



# مزایای استفاده از دیوار برشی فولادی جدارنازک برای مقاومسازی سازه‌های فولادی

حمید محرمی<sup>۱</sup>، اصغر حبیب نژاد کورایم<sup>۲</sup>

## 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، شکل پذیری خوب و توان اتلاف انرژی زیاد می توان از این سیستم در مقاومسازی سازه‌های غیرایمن بهره جست. در این مقاله با توصیف آزمایش هایی که در آن یک 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 آزمایش ها مشاهده شد که برای افزایش ظرفیت باربری سیستم استفاده از ستون های نگهدارنده سخت تر برای دیوار برشی و برای افزایش ظرفیت جذب و استهلاک انرژی استفاده از ستون های نگهدارنده انعطاف پذیرتر برای دیوار برشی مورد نیاز است.

## کلمات کلیدی:

دیوارهای برشی فولادی نازک، ورق های 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

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 می‌توان 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 لازم الاجرائی برای تحمل نیروهای جانبی ناشی از زلزله تدوین نشده بود.

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

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 & krigel 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 سازه‌های موجود را در دستور کار سازمان‌ها و نهادهای مربوطه قرار دهند.

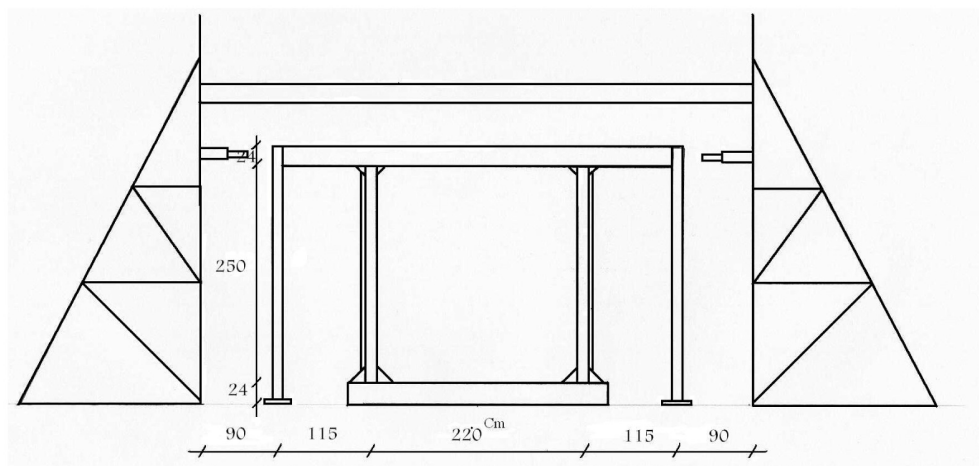
اخیراً استفاده از دیوار برشی فولادی به عنوان یک گزینه اقتصادی و سهل‌الاجرا برای مقاوم سازی سازه‌ها مورد توجه قرار گرفته است و محققین زیادی درباره پارامترهای مختلف این سیستم تحقیقاتی انجام داده‌اند که از آن جمله می‌توان به بررسی تأثیر جنس و خواص ورق [۳]، زاویه تشکیل میدان کششی [۴]، ضخامت ورق [۵]، نسبت 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 ستون‌های 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 سازه‌های 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 مقاوم سازی 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 چرخه‌ای آزمایش شدند. [۱۰] در هر یک از مدل‌ها یک دیوار برشی یک طبقه در داخل یک قاب یک دهانه و یک طبقه قرار داده

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 دقیقاً 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 مدل های آزمایشگاهی و در جدول (۲) مشخصات ستون های دیوار برشی آورده شده است.

مشخصات ورق فولادی و تیر و ستون های قاب پیرامون در دو نمونه یکسان بوده و تنها مشخصات ستون ها در نمونه ها با یکدیگر تفاوت داشتند. در جدول (۱)

جدول (۱): مشخصات مدل های 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           |

