

مزایای استفاده از دیوار برشی فولادی جدارنازک برای مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی

حمید محرمی^۱، اصغر حبیب نژاد کورایم^۲

چکیده

دیوارهای برشی فولادی که به دو صورت جدار نازک و تقویت شده کاربرد دارند یک سیستم ابتکاری برای مقاومت در برابر بارهای جانبی باد و زلزله می‌باشند و در دهه های اخیر نوع جدار نازک آن مورد توجه محققین قرار گرفته است. با توجه به عملکرد مطلوب این نوع سیستم باربر جانبی از جمله سختی بالا، شکل‌پذیری خوب و توان اتلاف انرژی زیاد می‌توان از این سیستم در مقاوم‌سازی سازه‌های غیرایمن بهره جست. در این مقاله با توصیف آزمایش‌هایی که در آن قاب یک دهانه یک طبقه با استفاده از یک دیوار برشی فولادی مقاوم‌سازی شده است مزایا و امکان تقویت سازه‌های فولادی موجود بررسی شده و نحوه اندرکنش سازه اولیه و دیوار برشی در مراحل مختلف باربری جانبی مورد بررسی قرار گرفته است. در این آزمایش‌ها مشاهده شد که برای افزایش ظرفیت باربری سیستم استفاده از ستون‌های نگهدارنده سخت‌تر برای دیوار برشی و برای افزایش ظرفیت جذب و استهلاک انرژی استفاده از ستون‌های نگهدارنده انعطاف پذیرتر برای دیوار برشی مورد نیاز است.

کلمات کلیدی:

دیوارهای برشی فولادی نازک، ورق‌های جدارنازک سخت نشده، مقاومت پس کمانشی، میدان کششی قطری

Advantages of Thin Steel Shear Wall for Retrofitting of Steel Structures

H.Moharrami , A.Habibnejad korayem

ABSTRACT

Steel shear walls that are used in two (thin and thick) forms, are innovative systems for resistance against lateral wind and earthquake loads. The thin type of steel shear wall has recently attracted the researcher's interests. Due to good performance of this type of lateral resisting system (for example high stiffness, high ductility index and very much energy dissipation) it can be used for retrofitting of vulnerable structures. In this paper describing some tests on retrofitting a steel frame by a steel shear wall, the advantages and possibility of retrofitting vulnerable structures have been investigated and interaction of the frame and steel shear wall at different stages of loading has been studied. In the tests it was observed that for increase in the load carrying capacity of the shear wall, it is better to use stiffer columns and for increase in energy dissipation, more flexible columns are required.

Key words:

Thin Steel Shear Wall, Unstiffened Thin Plate, Post Buckling Strength, Tension Field

۱. دانشیار گروه سازه بخش عمران دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس hamid@modares.ac.ir

۲. کارشناس ارشد سازه دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس habib_nezhad@yahoo.com

آسیب‌پذیری و تقویت سازه‌های بتن آرمه با استفاده از مصالح پلیمری توسط Sheikh، بررسی آسیب‌پذیری و ترمیم پل‌های کابلی بزرگ توسط آقایان ko, sun & ni در هنگ‌کنگ، تعمیر و بازسازی صنایع جانبی معادن طلا در آفریقای جنوبی توسط khan & krige و نگارش مدارک انجمن بتن انگلیس و ... [۲] و نیز لزوم کاهش تلفات و خسارات ذکر شده در کشور مسئولین امر را بر آن داشت تا تقویت و مقاوم سازی سازه های موجود را در دستور کار سازمان ها و نهادهای مربوطه قرار دهند.

اخیرا استفاده از دیوار برشی فولادی به عنوان یک گزینه اقتصادی و سهل الاجرا برای مقاوم سازی سازه ها مورد توجه قرار گرفته است و محققین زیادی درباره پارامترهای مختلف این سیستم تحقیقاتی انجام داده اند که از آن جمله می توان به بررسی تاثیر جنس و خواص ورق [۳]، زاویه تشکیل میدان کششی [۴]، ضخامت ورق [۵]، نسبت عرض به ارتفاع پانل برشی [۶]، نحوه اتصال تیر به ستون [۷ و ۸] و وجود بازشو در ورق [۹] اشاره کرد. در این مقاله با معرفی نوع جدیدی از دیوارهای برشی فولادی نازک که در آن دیوار برشی به ستون های اصلی سازه تکیه ندارد و بیان نتایج حاصل از به کارگیری آن در مقاوم سازی یک قاب یک طبقه، امکان استفاده از این سیستم باربر جانبی در مقاوم سازی سازه های فولادی بررسی کیفی شده و مزایا و معایب این روش به صورت کلی بیان شده است. امید است محققین با انجام تحقیقات مناسب راه‌های عملی استفاده از این سیستم باربری جانبی در مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی را به صورت عملی توسعه دهند.

۲- شرح مدل‌های آزمایشگاهی و آزمایشات انجام شده

به منظور بررسی رفتار اجزاء یک قاب مقاوم سازی شده با دیوار برشی فولادی دو مدل آزمایشگاهی با مقیاس یک به یک ساخته شده و تحت بارگذاری چرخه ای آزمایش شدند. [۱۰] در هر یک از مدل ها یک دیوار برشی یک طبقه در داخل یک قاب یک دهانه و یک طبقه قرار داده

