Archive of SID

1th.Miaad University National Conference on
Civil Engineering , Architecture

۱۵-December 2017, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran

بررسی ضریب رفتار دیوار برشی فولادی کوپل بر اساس آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله

زینب طاهری مینا[۱]*، مهدیس صلاحی نژاد[۲]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، و دانشجوی کارشناسی ارشد فناوری معماری دیجیتال، موسه آموزش عالی رسام (ztaheri66@chmail.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد فناوری معماری دیجیتال، موسه آموزش عالی رسام (salahinejadmahdis@yahoo.com)

چکیده

دیوارهای برشی فولادی برای گرفتن نیروهای جانبی زلزله و باد در ساختمان‌های بلند در سال‌های اخیر مطرح و مورد توجه قرار گرفته است. این پدیده نوین که در جهان به سرعت رو به گسترش می‌باشد، در ساخت ساختمان‌های جدید و همچنین تقویت ساختمان‌های موجود به‌خصوص در کشورهای زلزله خیزی همچون آمریکا و ژاپن بکار گرفته شده است و در کشور ایران نیز می‌تواند کاربردهای فراوانی داشته باشد. استفاده از آنها در مقایسه با قاب‌های ممان‌گیر تا حدود ۵۰٪ صرفه‌جویی در مصرف فولاد را در ساختمان‌ها به همراه دارد. دیوارهای برشی فولادی از نظر اجرایی، سیستمی بسیار ساده بوده و هیچ‌گونه پیچیدگی خاصی در آن وجود ندارد. بنابراین مهندسین، تکنسین‌ها و کارگران فنی با دانش فنی موجود و بدون نیاز به کسب مهارت جدید می‌توانند آن‌را اجرا نمایند. سیستم از نظر سختی برشی از سخت‌ترین سیستم‌های مهاربندی که X شکل می‌باشد، سخت‌تر بوده و با توجه به امکان ایجاد بازشو در هر نقطه از آن، کارایی همه سیستم‌های مهاربندی را از این نظر دارا می‌باشد. همچین رفتار سیستم در محیط پلاستیک و میزان جذب انرژی آن نسبت به سیستم‌های مهاربندی بهتر است. در سیستم دیوارهای برشی فولادی به‌علت گستردگی مصالح و اتصالات، تعدیل تنش‌ها به مراتب بهتر از سیستم‌های مقاوم دیگر در برابر بارهای جانبی مانند قاب‌ها وانواع مهاربندی که معمولا در آنها مصالح به‌صورت دسته شده و اتصالات متمرکز می‌باشند، صورت گرفته و رفتار سیستم در برابر زلزله مناسب‌تر می‌باشد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد دیوارهای برشی فولادی دارای شکل پذیری بسیار بالایی هستند که به‌منظور دستیابی به یک سیستم مطمئن جهت ساخت ساختمان‌ها برای آنکه بتوانند در مقابل خطراتی مانند زلزله، طوفان و بمب مقاومت نمایند، توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آئین‌نامه طراحی ساختمان، سازه، دیوار برشی کوپل، زلزله.

۱- مقدمه

کمبود فضا به‌دلیل رشد روزافزون جمعیت شهری از جمله عواملی است که نیاز به استفاده از ساختمان‌های بلند را در شهرهای پُر جمعیت باعث می‌شود. از این‌رو نیاز به سیستم هایی به منظور تامین مقاومت و سختی کافی جهت مقابله با نیروهای جانبی ناشی از زلزله و باد برای ساختمان‌های بلند به صورت چشم‌گیری افزایش یافته است یک یاز این سیستم‌ها دیوار برشی می‌باشد [۱]. دیوارهای برشی فولادی ویژه یک سیستم مقاوم لرزه‌ای مناسب هستند که در برخی از کشورها مورد

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده قرار گرفته‌اند. بسیاری از مواقع محدودیت‌های معماری طراحی را به سمت استفاده یک جفت دیوارهای برشی فولادی کوپل هدایت می‌کند. دیوارهای برشی فولادی کوپل حالت توسعه یافته دیوارهای برشی فولادی معمولی هستند. تاکنون تحقیقات محدودی در زمینه رفتار لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی کوپل انجام شده است و ملزومات آیین‌نامه‌های فعلی هیچ دستورالعملی برای طراحی آن‌ها ارائه نداده‌اند [۲].

استفاده از دیوار برشی فولادی به‌عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بار جانبی به‌طور قابل توجه‌ای در حال افزایش است. این سیستم با داشتن سختی و مقاومت زیاد در مقایسه با سیستم‌های سنتی مقاوم جانبی و همچنین با جذب انرژی لرزه‌ای بسیار بالا واجرای نسبتا ساده مقبولیت زیادی به‌دست آورده است. یک دیوار برشی فولادی ترکیبی از یک قاب سازه‌ای و صفحات فولادی درون آن است. در بعضی از موارد دیوار برشی با ملاحظات معماری در نظر گرفته شده در محل بازشوها در تضاد است. در یک دیوار برشی فولادی لاغر، لنگرهای واژگونی نیروهای محوری بالایی در ستون‌های کناری ایجاد می‌کنند به عبارتی دیوار برشی فولادی یک تغییر شکل خمشی تحت بار جانبی انجام می‌دهد و این باعث می‌شود که ورق‌های فولادی که در سطوح بالایی دیوار قرار دارند گسیخته شوند. این دلایل استفاده از دیوار برشی فولادی کوپل را توجیه می‌کند [۳].