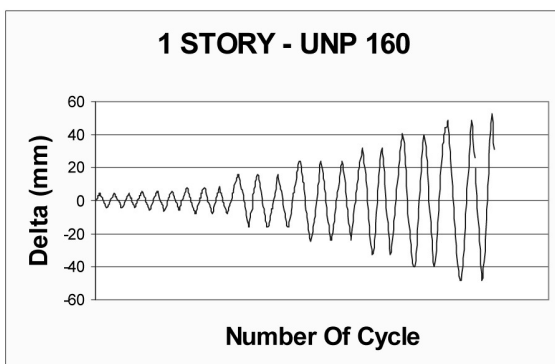
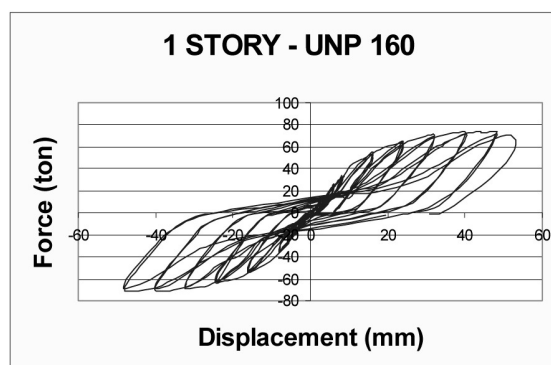
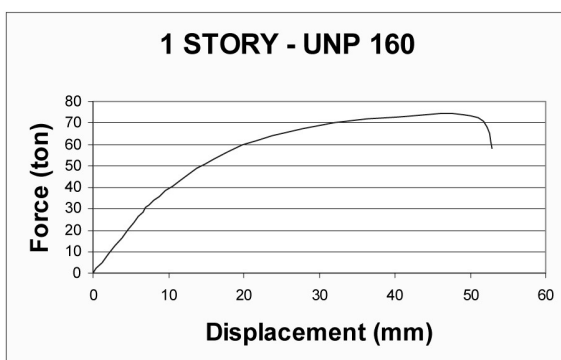
جدول (۲): مشخصات ستون های دیوار برشی

| نمونه                                 |                 | نمونه اول     | نمونه دوم     |
|---------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|
| نیمرخ ستون ها                         |                 | 2UNP160       | 2UNP120       |
| A سطح مقطع ستون ها                    | cm <sup>2</sup> | ۴۸            | ۳۴            |
| (EI) <sub>min</sub> سختی خمشی ستون ها | Cm <sup>4</sup> | 2547/17 × 106 | 1267/43 × 106 |
| (EI) <sub>max</sub> سختی خمشی ستون ها | Cm <sup>4</sup> | 3885 × 106    | 1528/8 × 106  |

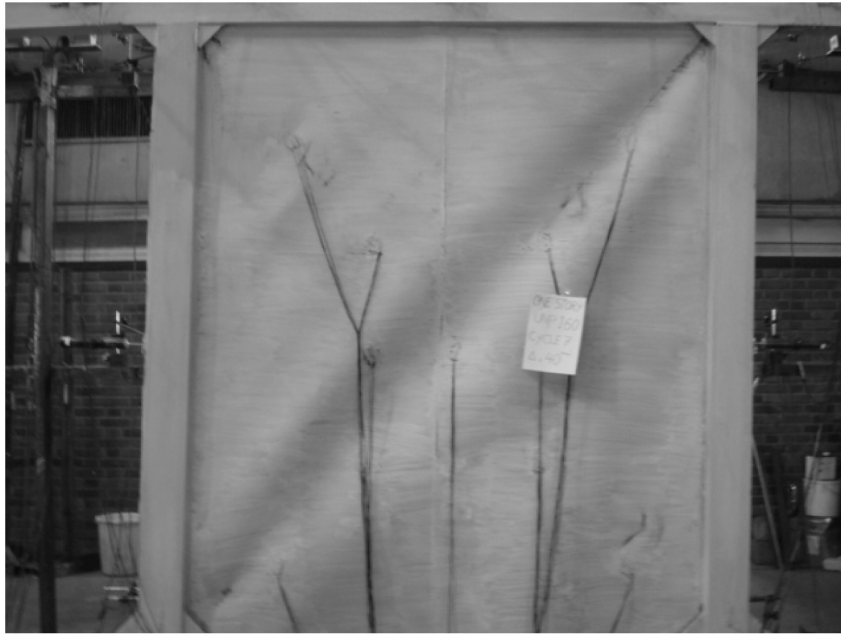
تحمل شده توسط نمونه ۷۴/۵ تن و تعداد سیکل های بارگذاری شده ۲۲ سیکل بود رفتار نمونه تا تغییر مکان جانبی  $\Delta = 8 \text{ mm}$  خطی بود و بار تحمل شده تا مرحله خطی تقریباً ۳۴ تن بود و از این مرحله به بعد رفتار غیرخطی نمونه شروع شد و تغییر شکل های پسماند در نمونه باقی ماند. در محدوده سیکل های شانزدهم 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 کمانش تیر فوقانی دیوار نیروهای زیادی را به میل مهارها وارد می کرد به صورتیکه در سیکل بیست و دوم کمانش 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  $1950 \text{ Kg/Cm}^2$  و تنش گسیختگی  $2987 \text{ Kg/Cm}^2$  انتخاب شد تا شکل پذیری مناسبی از خود نشان دهد. برای مدل سازی سقف برای جلوگیری از کمانش 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 دستورالعمل 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.

