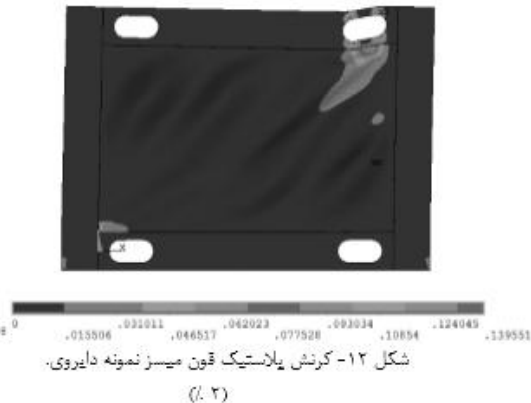
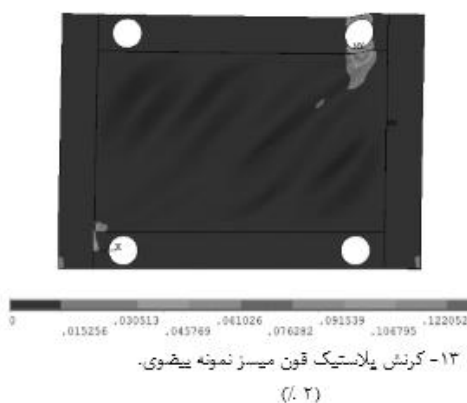
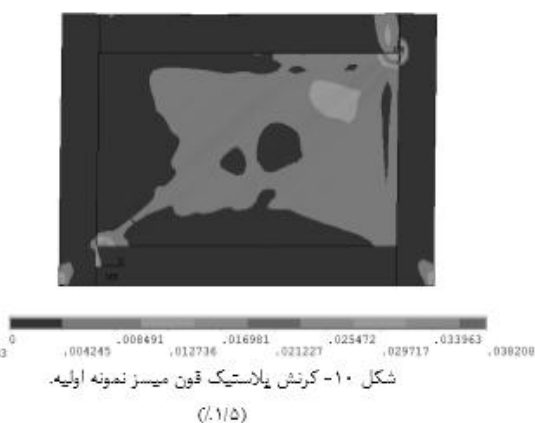
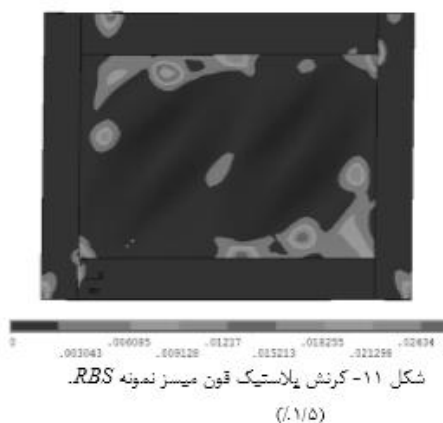
توزیع کرنش پلاستیک در نمونه‌ها تا مقدار دررفت خرابی، را می‌توان در شکل‌های ۱۰ تا ۱۴ مشاهده کرد. همان‌طور که قبلاً

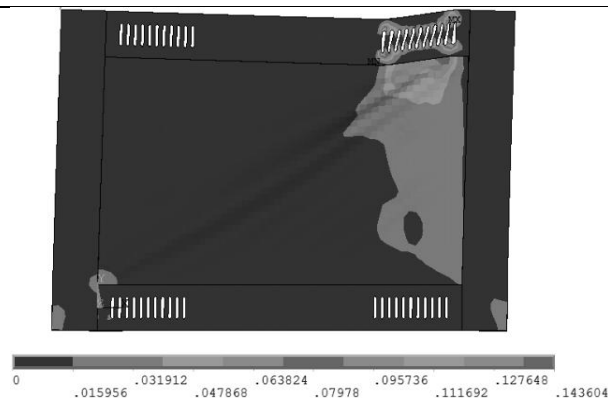
نیز بحث شد، معیار خرابی بر پایه:

- محدود کردن مقادیر کرنش پلاستیک در بر اتصال تیر به ستون (به دلیل اتصال جوشی).
- محدود کردن مقادیر کرنش پلاستیک تا حد خرابی نهایی فولاد در نواحی دیگر.



شکل ۹- منحنی بار-تغییر مکان برشی نمونه‌ها.