در سال‌های اخیر سیستم دیوار برشی فولادی در تعدادی از ساختمان‌های بلندمرتبه جهان به منظور مقاومت در برابر بارهای جانبی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همواره ایجاد فضاهای خالی یا همان بازشوها در سطوحی با عملکرد یکپارچه، که عمدتاً به دلیل نیازهای معماری و ملاحظات غیرسازه‌ای نظیر عبور سیستم‌های تأسیساتی ایجاد می‌گردند. به جهت ضعف‌های ناشی از وجود بازشوها مورد بررسی و اهمیت مهندسان بوده است. به همین منظور راه‌حل‌هایی برای رفع ضعف‌های موجود پیشنهاد شده که یکی از آنها تقویت ورق دیوار برشی فولادی به‌وسیله سخت کننده‌ها است. علاوه بر این سخت کننده‌ها باعث بهبود رفتار کمانشی دیوارهای برشی فولادی می‌گردند [۴].

یکی از مطمئن‌ترین روش‌های مقابله با نیروهای جانبی استفاده از دیوار برشی است. دیوار برشی دیواری است که برای مقاومت در برابر اثر توام تلاش محوری، تلاش خمشی و تلاش برشی ناشی از بارهای قائم و بار زلزله طراحی می شود. دیوارهای برشی معمولاً بیشترین سهم نیروی برش پایه را تحمل می‌کنند که باعث افزایش چشمگیر سختی ساختمان و کاهش قابل ملاحظه خسارت به عناصر غیرسازه‌ای می‌گردد. دیوار برشی را با توجه به ملاحظات معماری در قسمت‌های مختلف پلان یک ساختمان می‌توان قرار داد، ولی باید دقت شود که قرارگیری آن در پلان تا حد امکان متقارن و مرکز ثقل هر طبقه در نزدیکی مرکز صلبیت دیوار برشی باشد. در اغلب موارد تعبیه بازشوهای منظم برای پنجره یا درها در دیوار برشی اجتناب ناپذیر است. هر یک از اجزاء دیوار در طرفین بازشو را پایه‌های دیوار برشی و بخشی از دیوار را که بین بازشوی بالایی و پایینی واقع است را تیر همبند یا کوپله می‌نامند. یکی از انواع این دیوارهای دارای بازشو، سیستم‌های دیوار برشی هسته‌ای کوپل است.

۲- بیان مساله

لرزه خیزی کشور ایران و اهمیت طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر نیروهای جانبی از اموری حیاتی برای آینده و توسعه ایرانی پایدار است. طراحان کشور همیشه با نیروهای ثقلی و نحوه طراحی مقاوم برای این چنین نیروهای آشنایی کافی داشته و به خوبی این امر را بجا آورده‌اند. آثار تاریخی حاکی از سابقه‌ی دیرینه سازندگان ایرانی در این عرصه می‌باشد. در سالهای اخیر با توجه به توسعه شهرها و توسعه ساخت‌وساز در هر گوشه از کشور، لزوم توجه به مسئله زلزله و در ساختمان‌های بلند مرتبه اهمیت دادن به نیروی باد را برای طراحان مسئله‌ای جدی ساخته است. به منظور مهار نیروهای جانبی از انواع مختلف سامانه‌های باربر جانبی استفاده می‌شود که هر یک دارای ویژگی‌هایی است. انتخاب نوع سامانه مقاوم در برابر نیروهای جانبی

www.SID.ir

Archive of SID

بستگی به ترکیب بارگذاری، چگونگی رفتار سازه، نحوه هدایت بارهای ثقلی به پایه و طرح معماری دارد. همچنین انتخاب نوع سامانه مقاوم در برابر بارهای جانبی علاوه بر موارد فوق بستگی به ابعاد هندسی سازه محدودیت‌های آیین نامه‌ای، مقدار نیروی جانبی، حداکثر تغییر مکان و غیره دارد.

استفاده از سیستم دیوار برشی فولادی برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های فولادی در حدود ۴۰ سال اخیر مورد توجه خاص مهندسان سازه قرار گرفته است. این سیستم در دهه‌های اخیر در تعدادی از ساختمان‌های جدید و همچنین تقویت ساختمان‌های موجود به‌کار گرفته شده است. سیستم دیوار برشی فولادی در حالت معمول متشکل از یک ورق فولادی است که دور تا دور آن به دو تیر فوقانی و تحتانی و همچنین دو ستون کناری متصل می‌شود. این ورق فولادی به دو صورت تقویت شده و تقویت نشده مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه استفاده از نوع تقویت نشده آن، به‌علت اقتصادی بودن و بهره‌گیری از ظرفیت مناسب مقاومتی و شکل پذیری بالای ورق نازک فولادی پس از کمانش آن، رواج بیشتری یافته است. ایده جداسازی ورق از قاب پیرامونی، ایده نسبتاً جدیدی است که برای کاهش تقاضا در اعضای اصلی سازه باربر جانبی شکل گرفته است. دیوار برشی متصل به تیرها به‌علت مزایای مورد استفاده در معماری، کاهش میزان تقاضا در ستون‌ها و پی‌ها و دارا بودن ظرفیت نسبتاً مناسب، می‌تواند سیستم مناسبی برای بهسازی و تقویت سازه‌های موجود باشد [۵].