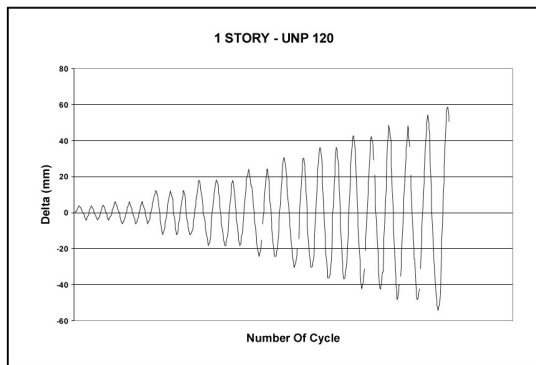
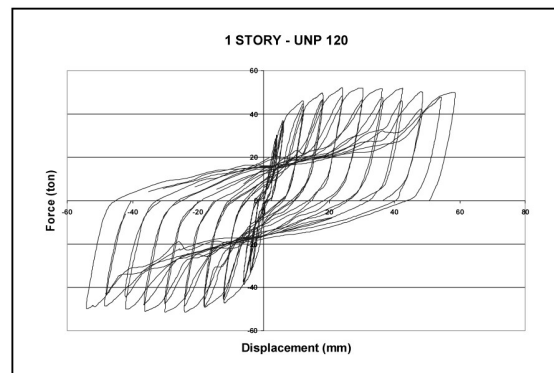
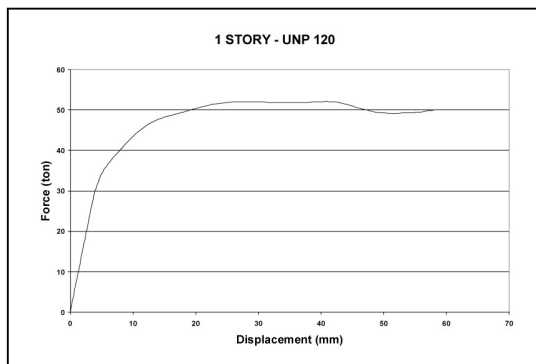
۳- نتایج آزمایش بارگذاری جانبی مدل های آزمایشگاهی  
نمونه اول آزمایش تا تغییر مکان جانبی  $\Delta = 52/8 \text{ mm}$  تحت بارگذاری جانبی دوره ای قرار گرفت. حداکثر بار



شکل (۲) : سیکل های بارگذاری نمونه اول



شکل (۳) : کمانش ورق در سیکل هجدهم



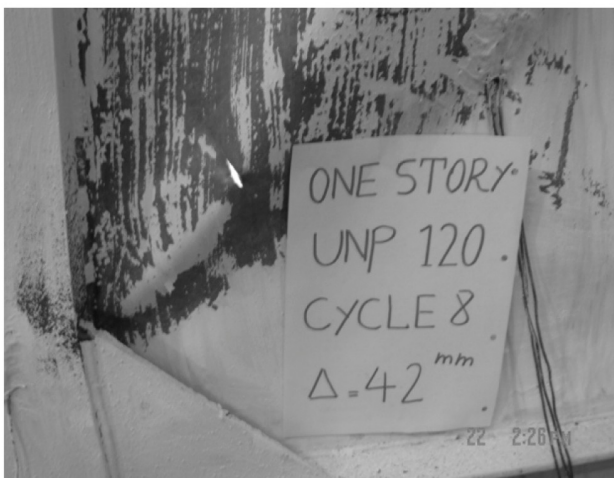
شکل (۴) : سیکل‌های بارگذاری نمونه دوم

$\Delta =$  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 سیکل‌های بارگذاری شانزدهم تا بیست و چهارم ورق دیوار دچار گسیختگی شد و ظرفیت باربری