شکل ۱۴- کرنش پلاستیک فون میسز نمونه شیاری.

(٪ ۳/۸)

همان‌طور که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود، هر دو نمونه‌های اولیه و *RBS* توانسته‌اند دریفتی در حدود ۱/۵٪ را تا حد خرابی تحمل کنند. در این نمونه‌ها خرابی اتصال کنترل‌کننده بوده است. کرنش در بر اتصال در این مدل‌ها در مراحل اولیه بارگذاری وارد محدوده پلاستیک می‌شود. با توجه به شکل‌های ۱۲ و ۱۳ مشاهده می‌شود که هر دو نمونه دایروی و بیضوی توانسته‌اند دریفتی در حدود ۲٪ را تحمل کنند. در این نمونه‌ها خرابی تیر و ورق فولادی کنترل‌کننده بوده است و تمرکز کرنش پلاستیک نیز در اطراف بازشوها می‌باشد. همچنین با توجه به شکل ۱۴ می‌توان مشاهده کرد که نمونه شیاری توانسته به دریفتی در حدود ۳/۸٪ برسد درحالی‌که در این نمونه نیز خرابی ورق فولادی و ناحیه‌ی شیاری تیر کنترل‌کننده خرابی بوده است. در واقع توزیع مناسب کرنش‌های پلاستیک در ناحیه شیاری منجر به رسیدن این میزان دریفت در نمونه شده است که در مقایسه با سایر نمونه‌ها به‌طور قابل‌توجهی زیاد می‌باشد. با توجه به شکل ۱۴ می‌توان مشاهده نمود که نمونه شیاری توانسته کرنش‌های پلاستیک را به نواحی داخلی دیوار و در زیر ناحیه شیاری هدایت کند، این در حالی است که در نمونه اولیه کرنش‌های پلاستیک بیشینه در نواحی گوشه رخ می‌دهد. در واقع توزیع کرنش‌های پلاستیک در زیر ناحیه شیاری باعث افزایش شکل‌پذیری سیستم شده است.

۴- هندسه و ساین شیاریها

در این بخش به مطالعه پارامتریک بر روی طول، ساین، و هندسه شیاریها در ناحیه ضعیف شده جان تیر می‌پردازیم. دو سری از نمونه‌های "A" و "B" با مقاطع تیر و ستون متفاوت مورد بررسی قرار گرفته شده است (جدول ۵).

۴-۱- معرفی مشخصات نمونه‌ها

شکل ۳ مؤلفه‌های مربوط به هندسه‌ی شیاریها را نشان می‌دهد. در تمامی نمونه‌ها ابعاد ورق فولادی با جدول ۲ مطابقت دارد. در جدول ۵ مقاطع تیر و ستون‌ها و همچنین کنترل سختی المان‌ها با توجه به آیین‌نامه *AISC 341* [8] آورده شده است و در جدول ۶ نیز جزئیات هندسه شیاریها را می‌توان مشاهده نمود.

۴-۲- نتایج آنالیز

همان طور که در شکل‌های ۱۵ تا ۲۰ مشاهده می‌شود، سختی اولیه نمونه‌ها تقریباً مستقل از سایز و هندسه شیارها است. شکل‌های ۱۵ و ۱۸ نشان می‌دهد که ارتفاع شیار (h) پارامتر مؤثری در میزان مقاومت و شکل‌پذیری نمونه‌ها است. همان‌طور که انتظار می‌رود با افزایش میزان h شکل‌پذیری سازه افزایش یافته این در حالی است که مقاومت نمونه کاهش نیز می‌یابد. شکل‌پذیری در نمونه‌های $A-0.28-0.2-1.5$ در شکل ۱۵ و $B-0.25-0.2-1.5$ در شکل ۱۸ کاهش یافته است. در این نمونه‌ها ارتفاع شیار h برابر با $0.2 h_w$ بوده و تیر به‌اندازه‌ی کافی تضعیف نشده است. بررسی بر روی نتایج نشان می‌دهد که حداقل ارتفاع شیار می‌بایست تقریباً برابر با $0.14 h_w$ باشد.