در خلال سه دهه گذشته، از دیوار برشی فولادی به‌عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بار جانبی که دارای عملکرد لرزه‌ای مناسبی می‌باشد، در طراحی و تقویت ساختمان‌های بسیاری استفاده شده است. دیوار برشی فولادی شامل تعدادی ورق فولادی است که این سیستم با ورق نازک، در مقابل نیروهای جانبی وارد بر سازه با استفاده از رفتار پس‌کمانشی خود به خوبی مقاومت نموده، به گونه‌ای که ابتدا کمانش حدی الاستیک در ورق اتفاق افتاده و سپس میدان کشش قطری در آن تشکیل شـده و در نهایت با تسلیم ورق فولادی در بارهای دورهای انرژی قابل توجهی را جذب می‌نماید [۶]. تا سال ۱۹۸۰، طراحی حالت حـد نهایی دیوارهای برشی فولادی در آمریکای شمالی بر مبنای جلوگیری از کمانش خارج از صفحه، ورق‌های پرکننده بود [۷]. این مسئله باعـث طراحی ورق‌های سخت کننده سـنگین و در نتیجه، غیر اقتصادی کردن طرح می‌شد. بر مبنای مطالعات باسلر بر روی جان تیرورق‌ها در سال ۱۹۶۱ و مفهوم مقاومت پس‌کمانشی ناشی از عملکرد میدان کشش قطری ورق‌ها، استفاده از دیوارهای برشی فولادی بدون سخت‌کننده مدنظر قرار گرفتند [۸].

با توجه به این که در سازه‌های بلند نیروهای جانبی ناشی از و باد زلزله قابل توجه هستند و معمولاً دیوارهای برشی در این سازه‌ها ابعاد بزرگی پیدا می‌کنند، یک راه مناسب برای افزایش بازدهی و کارایی دیوارهای برشی و نیز کاهش وزن سازه کوپل کردن دیوارهاست. در این روش معمولا دو دیوار با تیرهای عمیق بتنی در ترازهای مختلف ارتفاع (معمولا تراز طبقات) به‌هم متصل می‌شوند تا سبب ایجاد عملکرد کوپل در دیوارها شوند. با توجه به استفاده زیاد از دیوار برشی کوپل در محل بازشوها، بررسی رفتار لرزه‌ای باتوجه به ضریب رفتار این دیوار دارای اهمیت خاصی است که در این پژوهش به این موضوع پرداخته شده است. همچنین نحوه اتصال تیر رابط به دیوارها و درجه گیرداری آنها تحت شتاب نگاشت‌های مختلف و تأثیر آن بر ضریب رفتار سازه از جمله پارامترهایی است که در این تحقیق به آن توجه شده است. بنابراین با توجه به لرزه‌خیزی کشور ایران و اهمیت طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر نیروهای جانبی، ضرورت این تحقیق مشخص می‌گردد.

۳- دیوار برشی فولادی

دیوار برشی فولادی در سه دهه اخیر مطرح شده و مورد توجه قرار گرفته و به سرعت در حال گسترش می‌باشد. در سال‌های اخیر دیوارهای برشی فولادی با سخت کننده و بدون سخت کننده در آمریکا بکار رفته‌اند. این سامانه در مقایسه با قاب خمشی تا حدود ۵۰٪ ارزانتر می‌باشد. پس از حوادث ۱۱ سپتامبر گروهی از دانشمندان با تلفیق این سامانه و سامانه

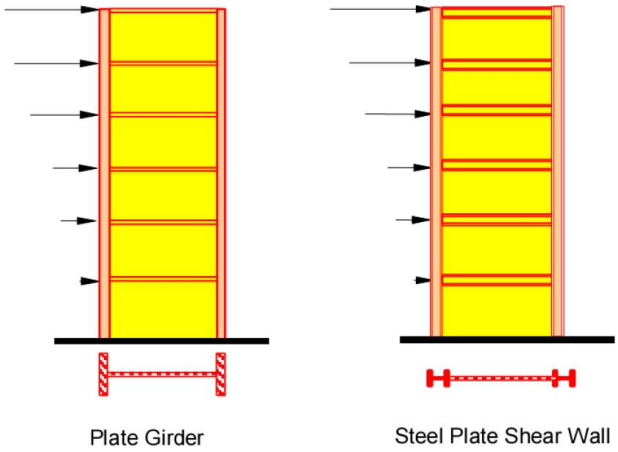
www.SID.ir

Archive of SID

دیوارهای برشی بتنی درصدد ایجاد سازه‌های غیر قابل نفوذ و مقاوم در برابر بارهای لرزه‌ای و انفجاری به شکل کاملا اقتصادی هستند. هر چند برای سال‌های زیادی دیوار برشی فولادی شناخته شده بود، اما کسی بطور جدی به آن توجه نمی‌کرد اما امروزه این روش برای مالکان و سازندگان کاملا قابل قبول می‌باشد.