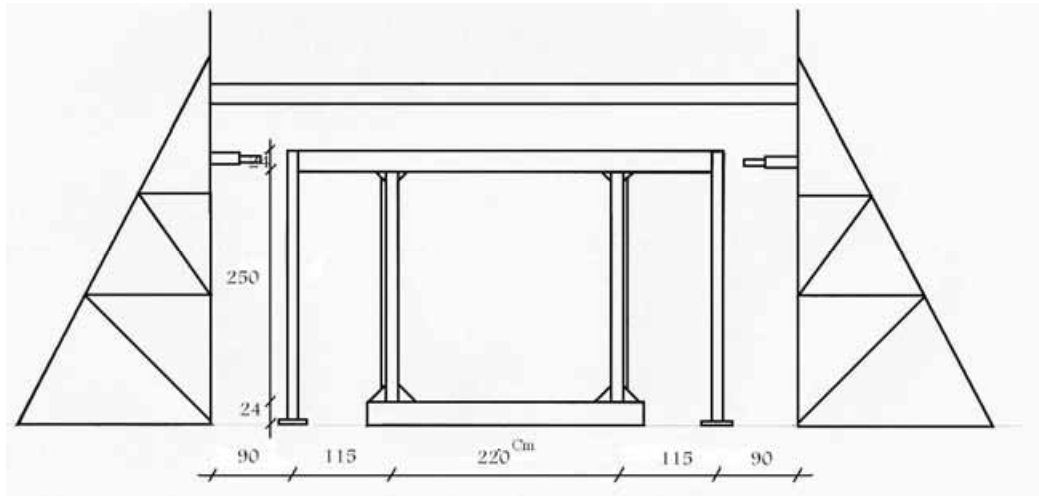
با قرار گرفتن ایران در بخشی از کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا که به عنوان آخرین و جوانترین نواحی کوهزایی جهان شناخته شده است پدیده‌های دگر شکلی به اشکال گوناگون در آن متظاهر می‌گردند. باز شدن دریای سرخ و در نتیجه حرکت پهنه عربستان به سوی ایران و جابجایی بستر اقیانوس در نواحی عمان و حرکت به سوی شمال - شمال خاوری و حرکت دیگر صفحات لیتوسفری پیرامون ایران موجب فراهم آمدن شرایطی گردیده است که هر چند گاه با آزاد شدن انرژی ناشی از تمرکز تنش‌ها در راستای گسل‌های فعال، شاهد زمین لرزه‌های ویرانگر در میهن اسلامی ایران باشیم. با مراجعه به سوابق لرزه خیزی ایران چه با توجه به آمار لرزه نگاری دستگاهی سده اخیر و چه از روی نوشتارهای تاریخی و بررسی های باستان شناسی تا چند هزاره قبل از میلاد در نقاط مختلف کشور، علاوه بر تلفات بیش از ۱۲۰ هزار نفری در ۹۰ سال اخیر تأثیر روانی - اجتماعی و خسارات مالی فراوان حاصل از تخریب شهرهایی چون ری (تهران)، تبریز، رودبار، منجیل، طبس و ... را می توان مشاهده کرد. [۱]

چنین خسارات و تبعات و پی‌آمدهای آن موجب شد تا علی‌الخصوص بعد از زلزله سال ۱۳۶۹ رودبار - منجیل بحث ترمیم و تقویت سازه‌های آسیب‌پذیر به صورت جدی پیگیری شود. نتایج مطالعات و بررسی‌های کارشناسانه نشانگر آن بود که عدم رعایت اصول صحیح ساخت و ساز و مشخصات فنی - اجرایی صحیح از یک سو و کیفیت پایین مصالح مصرفی از سوی دیگر موجبات خسارات و تلفات بیش از حد را فراهم آورده است مضافاً آنکه بسیاری از بافت‌های شهری ایران زمانی شکل گرفته بودند که هیچ آیین‌نامه لازم‌الاجرائی برای تحمل نیروهای جانبی ناشی از زلزله تدوین نشده بود.

با توجه به اینکه بحث تقویت و بازسازی سازه ها یکی از علوم رایج در سطح جهان می باشد و کارهای زیادی نیز در این زمینه انجام شده است از جمله بررسی

مدل طراحی شده و ابعاد و اندازه‌های آن در شکل (۱) قابل مشاهده است.

شده و با استفاده از اتصالات جوشی به قاب پیرامونی متصل شدند. دیوار برشی دقیقا در وسط قاب قرار گرفت و کل سیستم سازه ای حاصل به صورت متقارن درآمد.



شکل (۱): مدل ترکیبی قاب و دیوار برشی فولادی

مشخصات مدل‌های آزمایشگاهی و در جدول (۲) مشخصات ستون‌های دیوار برشی آورده شده است.

مشخصات ورق فولادی و تیر و ستون‌های قاب پیرامون در دو نمونه یکسان بوده و تنها مشخصات ستون‌ها در نمونه‌ها با یکدیگر تفاوت داشتند. در جدول (۱)

جدول (۱): مشخصات مدل‌های آزمایشگاهی

نمونه	ارتفاع طبقه (Cm)	عرض دهانه (Cm)	تیر	ستون قاب پیرامونی	ستون دیوار برشی	ضخامت ورق (mm)	تعداد طبقه	تعداد دهانه
اول	۲۷۴	۲۲۰	IPE240	2IPE160	2UNP160	۲	۱	۱
دوم	۲۷۴	۲۲۰	IPE240	2IPE160	2UNP120	۲	۱	۱

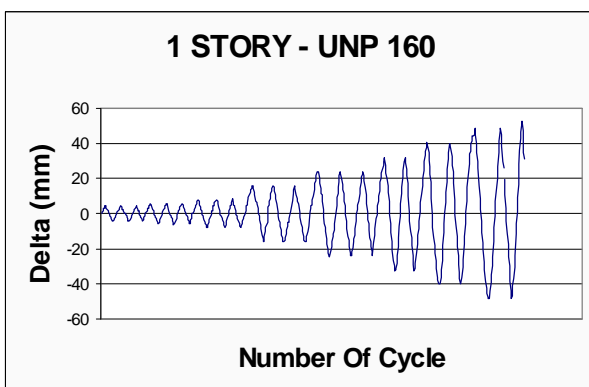
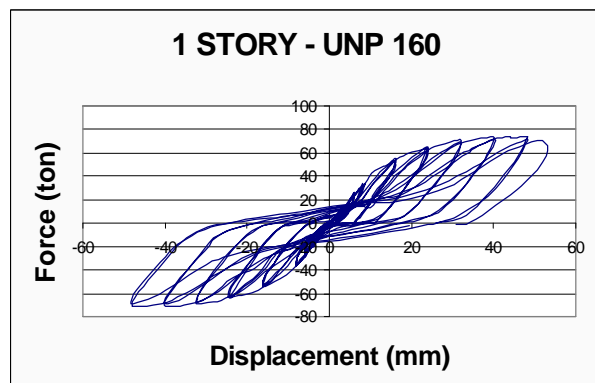
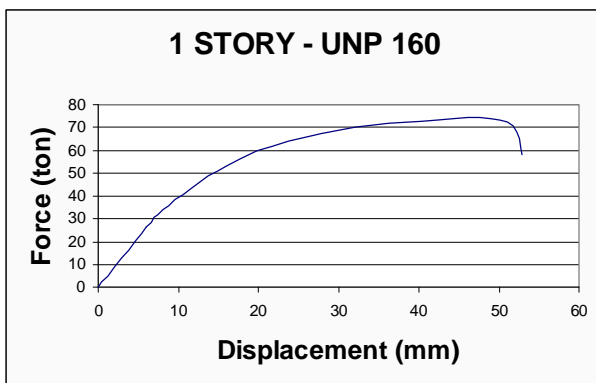
جدول (۲): مشخصات ستون‌های دیوار برشی