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

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 تغییرمکان جانبی در جوش اتصالات قاب پیرامونی ترک هایی ایجاد می شد که نهایتاً در تغییرمکان 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 درمی آمدند. تغییر شکل پسماند این مرحله زیاد و در تغییرمکان ۴۲mm بعد از باربرداری حدود ۳۲mm تغییر شکل پسماند مشاهده شد. در تغییرمکان 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



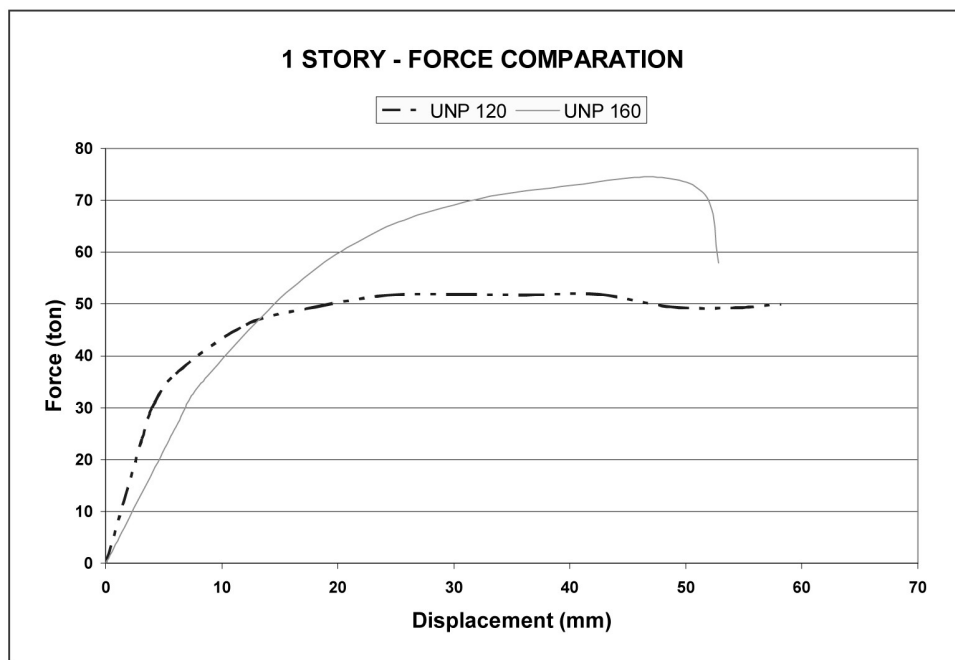
شکل (۶): شکست اتصال ستون قاب پیرامونی به تیر تراز صفر - صفر در انتهای آزمایش