دیوارهای برشی فولادی بسیار راحت‌تر اجرا می‌شوند ودر کارگاه‌های ساختمانی کاملا قابل ساخت می‌باشند و به هیچ نوع فناوری جدیدی نیاز ندارند. مهندسان، تکنسینها و کارگران فنی بدون نیاز به کسب مهارت جدید می‌توانند آنرا اجرا کنند. دقت انجام کار در حد اجراهای معمولی بوده با رعایت آن ضریب اطمینان به مراتب بالاتر از انواع سیستم‌های دیگر می‌باشد. سرعت اجرای آن بالا بوده و از هزینه‌های اجرا می‌کاهد. همچنین سیستم دیوار برشی فولادی از همه خصوصیات خوب سامانه‌های مهاربندی متمرکز (CBF) مثل X،V شکل و سامانه مهاربندی خارج از مرکز (EBF) کارایی بیشتر و مناسب‌تری دارد [۹].

مهمترین وظیفه دیوار برشی فولادی مقاومت در برابر بار افقی طبقه و لنگر واژگونی ناشی از بارهای جانبی می‌باشد. در کل سیستم دیوار برشی فلزی تشکیل شده است از یک دیوار صفحه‌ای فلزی و دو ستون مرزی و تیر افقی طبقه. علاوه بر این، صفحه فلزی و دو ستون مرزی به عنوان یک صفحه قایم باربر (تیر ورق) که در شکل پایین نشان داده شده است عمل می‌کنند. ستونها به عنوان بال‌های تیر ورق قایم و خود ورق به عنوان جان عمل می‌کنند. تیرهای افقی طبقه کم و بیش به عنوان سخت کننده‌های عرضی در تیر ورق عمل می‌کنند. در شکل شماره (۱) وجه تشابه تیر ورق و دیوار برشی فولادی نشان داده شده است:



شکل ۱: وجه تشابه تیر ورق و دیوار برشی فولادی

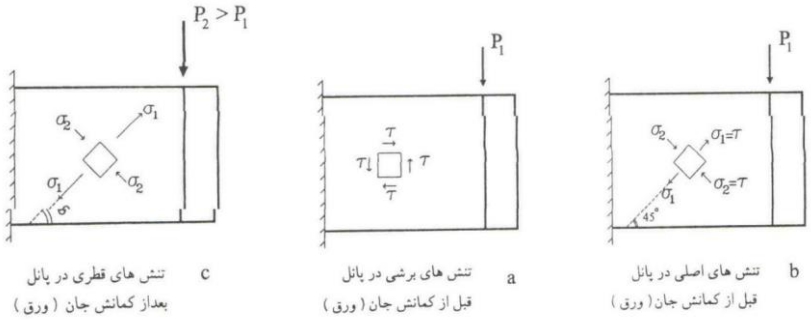
۱-۳- میدان کششی قطری

اساس ایده دیوارهای برشی فولادی نازک که در ۱۵ سال اخیر به‌طور جدی مورد توجه قرار گرفته، بهره‌گیری از میدان کشش قطری است که در این‌گونه دیوارها ایجاد می‌شود مقاومت این‌گونه دیوارها بطور عمده مقاومت پس کمانشی ورق‌های نازک یا در واقع مقاومت ناشی از میدان کشش قطری است که پس از کمانش ورق فولادی در آن ایجاد می‌شود. شکل شماره (۲) یک پانل برشی را نشان می‌دهد. ورق فولادی جان تا قبل از کمانش تحت اثر برش خالص می‌باشد که تنش‌های اصلی مربوط به آن در شکل نشان داده شده است در صورتی‌که نیروی اعمالی افزایش یابد به نحوی که تنش فشاری $\sigma 2$ در جان از تنش بحرانی ورق فولادی بیشتر شود ورق کمانش نموده وصفحه جان چروکیده می‌شود طبیعتا ورق فولادی در جهت تنش فشاری، افزایش تنش را نمی‌تواند تحمل کند ولی در جهت دیگر یعنی $\sigma 1$، که ورق تحت اثر تنش‌های کششی قرار دارد،

www.SID.ir

Archive of SID

تنشهای مذکور می‌تواند با جاری شدن ورق فولادی افزایش یافته و در نتیجه پانل نیروهای قابل توجهی را تحمل نماید. پدیده مذکور، پدیده پس کمانشی در ورق فولادی نامیده می‌شود و این پدیده در تیر ورق‌ها مشهود است.



شکل ۲: نحوه شکل گیری میدان کشش قطری در جان (ورق فولادی)

دیوار برشی فولادی برای مقاومت در برابر بارهای جانبی دارای مزیت‌هایی است که در ادامه به آنها می‌پردازیم:

۱. سیستم در نظر گرفته شده دارای نرمی بالایی هست که توانایی بالایی برای اتلاف انرژی دارد که این امر باعث کارآمد شدن دیوارهای برشی فولادی در برابر بارهای جانبی و اقتصادی شدن طرح می‌شود.