نمونه		نمونه اول	نمونه دوم
نیمرخ ستون‌ها		2UNP160	2UNP120
A سطح مقطع ستون‌ها	cm ²	۴۸	۳۴
(EI) _{min} سختی خمشی ستون‌ها	Cm ⁴	2547/17 × 10 ⁶	1267/43 × 10 ⁶
(EI) _{max} سختی خمشی ستون‌ها	Cm ⁴	3885 × 10 ⁶	1528/8 × 10 ⁶

تحمل شده توسط نمونه ۷۴/۵ تن و تعداد سیکل های بارگذاری شده ۲۲ سیکل بود رفتار نمونه تا تغییر مکان جانبی $\Delta = 8 \text{ mm}$ خطی بود و بار تحمل شده تا مرحله خطی تقریباً ۳۴ تن بود و از این مرحله به بعد رفتار غیرخطی نمونه شروع شد و تغییر شکل های پسماند در نمونه باقی ماند. در محدوده سیکل های شانزدهم تا بیست و یکم تغییر شکل های ورق دیوار بعد از باربرداری نیز باقی می ماند و در گوشه ها تغییر شکل های پلاستیک به صورت قرشدگی های نوک تیز در ورق مشاهده شد. در جوش اتصالات نیز به صورت جزئی ترکهایی مشاهده شد. در این مرحله کماتش تیر فوقانی دیوار نیروهای زیادی را به میل مهارها وارد می کرد به صورتیکه در سیکل بیست و دوم کماتش تیر به حدی افزایش یافت که موجب گسیختگی یکی از میل مهارها گردید و ادامه بارگذاری متوقف گردید. نمودارهای نیرو - تغییر مکان نمونه و تغییر شکل دیوار در سیکل هجدهم در اشکال (۲) و (۳) آورده شده اند. در این نمودارها نیروی وارد شده به نمونه در محور قائم و تفاضل تغییر مکان تیر تراز فوقانی از تغییر مکان تیر تحتانی در محور افقی آورده شده اند.

در ساخت مدل ها اتصالات تیر به ستون دیوار برشی و اتصال ستون قاب پیرامونی به تکیه گاه به صورت گیردار و اتصال ستون قاب پیرامونی به تیر فوقانی با استفاده از نبشی های زیرسری و بالاسری و یک ورق تودلی به صورت مفصلی ساخته شدند. ورق دیوار برشی از جنس فولاد نرم با تنش تسلیم 1950 Kg/Cm^2 و تنش گسیختگی 2987 Kg/Cm^2 انتخاب شد تا شکل پذیری مناسبی از خود نشان دهد. برای مدل سازی سقف برای جلوگیری از کماتش خارج از صفحه دیوار، در تراز تیر فوقانی، نمونه با استفاده از یک سری میل مهار به قابهایی در دو طرف نمونه مهار شد. برای بارگذاری نمونه ها از جک های هیدرولیکی استفاده شد که بر اساس دستوالعمل ATC24 با روش کنترل تغییر مکان به نمونه ها نیروهای لازم اعمال شد. [۱۱] برای اندازه گیری تنش ها نیز از یک سری کرنش سنج های تک محوری و سه محوری استفاده شد.

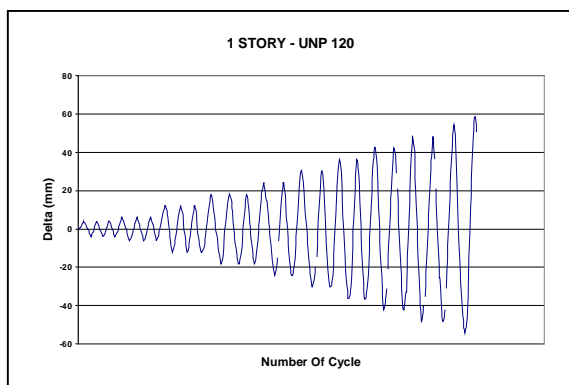
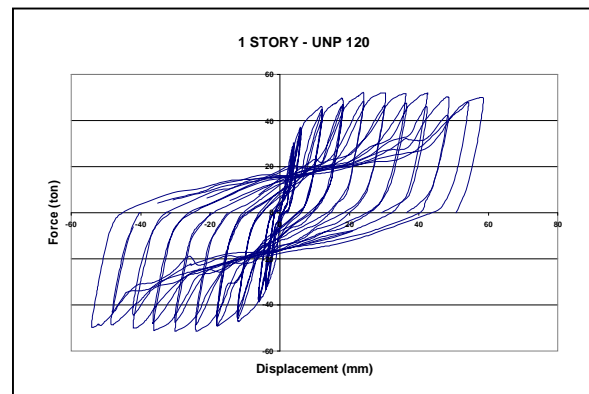
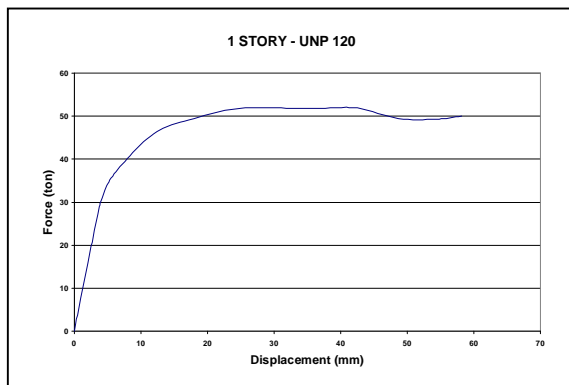
۳- نتایج آزمایش بارگذاری جانبی مدل های آزمایشگاهی نمونه اول آزمایش تا تغییر مکان جانبی $\Delta = 52/8 \text{ mm}$ تحت بارگذاری جانبی دوره ای قرار گرفت. حداکثر بار



شکل (۲) : سیکل های بارگذاری نمونه اول



شکل (۳): کمانش ورق در سیکل هجدهم



شکل (۴): سیکل های بارگذاری نمونه دوم

$\Delta = 36$ خطی بود و بار تحمل شده در مرحله خطی تقریباً ۳۶ تن بود و از این مرحله به بعد نمونه وارد مرحله غیرخطی شد. در محدوده سیکل های بارگذاری شانزدهم تا بیست و چهارم ورق دیوار دچار گسیختگی شد و ظرفیت باربری

نمونه دوم آزمایش تا تغییر مکان $\Delta = 58/22$ mm تحت بارگذاری جانبی دوره ای قرار گرفت. حداکثر بار تحمل شده توسط نمونه ۵۱/۸۷ تن و تعداد سیکل های بارگذاری شده ۲۲ سیکل بود. رفتار نمونه تا تغییر مکان جانبی 6 mm

شدت ترک های آهک ستون دیوار بسیار شدیدتر بود این امر نشانگر جذب نیروها توسط دیوار برشی و انتقال بخش اندکی از این نیروها به قاب پیرامونی می باشد. از این مرحله به بعد به تدریج با افزایش تغییر مکان جانبی در جوش اتصالات قاب پیرامونی ترک هایی ایجاد می شد که نهایتاً در تغییر مکان ۵۸ میلی متر جوش اتصال ستون قاب به تیر تحتانی شکست و ستون از تیر جدا شد و ادامه بارگذاری متوقف شد. شکل های (۴) تا (۶).