نمونه‌های $A-0.28-0.65-0.5$ در شکل ۱۶ و $B-0.25-0.65-0.5$ در شکل ۱۹ شکل‌پذیری کمی دارند. میزان طول شیار L در این نمونه‌ها برابر با $L=0.5h_w$ است. در این نمونه‌ها به دلیل کاهش طول قسمت شیاری، کرنش‌های پلاستیک به‌خوبی توزیع نشده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که طول ناحیه‌ی تضعیف تیر L می‌بایست تقریباً برابر با $L=1.5h_w$ باشد.

مطابق با بررسی‌های انجام‌گرفته، محدوده‌هایی برای مؤلفه‌های هندسه شیارها در نظر گرفته شده است:

$$0.145 h_w < (a) < 0.45 h_w$$

$$0.14 h_w < (h) < 0.165 h_w$$

$$1/5 h_w < (L) < 2/5 h_w$$

لازم به ذکر است که محدوده‌های ارائه‌شده برای شیارها، بر پایه نتایج تحلیل‌های محدود انجام‌گرفته در این تحقیق است.

جدول ۵- ابعاد مقاطع تیر و ستون.

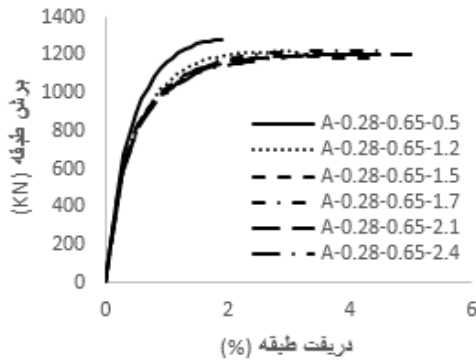
عضو	عرض بال (mm)	ضخامت بال (mm)	ارتفاع جان (mm)	ضخامت جان (mm)
سری A	ستون	۳۵۰	۲۰	۳۵۰
	تیر	۲۰۰	۱۵	۳۵۰
سری B	ستون	۳۰۰	۲۰	۳۰۰
	تیر	۲۰۰	۱۵	۴۰۰

کنترل سختی المان‌ها.

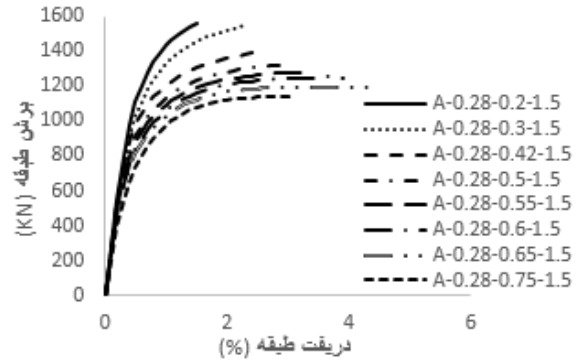
المان	$I (mm^4)$	امجاز I
سری A	تیر	۲/۲۱۵۱۹۱۹۷۹
	ستون	۷/۴۷۴۱۳۷۹۱۶
سری B	تیر	۲/۲۸۷۶۶۸۰۲۰
	ستون	۲۹۷۸۴۰۰۰۰

جدول ۶- جزئیات نمونه‌ها.