۲. سیستم دیوارهای برشی فولادی نسبتا دارای سختی اولیه بالایی هستند پس در کاهش جابجایی نسبی طبقات (Drift) بسیار کار آمدند.

۳. مقایه دیوار برشی بتنی مسلح و دیوار برشی فلزی نشان می دهد که کاهش وزن ساختمان در اثر استفاده از دیوار برشی فولادی تاثیر بسزایی در برابر بارهای لرزه ای دارد.

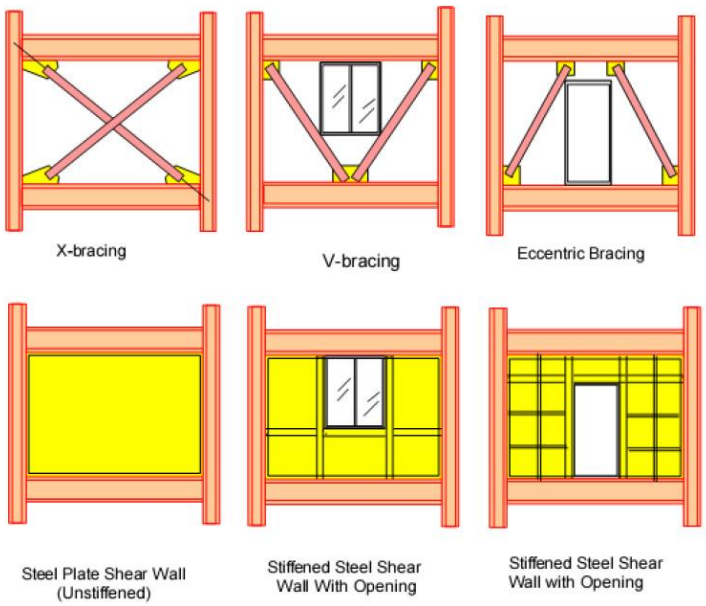
۴. با استفاده از دیوارهای برشی که در کارخانه جوش شده اند یا در محل پیچ و مهره می‌شوند می‌توان سرعت ساخت را افزایش و هزینه‌ها را کاهش داد و همچنین با استفاده از این سیستم بازدید فنی وکنترل کیفیت پای کار بسیار راحت تر و مطمئن ترخواهد بود.

۵. به علت ضخامت کم ورق دیوارهای برشی فلزی در مقایسه با دیوارهای برشی بتنی از نقطه نظر معماری جای کمتری را اشغال می کنند اگراز دیوار برشی بتنی مسلح استفاده شود دیوار طبقه پایین ضخیم ترمی شود و فضای بیشتری را اشغال می‌کند.

۶. سیستم ورق دیوارهای برشی فولادی که جوش در کارخانه هستند یا پیچ و مهره در محل هستند بسیار بهتر از سیستم‌های سنتی می‌باشد. در ضمن این سیستم ها برای مناطق سردسیر که ساخت ساختمانهای بتنی در دمای پایین ممکن است اقتصادی نباشد بسیار عملی‌تر و بهتر است [۱۰].

www.SID.ir

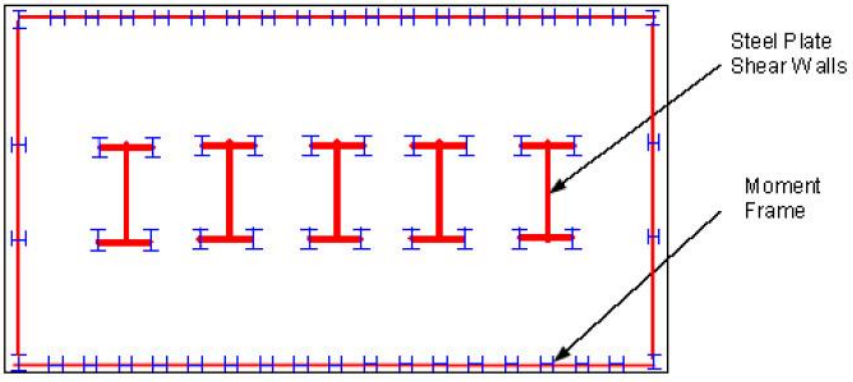
Archive of SID



شکل ۳: سه دهانه بادبندی شده (ردیف بالا) و دهانه‌های مشابه در ردیف پایین با دیوار برشی فولاد

۲-۳- تاریخچه استفاده از دیوارهای برشی فولادی

از سال ۱۹۷۰ میلادی دیوار برشی فلزی به عنوان اولین گزینه در میان سیستم‌های پایداری در برابر بارهای جانبی در چندین ساختمان مهم و مدرن استفاده شده است. در ابتدا و در طول دهه ۷۰ میلادی دیوارهای برشی فلزی در ژاپن در ساختمان‌های جدید و در آمریکا برای بهبود لرزه‌ای ساختمان‌های موجود استفاده شدند. در دهه ۷۰ و۸۰ میلادی در آمریکا و در کانادا دیواهای برشی بدون سخت کننده در برخی از ساختمان‌ها دیوارهای برشی فولادی پوشیده شده از یک لایه بتن مطابق آنچه که در دیوارهای برشی مرکب داریم استفاده می‌شدند. ساختمان ۲۰ طبقه اداری (Nippon) در توکیو ژاپن (۱۹۷۰) از سیستم باربر جانبی در جهت طولی ترکیبی از قاب خمشی و واحدهای دیوار برشی فولادی به شکل H و در جهت عرضی دیوارهای برشی فولادی بود که در شکل شماره (۴) نشان داده شده است.