دیوار افت محسوسی پیدا کرد. در این مرحله شدت تشکیل میدان کششی به حدی بود که نیروهای وارد شده از ورق به دیوار باعث کمانش ستون های دیوار در داخل دیوار برشی شده و ستون ها به حالت پراتنزی در می آمدند. تغییر شکل پسماند این مرحله زیاد و در تغییر مکان ۴۲mm بعد از باربرداری حدود ۳۲mm تغییر شکل پسماند مشاهده شد. در تغییر مکان ۴۸ میلی متر که هشت برابر تغییر شکل الاستیک بود در آهک ستون های قاب پیرامونی در نزدیکی محل اتصال تیر به ستون ترک هایی ایجاد شد در حالی که



شکل (۵) : پاره شدگی ورق دیوار در سیکل هجدهم



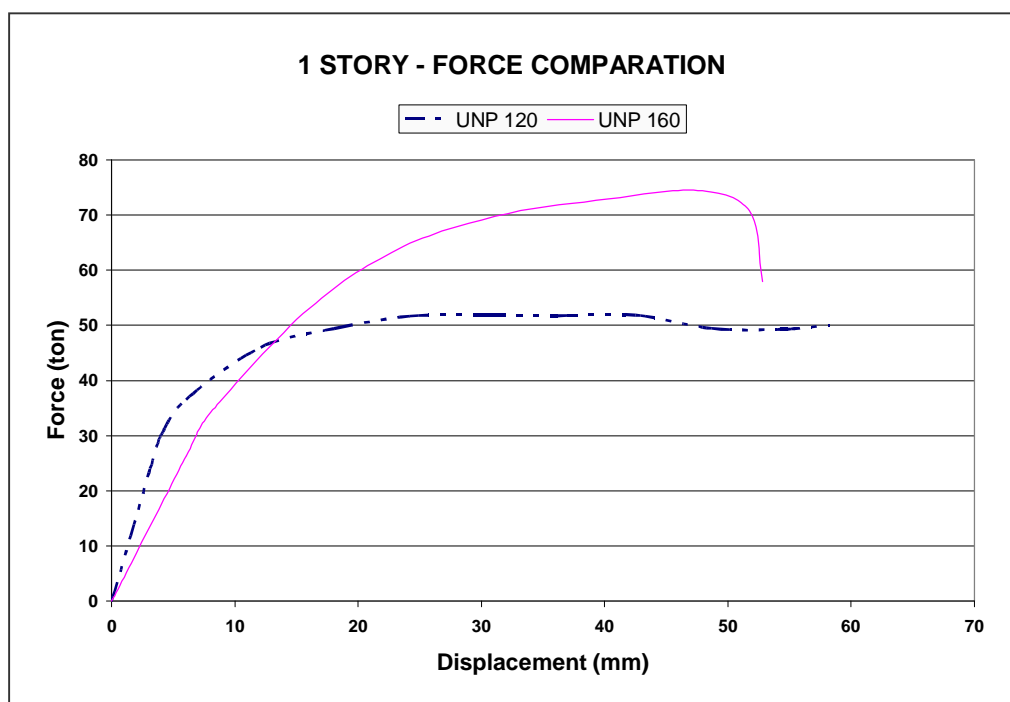
شکل (۶) : شکست اتصال ستون قاب پیرامونی به تیر تراز صفر - صفر در انتهای آزمایش

۴ - نمودار نیرو - تغییر مکان قاب تقویت شده

برای رسم نمودار نیرو - تغییر مکان از نیروی جانبی اعمال شده به سیستم و تغییر مکان افقی خالص قاب استفاده شده است که تغییر مکان خالص افقی قاب از تفاضل تغییر مکان افقی تیر طبقه اول نسبت به تغییر مکان افقی تیر طبقه تراز صفر - صفر به دست می‌آید. در دستورالعمل ATC24 برای لحاظ شدن طبیعت چرخه‌ای بارگذاری و نیز کاهش خطاهای اعمال و اندازه‌گیری نیرو و ... هر یک از سیکل‌های بارگذاری سه بار تکرار می‌شود که در رسم نمودار نیرو - تغییر مکان قاب از چرخه اول هر سیکل بارگذاری استفاده شده است.

ظرفیت باربری نهایی قاب پیرامونی برای اعمال نیرو در تیر طبقه اول با استفاده از روابط استاتیکی حدود ۲ تن به دست می‌آید اما همانطور که در شکل (۷) قابل مشاهده است ظرفیت باربری قاب تقویت شده به وسیله دیوار برشی با ستون‌های نگهدارنده ناودانی ۱۶ (2UNP160) حدود ۷۴ تن و ظرفیت باربری قاب تقویت شده به وسیله

دیوار برشی با ستون‌های نگهدارنده ناودانی ۱۲ (2UNP120) حدود ۵۲ تن می‌باشد که به ترتیب ۳۷ و ۲۶ برابر ظرفیت باربری قاب اولیه می‌باشند بنابراین می‌توان ادعا کرد که استفاده از دیوار برشی فولادی جدارنازک در مقاوم نمودن و افزایش ظرفیت باربری قاب‌های فولادی گزینه‌ای مناسب و عملی می‌باشد. در نمودار شکل (۷) نیز مانند نمودارهای حاصل از آزمایش‌های سری اول و دوم مشاهده می‌شود که با تقویت ستون‌های نگهدارنده دیوار برشی از نظر سختی و سطح مقطع، ظرفیت باربری سیستم باربر جانبی افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت در مواردیکه اولویت اول مقاوم سازی افزایش ظرفیت باربری سیستم است و موارد دیگر از قبیل جذب انرژی و شکل پذیری و ... از طرق دیگر برآورده شده است استفاده از دیوارهای برشی فولادی جدارنازک با ستون‌های نگهدارنده سخت تر نسبت به همان دیوارها اما با ستون‌های انعطاف پذیر ارجحیت دارد.