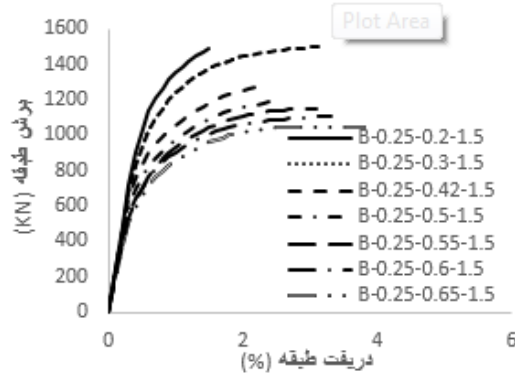
دریفت (%)	L (mm)	h (mm)	a (mm)	نمونه	
۱/۵	۱/۵h _w	۰,۲h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.2-1.5	سری A
۲/۳	۱,۵h _w	۰,۲h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.3-1.5	
۲/۶	۱,۵h _w	۰,۴۲h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.42-1.5	
۲/۷	۱,۵h _w	۰,۵h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.5-1.5	
۳	۱,۵h _w	۰,۵۵h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.55-1.5	
۳/۴	۱,۵h _w	۰,۶h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.6-1.5	
۴,۳	۱,۵h _w	۰,۶۵h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.65-1.5	
۳,۱	۱,۵h _w	۰,۷۵h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.75-1.5	
۱,۹	۰,۵h _w	۰,۶۵h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.65-0.5	
۳,۲	۱,۲h _w	۰,۶۵h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.65-1.2	
۴,۶	۱,۷h _w	۰,۶۵h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.65-1.7	
۵	۲,۱h _w	۰,۶۵h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.65-2.1	
۵,۱	۲,۴h _w	۰,۶۵h _w	۰,۲۸h _w	A-0.28-0.65-2.4	
۴,۹	۲,۴h _w	۰,۶۵h _w	۰,۳۷h _w	A-0.37-0.65-2.4	
۴,۹	۲,۴h _w	۰,۶۵h _w	۰,۴۶h _w	A-0.46-0.65-2.4	
۱/۵	۱/۵h _w	۰,۲h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.2-1.5	سری B
۲,۱	۱,۵h _w	۰,۲h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.3-1.5	
۲,۳	۱,۵h _w	۰,۴۲h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.42-1.5	
۲,۵	۱,۵h _w	۰,۵h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.5-1.5	
۳,۱	۱,۵h _w	۰,۵۵h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.55-1.5	
۳,۳	۱,۵h _w	۰,۶h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.6-1.5	
۳,۸	۱,۵h _w	۰,۶۵h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.65-1.5	
۳	۱,۵h _w	۰,۷۵h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.75-1.5	
۲	۰,۵h _w	۰,۶۵h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.65-0.5	
۲,۵	۱,۲h _w	۰,۶۵h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.65-1.2	
۵,۱	۱,۷h _w	۰,۶۵h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.65-1.7	
۵	۲,۱h _w	۰,۶۵h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.65-2.1	
۵	۲,۴h _w	۰,۶۵h _w	۰,۲۵h _w	B-0.25-0.65-2.4	
۵	۲,۴h _w	۰,۶۵h _w	۰,۳۵h _w	B-0.35-0.65-2.4	
۴,۹	۲,۴h _w	۰,۶۵h _w	۰,۴۵h _w	B-0.45-0.65-2.4	



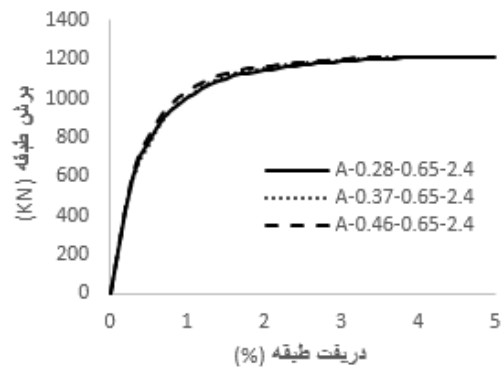
شکل ۱۶- نمودار یرش پایه-دریفت طبقه، سری A
 برای $a=0.28h_w$ $h=0.65h_w$



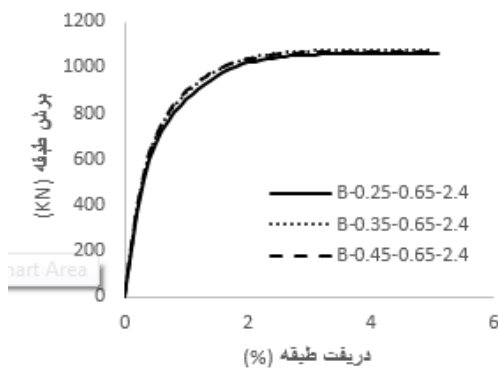
شکل ۱۵- نمودار یرش پایه-دریفت طبقه، سری A
 برای $a=0.28h_w$ $L=1.5h_w$



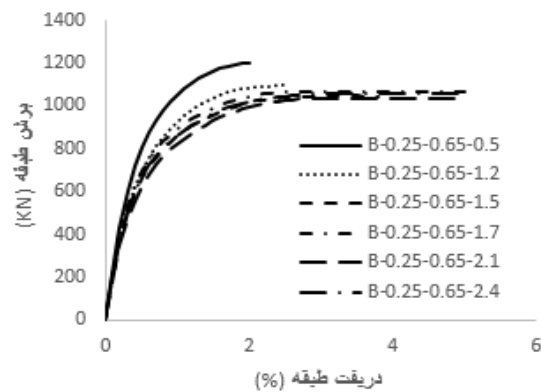
شکل ۱۸- نمودار یرش پایه-دریفت طبقه، سری B
 برای $a=0.25h_w$ $L=1.5h_w$