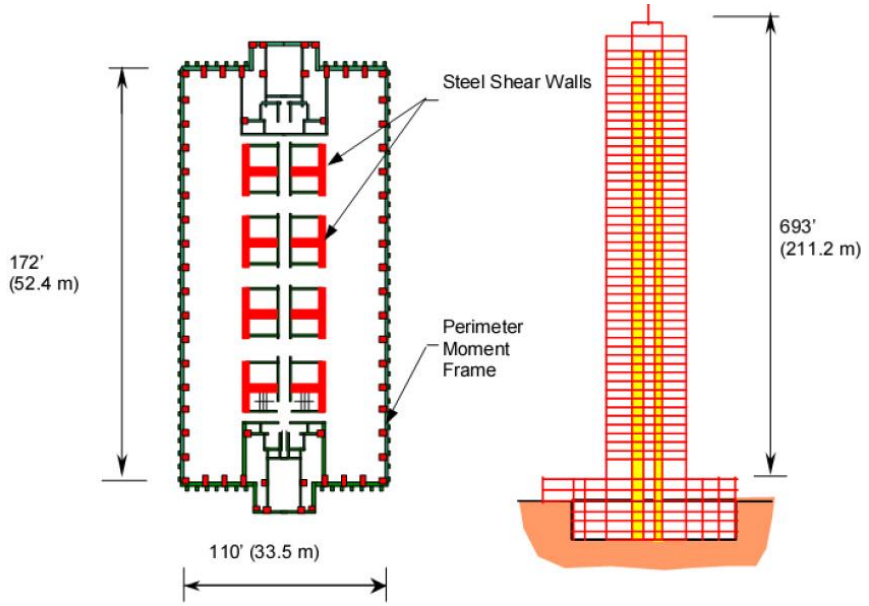


شکل ۴: پلانی از ساختمان فولادی Nippon

www.SID.ir

Archive of SID

ساختمان ۵۱ طبقه در توکیو - ژاپن (Shinjuku Nomura) نمونه دیگری است که این ساختمان در ابتدا بر اساس دیوارهای برشی بتنی طراحی شده بود اما سپس طرح این سازه به دیوارهای برشی فولادی تغییر یافت. این سازه مرکب از سیستم قاب خمشی و دیوارهای برشی فولادی (T) شکل سخت شده است. پانل دیوارها حدود ۱۰ فوت ارتفاع و ۵/۱۶ فوت طول داشتند ودردوجهت قائم وافق از سخت کننده استفاده شده بود. پانل‌ها به وسیله پیچ به مجموعه‌ای از Box محاطی و ستون‌های فولادی H شکل متصل هستند. شکل شماره (۵) برشی از پلان و طبقات را نمایش می‌دهد.

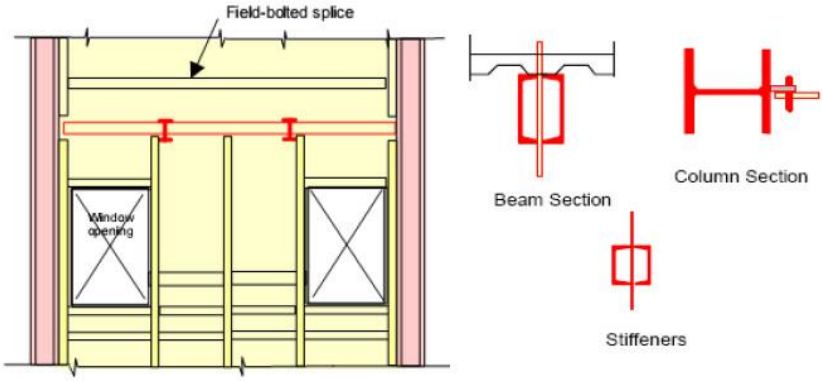


شکل ۵: پلان، مقطع عرضی و نمایی از ساختمان ۵۱ طبقه در توکیو

بیمارستان ۶ طبقه در لس آنجلس، کالیفرنیا - آمریکا نمونه‌ای دیگر از ساختمان مقاوم‌سازی شده در برابر زلزله است. لس آنجلس با خطر زلزله بالاست و این ساختمان مثالی خوب برای بکارگیری این سامانه در مکان با خطر زلزله بسیار بالا می‌باشد. در نوامبر سال ۱۹۷۰ این بیمارستان به بهره برداری رسید و پس از ۱۰ هفته در اثر زلزله این ساختمان تخریب شد. این سازه با بتن مسلح ساخته شده بود که در دو طبقه اول از قاب‌های خمشی و در چهار طبقه بالا ترکیب دیوار برشی بتنی و قاب‌های خمشی بود. در ساختمان جدید کل بار قائم توسط قاب فضائی فولادی تحمل می‌شد و به منظور مقاومت در برابر بار جانبی در دو طبقه اول توسط دیوار برشی بتنی و در ۴ طبقه فوقانی از دیوارهای برشی فولادی استفاده شده است. پانل‌های فولادی در این ساختمان ۲۵ فوت ارتفاع دارند و ضخامتشان ۸/۵ و ۴/۳ اینچ است. دیوارها دارای بازشو، پنجره و سخت کننده مطابق شکل شماره (۶) می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶: جزئیات دیوار برشی فولادی بکار رفته در ساختمان بیمارستان