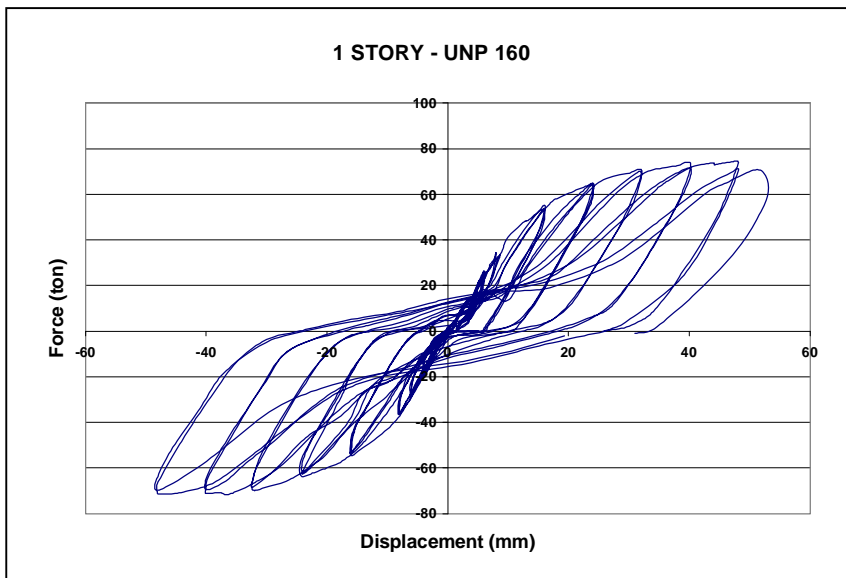


شکل (۷) : نمودار نیرو - تغییر مکان قاب‌های تقویت شده با دیوارهای برشی

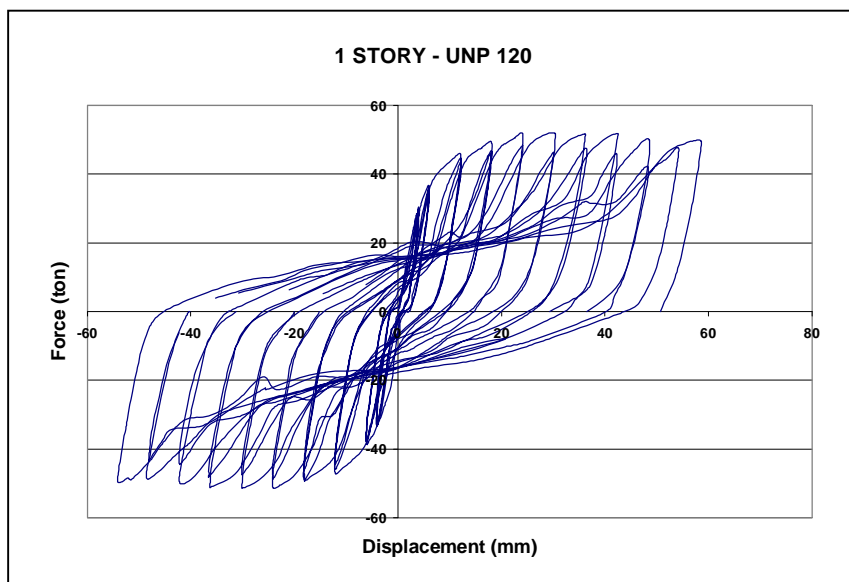
۵- استهلاک انرژی در قاب تقویت شده

پایدار بوده و میزان جذب انرژی سیستم مذکور که در واقع سطح زیر منحنی های هیستریزس آنها می باشد، قابل توجه است.

همانطور که در شکل های (۸) و (۹) مشاهده می گردد، منحنی های هیستریزس قاب های تقویت شده با دیوار برشی فولادی جدارنازک مانند منحنی های هیستریزس دیوار برشی فولادی جدارنازک بصورت S شکل و کاملاً



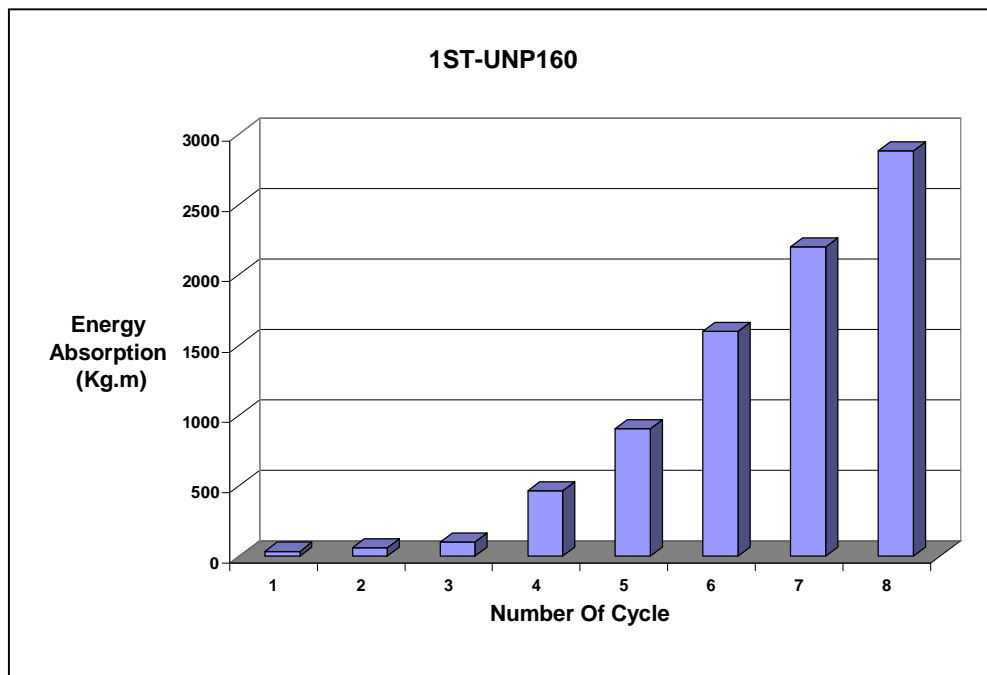
شکل (۸): منحنی های هیستریزس قاب تقویت شده به وسیله دیوار برشی با ستون های 2UNP160