شکل ۱۷- نمودار یرش پایه-دریفت طبقه، سری A
 برای $h=0.65h_w$ $L=2.4h_w$



شکل ۲۰- نمودار یرش پایه-دریفت طبقه، سری B
 برای $h=0.65h_w$ $L=2.4h_w$



شکل ۱۹- نمودار یرش پایه-دریفت طبقه، سری B
 برای $a=0.25h_w$ $h=0.65h_w$

۵- بررسی اجزاء محدودی نمونه ۴ طبقه با جان شیاری تیرها

۵-۱- معرفی مشخصات نمونه‌ها

در این قسمت تأثیر تیرهای شیاری بر روی رفتار نمونه ۴ طبقه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این مدل‌سازی اتصال تیر به ستون صلب در نظر گرفته شده است. به منظور مقایسه نتایج، دو نمونه یکی با جان شیاری تیرها و دیگری بدون شیاری، آنالیز خواهند شد. در جداول ۷ جزئیات مربوط به ابعاد و مقاطع نمونه‌ها و همچنین جزئیات شیارها و در جدول ۸ خصوصیات مکانیکی اجزاء آورده شده است. شکل‌های ۲۱ و ۲۲ توزیع کرنش پلاستیک نمونه‌ها را نشان می‌دهد. همچنین نمودار مربوط به نیروی جانبی-دریفت طبقه را در شکل ۲۳ می‌توان مشاهده کرد.

۵-۲- نتایج آنالیز

همان‌طور که در شکل ۳۱ نیز مشاهده می‌شود، سختی جانبی نمونه شیاری تقریباً برابر با نمونه اولیه است. مقاومت جانبی نمونه شیاری تا ۱۵٪ نسبت به نمونه اولیه کاهش می‌یابد. در نمونه شیاری ستون‌ها و اتصالات تیر به ستون در ناحیه‌ی الاستیک باقی‌مانده و کرنش‌های پلاستیک در نواحی ورق فولادی و شیارهای جان تیر توزیع شده‌اند. از سوی دیگر در نمونه اولیه کرنش‌های پلاستیک قابل توجهی در نواحی بر اتصال به وجود آمده‌اند.

جدول ۷- ابعاد مقاطع تیر و ستون‌ها.

عضو	عرض بال (mm)	ضخامت بال (mm)	ارتفاع جان (mm)	ضخامت جان (mm)
ستون	۴۰۰	۲۰	۴۰۰	۱۵
تیرهای طبقات ۱،۲،۳	۲۰۰	۱۵	۳۵۰	۱۰
تیر طبقه ۴	۲۵۰	۱۵	۴۵۰	۱۰

ابعاد ورق فولادی طبقات.