#### 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 برابر 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.

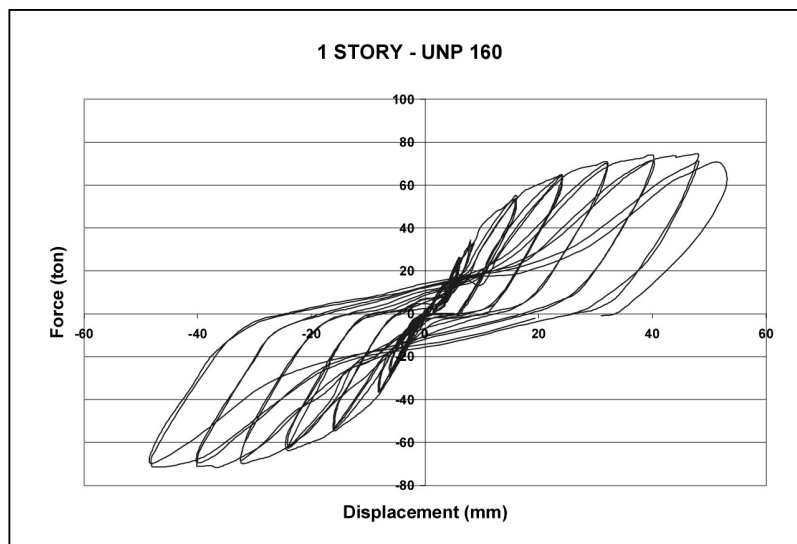


شکل (۷): نمودار نیرو - تغییر مکان قاب‌های تقویت شده با دیوارهای برشی

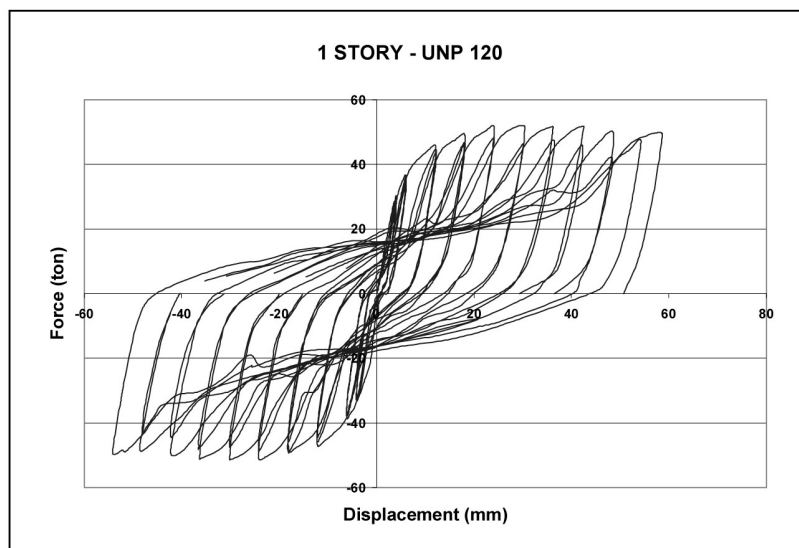
##### ۵- استهلاک انرژی در قاب تقویت شده

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



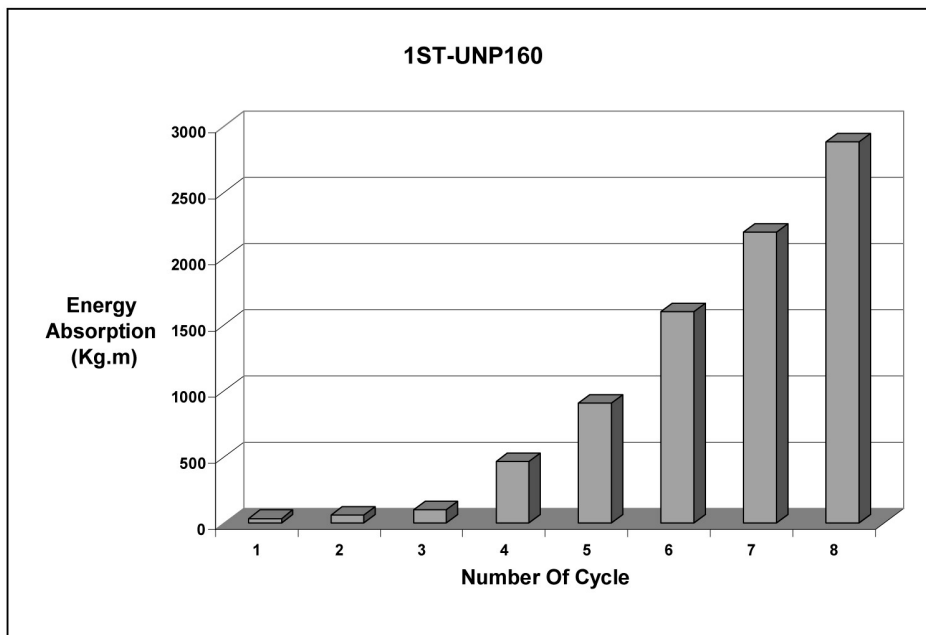
شکل (۸): منحنی های هیستریزس قاب تقویت شده به وسیله دیوار برشی با ستون های 2UNP160