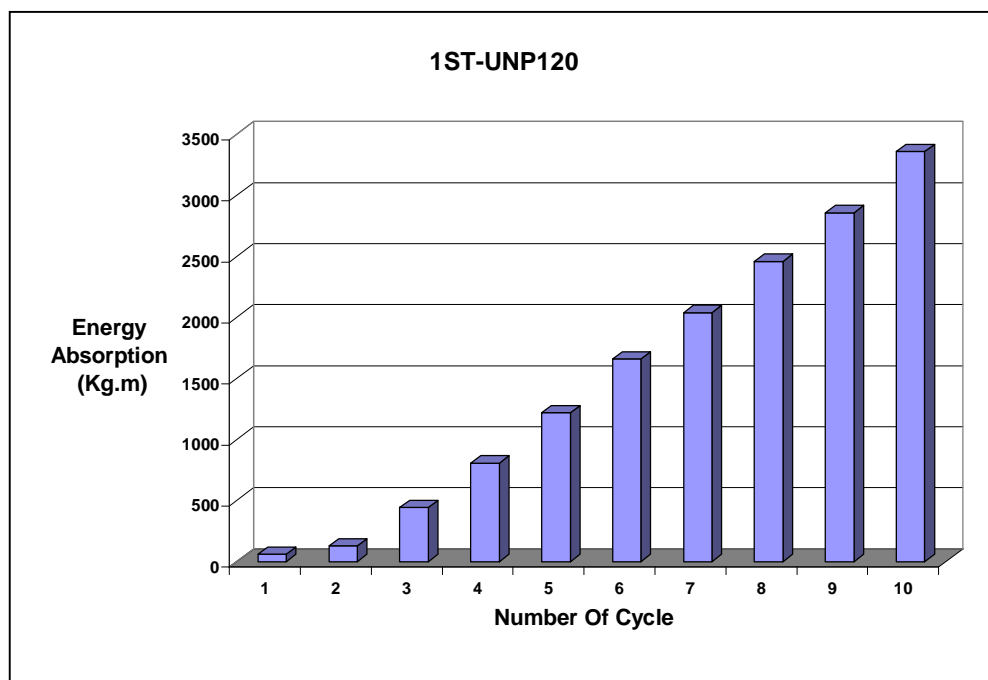
شکل (۹): منحنی های هیستریزس قاب تقویت شده به وسیله دیوار برشی با ستون های 2UNP120

در شکل های (۱۰) و (۱۱) این افزایش از یک دوره به دوره بعد برای منحنی های مذکور آورده شده است.

همچنین با افزایش تغییر مکان در هر سیکل سطح زیر منحنی هیستریزس نسبت به سیکل قبل افزایش نشان می دهد.



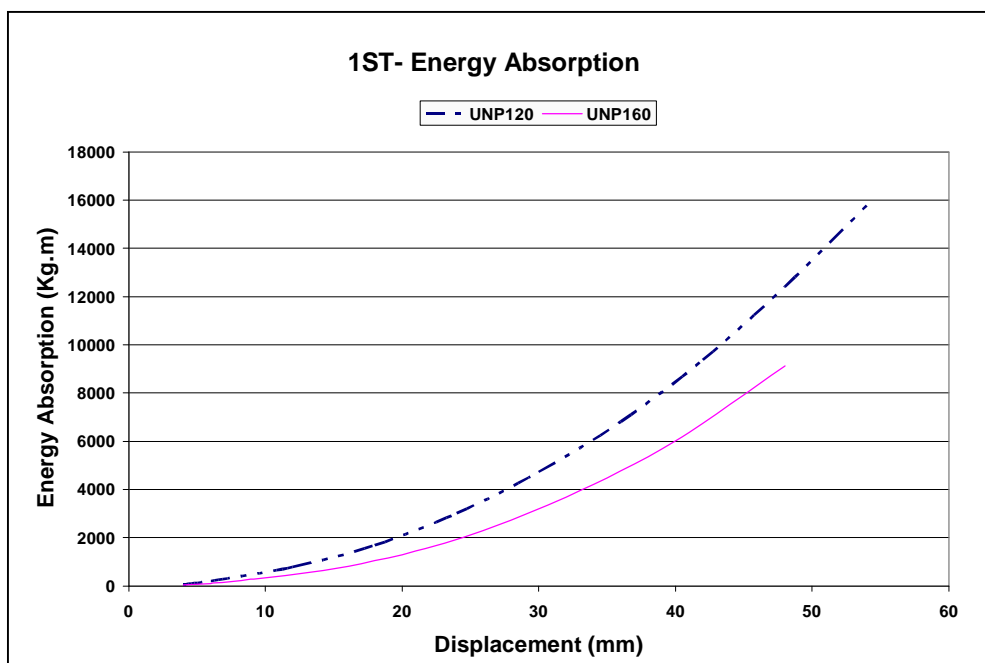
شکل (۱۰): وضعیت جذب انرژی در دوره های متوالی قاب تقویت شده به وسیله دیوار برشی با ستون های 2UNP160



شکل (۱۱): وضعیت جذب انرژی در دوره های متوالی قاب تقویت شده به وسیله دیوار برشی با ستون های 2UNP120

دوم بیشتر از مدل اول می‌باشد. این امر بیانگر آن است که در سازه‌هایی که نیاز به جذب و استهلاک انرژی اولویت اول مقاوم‌سازی سیستم می‌باشد استفاده از دیوارهای برشی فولادی جدارنازک با ستون‌های انعطاف‌پذیرتر ارجحیت بیشتری نسبت به دیوارهای برشی فولادی جدارنازک با ستون‌های قوی و سخت دارد. البته این امر به مفهوم آن نیست که انعطاف‌پذیرتر کردن ستون‌های نگهدارنده دیوار همیشه باعث افزایش استهلاک انرژی می‌شود بلکه همانطور که در فصل‌های قبل اشاره شد کاهش سختی ستون برای افزایش جذب انرژی یک محدوده بهینه دارد که در آن محدوده اولاً سختی ستون‌ها به حدی است که ستون‌ها توانایی نگه داشتن ورق دیوار و تشکیل میدان کششی را دارند و ثانیاً سختی ستون‌ها آنقدر زیاد نیست که قاب نگهدارنده دیوار تحمل نیروهای وارد شده را نداشته باشد تا دچار شکست ترد دیوار شود و همچنین در نیروهای برشی کم، سختی زیاد ستون مانع از تغییر شکل‌های مناسب برای جذب بیشتر انرژی نشود.