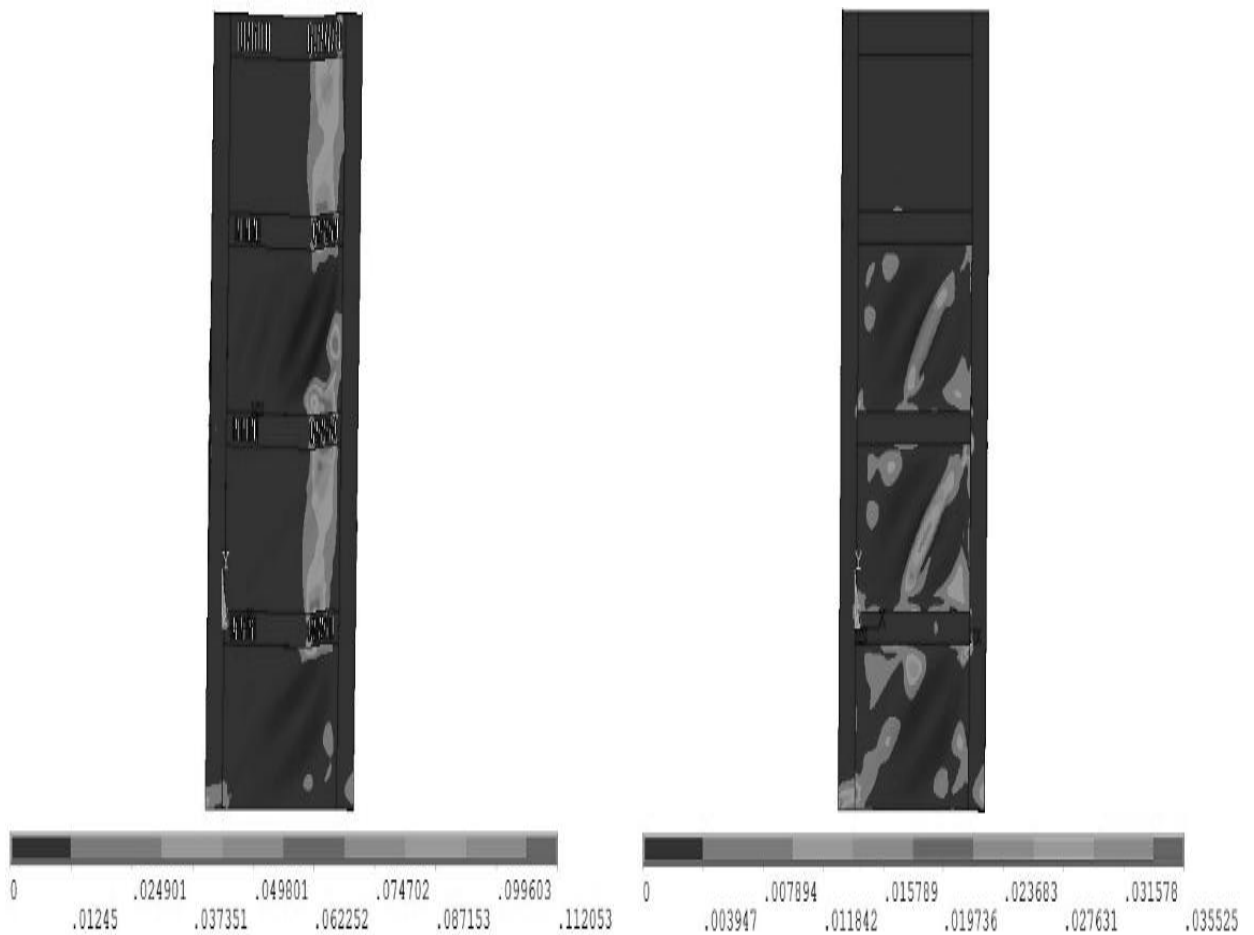
عضو	طبقه	طول (mm)	ارتفاع (mm)	ضخامت (mm)
ورق فولادی	۱،۲	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۴
	۳،۴	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۳

جزئیات شیارها.

طبقه	L	h	a	R
۱،۲،۳	$1,7h_w$	$0,63h_w$	$0,4h_w$	۱۴
۴	$1,7h_w$	$0,63h_w$	$0,4h_w$	۱۸

جدول ۸- خصوصیات مکانیکی نمونه‌ها.

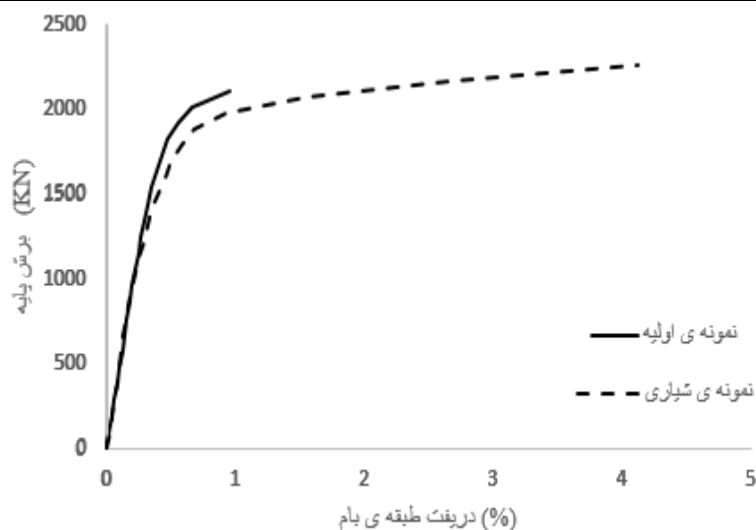
عضو	مقاومت تسلیم (Mpa)	مقاومت نهایی (Mpa)	مدول الاستیسیته (Mpa)
ورق فولادی st 1&2	۳۴۲	۴۵۶	۲۰۸۸۳۵
ورق فولادی st 3	۲۵۷	۳۴۴	۲۱۰۸۹۸
ورق فولادی st 4	۲۶۱/۵	۳۷۵/۳	۲۰۳۰۷۹
ستون	۳۱۴	۴۸۱,۷	۲۰۲۹۹۱
تیر	۳۳۲,۷	۴۷۸	۲۰۳۹۴۷



شکل ۲۲- کرنش پلاستیک فون میسر نمونه ۴ طبقه در دریفت ۴/۱۲٪.