پانل‌های فولادی به صفحات لچکی جوش شده و به ستونها پیچ شده‌اند. تیرها مانند سخت کننده‌ها متشکل از دو ناودانی جوش شده به شکل قوطی می‌باشند. همچنین این بیمارستان به شتاب سنج‌هایی مجهز شد. در ۱۷ ژانویه سال ۱۹۹۴ زلزله بزرگ و قوی Northbridge به وقوع پیوست که در این زلزله در جهت افقی شتاب ماکزیمم ۰,۹۱ و در جهت قائم، شتاب ماکزیمم ۰,۶ بود. در بام شتاب افقی ۲,۳ و در جهت قائم ۱,۷ بود. این نشان از یک زلزله قوی روی ساختمان دارد. به سازه این ساختمان صدمه‌ای وارد نشد و به اجزای غیر سازه‌ای صدمات کمی وارد شد. از نقطه نظر اقتصادی مصرف فولاد در هر متر مربع زیربنا اگر قاب خمشی استفاده شده بود ۱۹۱۵ N/m^2 ولی در سیستم دیوار برشی فولادی در هر متر مربع ۹۷۵,۵ N/m^2 استفاده شد و ۵۰٪ در مصرف فولاد صرفه جویی به‌عمل آمد.

بکارگیری دیوار برشی فولادی با نقطه تسلیم پایین در ژاپن دارای کاربردهای فراوانی است. در سال‌های اخیر بکارگیری صفحات فولادی با نقطه تسلیم پایین در ژاپن رونق یافته و به شکل موفقی به عنوان دیوار برشی فولادی مورد استفاده قرار گرفته است. این نوع فولاد دارای نقطه تسلیمی در حدود نصف نقطه تسلیم فولاد A-36 و دارای کرنش بیشینه‌ای حدود دو برابر فولاد A-36 می‌باشد که در نتیجه بسیار شکل پذیرتر بوده و می‌تواند به شکل بسیار موثرتری در استهلاک انرژی در سازه بکار رود. فولاد بکار رفته در این ساختمان دارای تنش نهایی کششی (ksi) ۴۳,۵-۲۹ و نقطه تسلیم (ksi) ۱۷-۱۱,۶ که درصد افزایش طول گسیختگی در حدود ۵۰٪ می باشد. دیوارها از پانل‌هایی به ضخامت ۱,۴ تا ۱ اینچ و ابعاد تقریبی (۱۴ فوت و ۹ اینچ) و (۹ فوت و۱۰ اینچ) تقویت شده با سخت کننده‌های افقی و قائم می‌باشند. اتصال دیوارهای برشی به ستونهای لبه‌ای به وسیله پیچ‌های اصطکاکی انجام شده است. دیوارها طوری طرح شده‌اند که تحت بار باد، الاستیک باقی مانده و تحت نیروی زلزله جاری شوند [۱۰].

نتیجه محاسبات و تحلیل طراحان نشان می‌دهد که در اثر بکارگیری فولاد با نقطه تسلیم پایین میزان تغییر مکان نسبی جانبی تا حدود ۳۰٪ کاهش می‌یابد. از مطالب عنوان شده در مرجع می‌توان استنباط نمود که علت انتخاب دیوارهای برشی فولادی با نقطه تسلیم پایین در مقایسه با سایر فولادها کاهش اثرات خمشی می‌باشد. همچنین این سامانه می‌تواند از انباشتگی بارهای قائم روی دیوارها جلوگیری کند درنتیجه این دیوارها تحت اثر برش واثرات خمشی نسبتا کمی واقع می‌شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

۴- طراحی دیوارهای برشی بتن آرمه در سازه‌های فولادی

در ادامه این بخش از مقاله دستورالعمل طراحی دیوارهای برشی بتن آرمه در سازه‌های فولادی و حداقل ضوابط مربوطه را مورد مطالعه و بررسی قرار می‌دهیم.

ضریب رفتار این سیستم سازه‌ای بر اساس آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) تعیین می‌گردد. مطابق این استاندارد، این سیستم می‌تواند یکی از انواع سیستم قاب ساختمانی ساده با دیوار برشی متوسط یا ویژه و یا سیستم دوگانه با قاب خمشی و دیوار برشی متوسط و یا ویژه انتخاب گردد. بدیهی است در صورت انتخاب سیستم دوگانه الزامات مربوطه بایستی مطابق ضوابط آیین‌نامه رعایت گردد. لازم به ذکر است استفاده از دیوار برشی معمولی مطابق آئین‌نامه بارگذاری آمریکا (ASCE 7-10) برای نواحی با خطر لرزه خیزی متوسط و بالاتر مجاز نمی‌باشد.