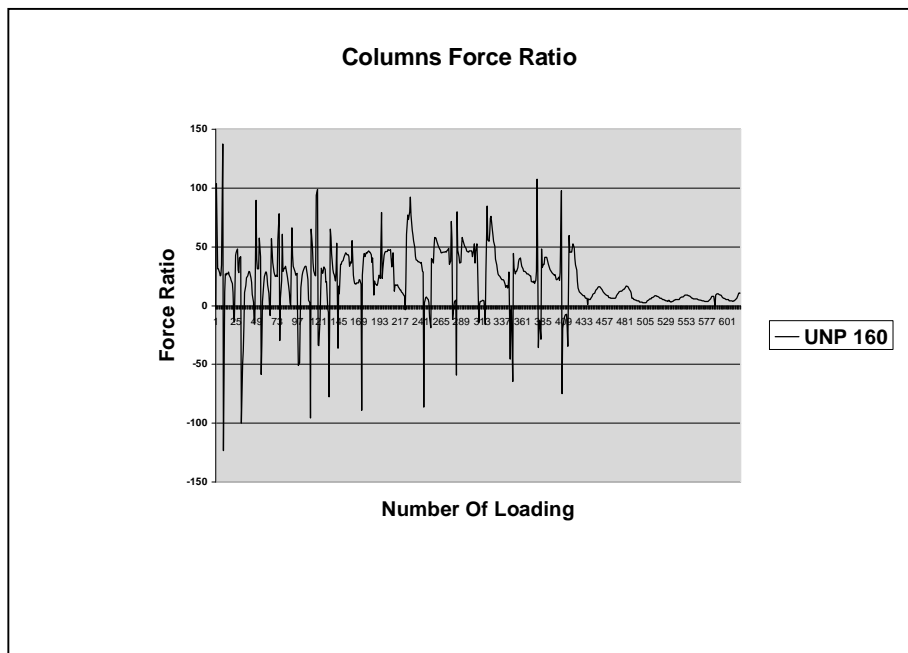
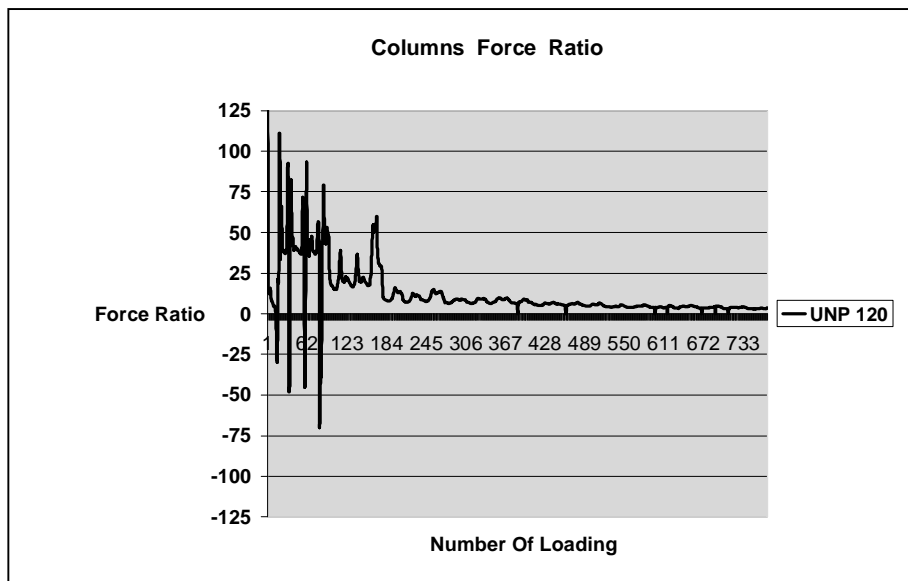
با توجه به ویژگی‌ها و نحوه عملکرد قاب اولیه که یک قاب با اتصال مفصلی تیر به ستون و بدون مهاربند جانبی می‌باشد منحنی‌های هیستریزس قاب پیرامونی، منحنی‌های ناپایدار و با سطح زیر منحنی کوچک می‌باشند که ناشی از عملکرد لرزه‌ای ضعیف این نوع قاب‌ها می‌باشد اما همان گونه که در اشکال (۸) و (۹) مشاهده گردید بعد از تقویت این قاب با دیوارهای برشی، منحنی‌های هیستریزس به منحنی‌های پایدار و با سطح محصور شده قابل ملاحظه تبدیل می‌شوند. این امر بیانگر آن است که استفاده از ظرفیت‌های بالای دیوار برشی برای جذب و استهلاک انرژی نیروهای جانبی زلزله روشی مناسب برای بالا بردن انرژی پذیری قاب‌های ناپایدار سازه‌های موجود می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر در بالا بردن ظرفیت جذب انرژی قاب‌ها، مشخصات اجزاء دیوار برشی استفاده شده در تقویت قاب می‌باشد. همان گونه که در شکل (۱۲) قابل مشاهده است علیرغم تقویت ستون‌های نگهدارنده دیوار برشی نمونه اول نسبت به نمونه دوم و افزایش سختی و سطح مقطع این ستون‌ها انرژی مستهلک شده توسط مدل



شکل (۱۲): مقایسه انرژی مستهلک شده توسط قاب تقویت شده با دیوارهای برشی مختلف

شده در اجزاء دیوار برشی و قاب پیرامونی اولیه محاسبه گردد. نمودار شکل (۱۳) درصد نسبت نیروی محوری ستون‌های قاب اولیه را به نیروی محوری ستون‌های نگهدارنده دیوار برشی نشان می‌دهد. در این نمودارها محور قائم نسبت نیروی محوری ستون‌های قاب پیرامونی به نیروی محوری ستون‌های نگهدارنده دیوار برشی را به درصد نشان داده و محور افقی شماره نقطه اندازه‌گیری نیروها را نشان می‌دهد.

۶- اندرکنش سازه اولیه و دیوار برشی تقویت کننده یکی از مسایل مهم در استفاده از دیوار برشی فولادی اندرکنش سازه اولیه و دیوار برشی می‌باشد. در این راستا نحوه مقاومت سازه اولیه و دیوار برشی در برابر نیروهای جانبی و نیز چگونگی انتقال نیروها بین این دو قسمت نقش تعیین کننده‌ای دارد. برای بررسی این موضوع بر روی ستون‌ها و تیر قاب اولیه و ستون‌های دیوار برشی یک سری کرنش سنج‌های محوری نصب گردید تا از روی کرنش‌های اندازه‌گیری شده مقدار تنش و نیروهای ایجاد



شکل (۱۳): نسبت نیروی محوری ستون‌های قاب اولیه به نیروی محوری ستون‌های نگهدارنده دیوار برشی

دیوار برشی در راستای تقویت قاب اولیه بوده و نیروهای وارد شده به اجزاء سازه اولیه را تعدیل می کند به همین دلیل می توان بدون آن که نیروهای زیادی به سازه اولیه تحمیل شود با افزودن یک دیوار برشی به سازه ناپایدار آن را به یک سازه ایمن و پایدار تبدیل کرد.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله نحوه عملکرد و چگونگی رفتار یک قاب تقویت شده با دیوار برشی فولادی جدارنازک در برابر نیروهای جانبی بررسی شد و نتایج ذیل حاصل شد.

۱- با استفاده از سیستم باربر جانبی دیوارهای برشی جدارنازک می توان ظرفیت باربری سازه های ضعیف را به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش داد. در این نمونه ها که رفتار سازه بیشتر برشی است تا خمشی ظرفیت سازه از ۲ تن به ۷۴ و ۵۲ تن رسانده شد که به ترتیب ۳۷ و ۲۶ برابر ظرفیت نهایی سازه اولیه می باشد.