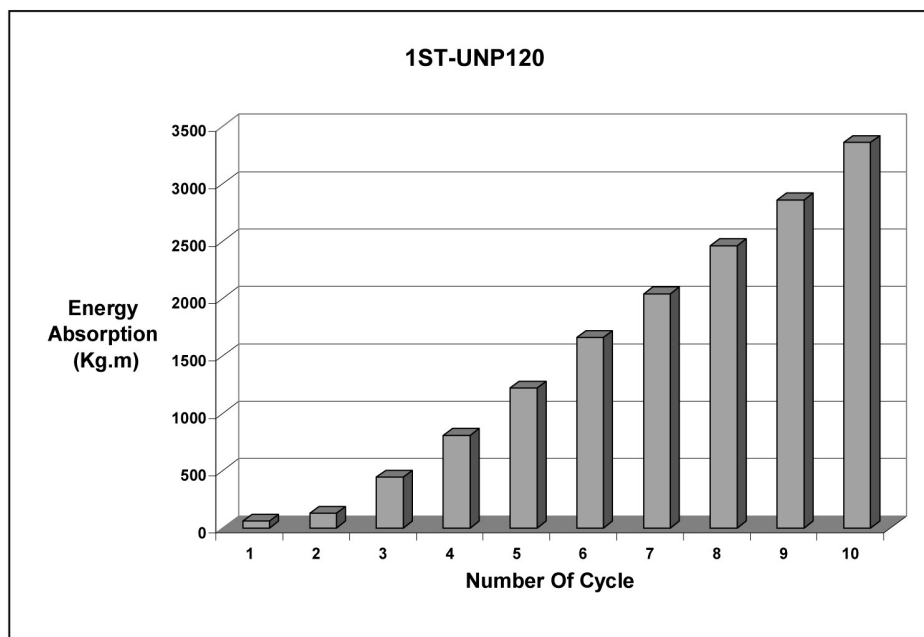
شکل (۹): منحنی های هیستریزس قاب تقویت شده به وسیله دیوار برشی با ستون های 2UNP120

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.



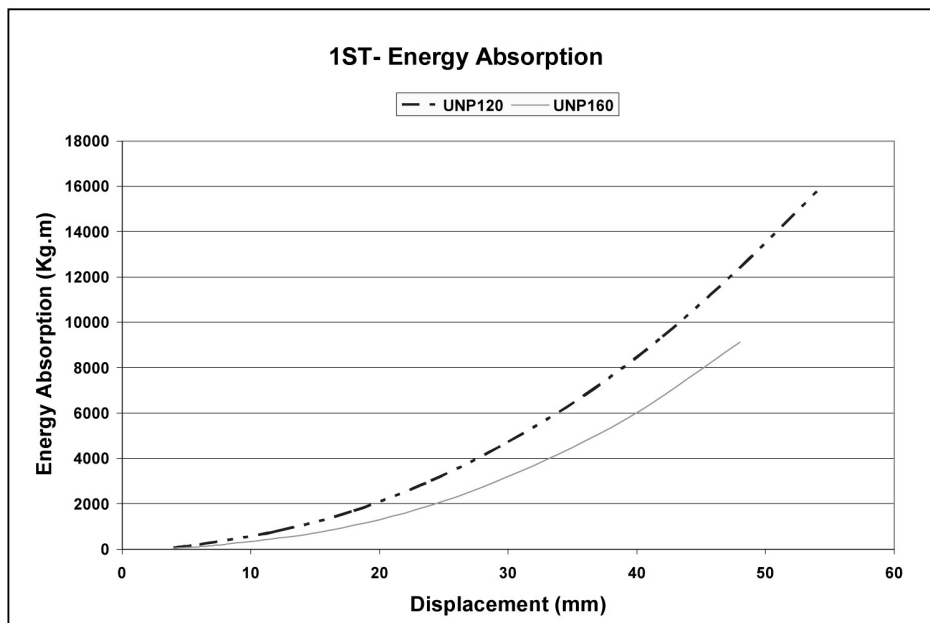
شکل (۱۰): وضعیت جذب انرژی در دوره های متوالی قاب تقویت شده به وسیله دیوار برشی با ستون های 2UNP160



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

با توجه به ویژگی‌ها و نحوه عملکرد قاب اولیه که یک قاب با اتصال مفصلی تیر به ستون و بدون مهاربند جانبی می‌باشد منحنی‌های هیستریزیس قاب پیرامونی، منحنی‌های ناپایدار و با سطح زیر منحنی کوچک می‌باشند که ناشی از عملکرد لرزه ای ضعیف این نوع قاب ها می‌باشد اما همان گونه که در اشکال (۸) و (۹) مشاهده گردید بعد از تقویت این قاب با دیوارهای برشی، منحنی‌های هیستریزیس 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 پذیری قاب های ناپایدار سازه های موجود می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر در بالا بردن ظرفیت جذب انرژی قاب ها، مشخصات اجزاء دیوار برشی استفاده شده در تقویت قاب می باشد. همان گونه که در شکل (۱۲) قابل مشاهده است علیرغم تقویت ستون های نگهدارنده دیوار برشی نمونه اول نسبت به نمونه دوم و افزایش سختی و سطح مقطع این ستون ها انرژی مستهلک شده توسط مدل