شکل ۲۱- کرنش پلاستیک فون میسر نمونه اولیه ۴ طبقه شیاری در دریفت ۱/۲٪.

[Type here]



شکل ۲۳- نمودار برش پایه-دریفت طبقه بام در مدل ۴ طبقه.

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق مدل‌هایی از دیوار برشی فولادی با مقطع تضعیف شده تیر به منظور هدایت مفصل پلاستیک به ناحیه‌ای دور از اتصال مورد مطالعه قرار گرفت. مدل‌های تضعیف جان شامل ایجاد بازشوهای دایروی، بیضوی و شیاری در جان تیر و همچنین کاهش مقطع در بال‌های تیر می‌باشند. نتایج نشان داد که مدل‌هایی با جان شیاری به‌طور قابل توجهی شکل‌پذیری سیستم دیوار برشی فولادی را افزایش می‌دهند. در حالی که در مدل‌های دیگر این افزایش در شکل‌پذیری دیده نشد.

مطابق با بررسی‌های انجام گرفته، بر روی هندسه و سایز شیارها، محدوده‌هایی برای مؤلفه‌های هندسی شیارها در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در مدل شیاری دیوار برشی فولادی، این سیستم می‌تواند دریفتی در حدود ۳-۵٪ را بدون آسیب به ستون و اتصال تیر به ستون تجربه کند. این در حالی است که دریفت در نمونه اولیه حداکثر ۲٪ بوده است.

استفاده از مقاطع کاهش یافته تیر معمولاً منجر به کاهش سختی اولیه سیستم می‌شود به‌خصوص در تیرهایی با بال کاهش یافته این میزان کاهش در سختی بیشتر مشاهده می‌شود. حال این‌که در نمونه شیاری کاهش سختی تقریباً برابر صفر است. این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که شیارها ممان اینرسی مقطع را کاهش نمی‌دهند.

نتایج حاصل از آنالیز پوش آور انجام گرفته روی مدل‌های ۴ طبقه دیوار برشی فولادی با جان شیاری و بدون شیار نشان داد که در مدل شیاری، اتصال تیر به ستون و همچنین ستون‌ها در محدوده الاستیک خود باقی‌مانده و توزیع کرنش‌های پلاستیک در ورق فولادی و ناحیه تضعیف شده جان تیر می‌باشد

منابع و مراجع

- [1] Thorburn LJ, Kulak GL, Montgomery CJ. Analysis of steel plate shear walls. Structural engineering report no. 107. Edmonton: Department of Civil Engineering, University of Alberta;1983.

- [2] Tromposch EW, Kulak GL. Cyclic and static behaviour of thin panel steel plate shear walls. Structural engineering report no. 145. Edmonton: Department of Civil Engineering, University of Alberta; 1987.
- [3] Roberts TM, Sabouri-Ghomi S. Hysteretic characteristics of unstiffened perforated steel plate shear panels. *Thin-Walled Struct* 1992;14:139–51.
- [4] Berman JW, Bruneau M. Experimental investigation of light-gauge steel plate shear walls. *ASCE J Struct Eng* 2005;131(2):259–67.
- [5] Cortes G, Liu J. Experimental evaluation of steel slit panel–frames for seismic resistance. *J Constr Steel Res* 2011;67(2):181–91.
- [6] Canadian Standard Association. S16-01-CAN/CSA: limit states design of steel structures 6th ed. ; 2006 [Toronto. Canada].
- [7] ANSYS® Academic Research, Release 15.0, Help System, Coupled Field Analysis Guide, ANSYS, Inc.
- [8] AISC, ANSI/AISC 341-05. Seismic provisions for structural steel buildings. Chicago (IL): American Institute of Steel Construction; 2005