۲- در مواردی که اولویت اول مقاوم سازی افزایش ظرفیت باربری سیستم است استفاده از ستون های نگهدارنده سخت تر برای دیوار برشی نسبت به ستون های نگهدارنده انعطاف پذیر ارجحیت دارد.

۳- در مواردی که اولویت اول مقاوم سازی افزایش ظرفیت جذب و استهلاک انرژی می باشد استفاده از ستون های نگهدارنده انعطاف پذیر برای دیوار برشی نسبت به ستون های نگهدارنده سخت و قوی ارجحیت دارد. البته انعطاف پذیر بودن ستون های نگهدارنده یک محدوده بهینه دارد که در آن محدوده اولاً سختی ستون ها به حدی است که ستون ها توانایی نگه داشتن ورق دیوار و تشکیل میدان کششی را داشته و از کماتش کلی دیوار جلوگیری می کند و ثانیاً سختی ستون ها آن قدر زیاد نیست که قاب نگهدارنده دیوار تحمل نیروهای وارد شده را نداشته باشد تا دچار شکست ترد دیوار شود و همچنین در مقادیر کم نیروهای برشی، سختی زیاد ستون مانع از تغییر شکل های مناسب برای جذب بیشتر انرژی نشود. (تعیین محدوده بهینه سختی ستون های نگهدارنده نیاز به مطالعات بیشتری دارد.) اندرکنش سازه اولیه و دیوار برشی به

همانطور که در نمودار مشخص است تقریباً در تمامی مراحل بارگذاری نیروی ایجاد شده در ستون های قاب پیرامونی کوچک تر از نیروی ایجاد شده در ستون های نگهدارنده است البته در مراحل اولیه بارگذاری نسبت نیروها بزرگتر است و با پیشرفت آزمایش و ادامه بارگذاری این نسبت کاهش یافته و در انتهای بارگذاری به حدود ۳ درصد می رسد یعنی نیروی وارد شده به ستون های قاب اولیه تنها ۳ درصد نیروهای وارد شده به ستون های نگهدارنده دیوار است. این شکل نمودار را می توان ناشی از این امر دانست که در ابتدای بارگذاری، قاب پیرامونی به واسطه گیرداری نسبی پای ستون ها تا حدی در برابر نیروها مقاومت کرده و در نتیجه در اجزاء آن تنش هایی ایجاد می شود اما با اضافه شدن نیروهای وارده چون این نیروها بیشتر از ظرفیت باربری سازه اولیه است، نیروها از قاب به دیوار برشی منتقل شده و سیستم باربری جانبی به دیوار برشی انتقال می یابد به همین دلیل سهم قاب اولیه از باربری جانبی کاهش یافته و نسبت نیروهای ایجاد شده کم می شود.

همچنین در نمودار مشاهده می شود که در ابتدا نسبت نیروها به تناوب مثبت و منفی می باشد یعنی در لحظاتی نیروی یکی از ستون ها فشاری و دیگری کششی بوده و در سایر لحظات هر دو فشاری یا کششی بوده اند اما با ادامه بارگذاری و پیشرفت آزمایش نیروها هم علامت شده هر دو فشاری یا کششی می باشند. این امر ناشی از آن است که در ابتدای بارگذاری که قاب پیرامونی در باربری جانبی نقش فعال تری دارد تیر قاب در حفاصل دیوار برشی و قاب به صورت یک تیر رابط (Link Beam) عمل کرده و بخشی از انرژی تحمیل شده به سیستم را مستهلک می نماید و با توجه به نحوه تغییر شکل های آن در یکی از ستون ها نیروی فشاری و در دیگری نیروی کششی ایجاد می کند. اما با ادامه بارگذاری و افزایش نیروها که منجر به عملکرد دیوار برشی می شود استهلاک انرژی توسط تیر رابط کاهش یافته و تغییر شکل های تیر و سازه به گونه ای می شود که هر دو ستون به فشار یا کشش می افتند.

از مطالب بیان شده می توان نتیجه گرفت که اندرکنش قاب و

shear wall" J. of Struct. Eng. ASCE 124(2), 112-120 1998.

5- Elgaaly M., Caccese V., Du C., "Postbuckling behaviour of steel plate shear walls under cyclic loads" Struct. Eng. Vol. 119 No. 2 Feb. 1993.

6- Maripudi V. S., "Nonlinear analysis of thin steel plates with flexible boundaries under in-plane shear" Ms Thesies univ. of Main. Me. USA 1990.

7- Robert G., Kulak G. L., Elwi A. E., Kennedy D. J. L., "FE and simplified models of steel plate shear wall" J. of struct. Eng. Vol. 124 No. 2 Feb. 1998.

8- Xue M and Lu L.W. "Interaction of infilled steel shear wall panels with surrounding frame members" Proc. Struct. Stability Res. Council Annu. Tech. Session, Bethlehem, Pa. 339-354 (1994).

9-Roberts T.M., Sabouri-Ghomi S., "Hysteretic characters of unstiffened perforated steel plate shear panels" Thin-walled Structures.14(1992)

۱۰- حمید محرمی، علی مزروعی، اصغر حبیب‌نژاد، حسین علیزاده «رفتار دیوارهای برشی فولادی نازک (نیمه نگهداری شده در لبه‌ها) تحت بار جانبی برشی» گزارش مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۸۵.

11- ATC24 The report, Guidelines for Seismic Testing of Components of Steel Structures. Published 1992, 57 Page.

گونه‌ای است که موجب تقویت سازه اولیه شده و نیروهای وارد شده به اجزاء سازه اولیه را تعدیل می‌کند.

۴- در مراحل اولیه بارگذاری سازه اولیه در باربری جانبی شرکت می‌کند و در ادامه بارگذاری با فراتر رفتن نیروها از ظرفیت باربری سازه اولیه بخش بزرگتری از نیروی برشی از قاب به دیوار برشی منتقل شده و باربری جانبی عمدتاً توسط دیوار برشی صورت می‌گیرد.

۵- تیر قاب سازه اولیه در حد فاصل دیوار برشی و ستون مجاور آن به صورت یک تیر رابط (Link Beam) عمل کرده و بخشی از انرژی وارد شده را مستهلک می‌نماید.

مراجع:

۱- شناسنامه فنی ساختمان‌های فولادی، شاهرخ مالک

2- Alphose zingoni – "Advances in damage detection , repair and rehabilitation of engineering structures" – Engineering structures - 24 (2002) 841 – 842

3- Caccese V., Elgaaly M., Chen R., " Exprimental study of thin steel plate shear walls under cyclic load " Journal of structural Eng. Vol. 119 No. 2 Feb. 1993.

4- Driver R. G., Kulak G. L., Kennedy D. J. L., and Elwi A. E., "Cyclic test of four-story steel plate