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 انعطاف پذیرتر ارجحیت بیشتری نسبت به دیوارهای برشی فولادی جدارنازک با ستون های قوی و سخت دارد. البته این امر به مفهوم آن نیست که انعطاف پذیرتر کردن ستون های نگهدارنده دیوار همیشه باعث افزایش استهلاک انرژی می شود 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 ستون ها توانایی نگه داشتن ورق دیوار و تشکیل میدان کششی را دارند و ثانیاً سختی ستون ها 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.

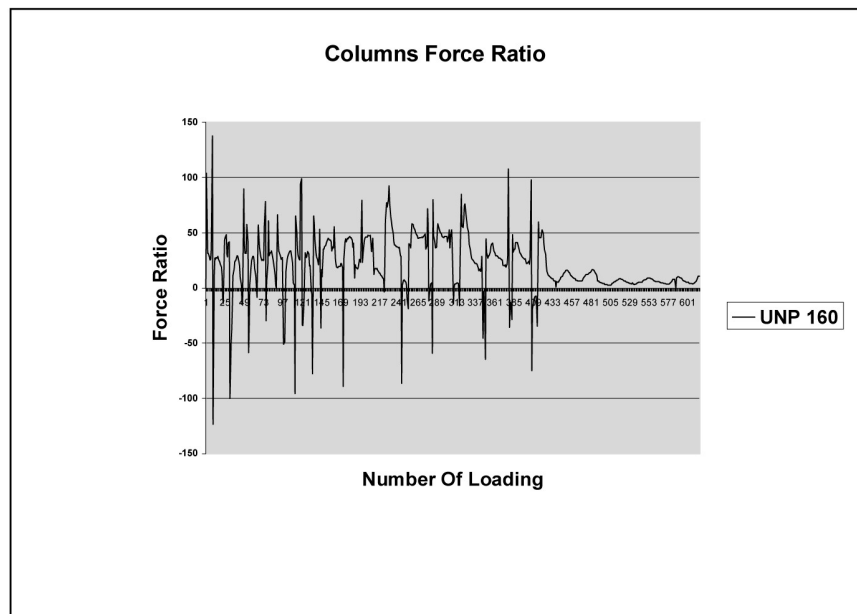
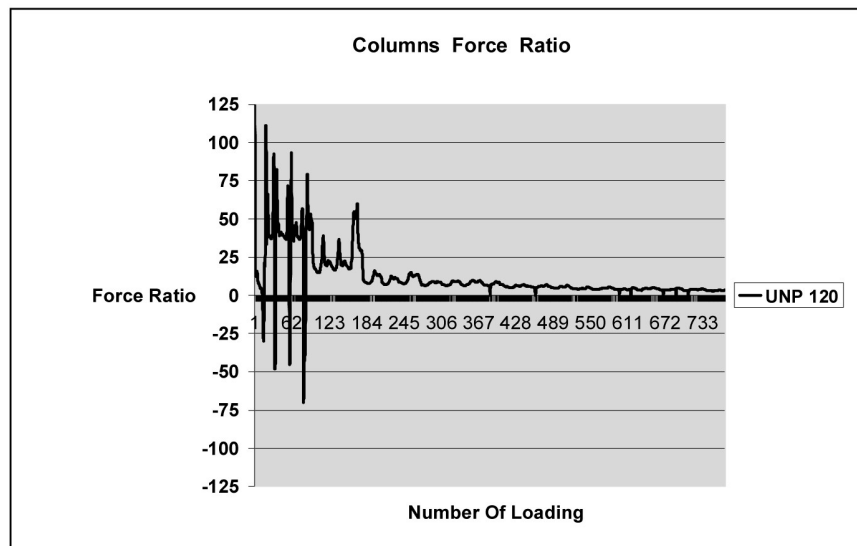


شکل (۱۲) : مقایسه انرژی مستهلک شده توسط قاب تقویت شده با دیوارهای برشی مختلف

## 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 می باشد. 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 کننده ای دارد. برای بررسی این موضوع بر روی ستون ها و تیر قاب اولیه و ستون های دیوار برشی یک سری کرنش سنج های محوری نصب گردید تا از روی کرنش های اندازه گیری شده مقدار تنش و نیروهای ایجاد

شده در اجزاء دیوار برشی و قاب پیرامونی اولیه محاسبه گردد. نمودار شکل (۱۳) درصد نسبت نیروی محوری ستون های قاب اولیه را به نیروی محوری ستون های نگهدارنده دیوار برشی نشان می دهد. در این نمودارها محور قائم نسبت نیروی محوری ستون های قاب پیرامونی به نیروی محوری ستون های نگهدارنده دیوار برشی را به درصد نشان داده و محور افقی شماره نقطه اندازه گیری نیروها را نشان می دهد.



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

همانطور که در نمودار مشخص است تقریباً در تمامی مراحل بارگذاری نیروی ایجاد شده در ستون‌های قاب پیرامونی کوچک‌تر از نیروی ایجاد شده در ستون‌های 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 می‌رسد یعنی نیروی وارد شده به ستون‌های قاب اولیه تنها ۳ درصد نیروهای وارد شده به ستون‌های نگهدارنده دیوار است. این شکل نمودار را می‌توان ناشی از این امر دانست که در ابتدای بارگذاری، قاب پیرامونی به واسطه گیرداری نسبی پای ستون‌ها تا حدی در برابر نیروها مقاومت کرده و در نتیجه در اجزاء آن تنش‌هایی ایجاد می‌شود 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 می‌یابد به همین دلیل سهم قاب اولیه از باربری جانبی کاهش یافته و نسبت نیروهای ایجاد شده کم می‌شود.

همچنین در نمودار مشاهده می‌شود که در ابتدا نسبت نیروها به تناوب مثبت و منفی می‌باشد یعنی در لحظاتی نیروی یکی از ستون‌ها 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 می‌باشند. این امر ناشی از آن است که در ابتدای بارگذاری که قاب پیرامونی در باربری جانبی نقش فعال تری دارد تیر قاب در حدفاصل دیوار برشی و قاب به صورت یک تیر رابط (Link Beam) عمل کرده و بخشی از انرژی تحمیل شده به سیستم را مستهلک می‌نماید و با توجه به نحوه تغییر شکل‌های آن در یکی از ستون‌ها نیروی فشاری و در دیگری نیروی کششی ایجاد می‌کند. اما با ادامه بارگذاری و افزایش نیروها که منجر به عملکرد دیوار برشی می‌شود استهلاك انرژی توسط تیر رابط کاهش یافته و تغییر شکل‌های تیر و سازه به‌گونه‌ای می‌شود که هر دو ستون به فشار یا کشش می‌افتند.

از مطالب بیان شده می‌توان نتیجه گرفت که اندرکنش قاب و

دیوار برشی در راستای تقویت قاب اولیه بوده و نیروهای وارد شده به اجزاء سازه اولیه را تعدیل می‌کند به همین دلیل می‌توان 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- نتیجه‌گیری

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 می‌توان ظرفیت باربری سازه‌های ضعیف را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. در این نمونه‌ها 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 می‌باشد.

۲- در مواردی که اولویت اول مقاوم‌سازی افزایش ظرفیت باربری سیستم است استفاده از ستون‌های نگهدارنده سخت تر برای دیوار برشی نسبت به ستون‌های نگهدارنده انعطاف‌پذیر ارجحیت دارد.

۳- در مواردی که اولویت اول مقاوم‌سازی افزایش ظرفیت جذب و استهلاك انرژی می‌باشد استفاده از ستون‌های نگهدارنده انعطاف‌پذیر برای دیوار برشی نسبت به ستون‌های نگهدارنده سخت و قوی ارجحیت دارد. البته انعطاف‌پذیر بودن ستون‌های نگهدارنده 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 داشته و از کماتش کلی دیوار جلوگیری می‌کند و ثانیاً سختی ستون‌ها 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 شکل‌های مناسب برای جذب بیشتر انرژی نشود. (تعیین محدوده بهینه سختی ستون‌های نگهدارنده نیاز به مطالعات بیشتری دارد.) اندرکنش سازه اولیه و دیوار برشی به

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., " Experimental 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