با توجه به عدم شناخت مناسب در مورد ترکیب سیستم‌های مختلف لرزه‌ای، در ساختمان‌های فولادی ترکیب دیوار برشی بتنی با سیستم‌های دیگر لرزه بر جانبی مانند مهاربندی در یک راستا مجاز نمی‌باشد. همچنین توصیه می‌شود سیستم لرزه بر مورد استفاده در هر دو راستا یکسان انتخاب شود. به عنوان توصیه کلی از قرار دادن دیوارهای برشی بتنی در محل‌هایی که دیوار در طول خود با دیافراگم سقف درگیر نمی‌باشد، نظیر کنار بازشوهای سقف (پله یا نورگیر)، اجتناب شود. همچنین حداقل از ۲ و ترجیحاً ۳ دیوار برشی با طول مناسب در هر راستا استفاده گردد. بدیهی است رعایت ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران در این خصوص الزامی است. همچنین توصیه می‌گردد از اجرای دیوارهای متقاطع L و U و T شکل به دلیل ابهام در قسمت نواحی مرزی و مدل‌سازی آن خودداری گردد.

۴-۱- اتصال ستون فولادی به دیوار برشی بتنی

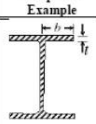
آئین‌نامه AISC 341-10 دو حالت برای دیوار برشی کامپوزیت با ستون فولادی تعریف نموده است. این دو حالت در کنار حالتی که ستون فولادی هیچ اتصالی به دیوار ندارد، در زیر شرح داده شده‌اند. در هر یک از این حالتها نحوه مدلسازی و طراحی متفاوت می‌باشد.

مطابق ضابطه H.5b آئین نامه AISC 341-10 ستون فولادی مورد استفاده در دیوار برشی ویژه بایستی فشرده لرزه‌ای برای اعضای با شکل پذیری بالا (Highly Ductile) باشد. با توجه به عدم تعریف دیوار برشی با شکل پذیری متوسط در این آئین‌نامه، این ضابطه برای حالتی که دیوار برشی بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران با شکل پذیری متوسط در نظر گرفته شود نیز بایستی اعمال گردد. محدودیتهای نسبت عرض به ضخامت مربوط به اجزای مقاطع فشرده لرزه‌ای با شکل پذیری بالا برای پروفیل H شکل، در جدول شماره (۱) آورده شده است.

جدول ۱: حداکثر نسبت‌های عرض به ضخامت ستون‌های مورد استفاده در دیوارهای برشی مرکب

www.SID.ir

Archive of SID

Section Type	Description of Element	Graphical Example	Given Case No.	Width-Thick-ness Ratio, (λ)	Limiting Width-Thickness Ratios for Compression Elements: Highly Ductile Members (λ_{hd})	Moderately Ductile Members (λ_{md})
Singly or Doubly Symmetric I Shapes	Flexural or uniform compression in flanges of rolled and welded I-Shaped sections		1	$b_f/2t_f$	$0.30\sqrt{E/F_y}$	$0.38\sqrt{E/F_y}$
	Flexural compression in webs of diagonal braces		5	h/t_w	$1.49\sqrt{E/F_y}$	$1.49\sqrt{E/F_y}$
	Webs in flexural compression or combined flexural and axial compression		6	h/t_w	If $C_a \le 0.125$: $2.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}(1-0.93C_a)$; If $C_a > 0.125$: $0.77\sqrt{\frac{E}{F_y}}(2.93-C_a) \ge 1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	If $C_a \le 0.125$: $3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}(1-2.75C_a)$; If $C_a > 0.125$: $1.12\sqrt{\frac{E}{F_y}}(2.33-C_a) \ge 1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$C_a = \begin{cases} P_a/(\phi_c P_y) & \text{for LRFD} \\ \Omega_c P_a/P_y & \text{for ASD} \end{cases}$$

(AISC SEISMIC Table D1.1 Note [d])

با توجه به عدم امکان نفوذ مناسب بتن در داخل ستون‌های جعبه‌ای شکل (مقطع Box) یا ستون‌های مرکب ساخته شده از ترکیب چند پروفیل و ورق تقویتی، ستون مدفون در دیوار برشی، بایستی از انواع پروفیلهای بال پهن H شکل نورد شده (نظیر IPB) و یا ساخته شده از ورق انتخاب شود. در صورت ساخت ستون از ورق، با توجه به الزام فشردگی مقطع مذکور در بند قبل، اتصال بالها و جان مقطع بایستی توسط جوش سراسری صورت گیرد. در صورت عدم وجود لنگر خمشی و نیروی برشی در ستون، جوش مورد نظر را می توان با بعد حداقل در نظر گرفت. هرچند در محل اتصال ستون به کف ستون و همچنین در محل اتصال تیر به ستون، به علت ایجاد یکپارچگی مقطع و همچنین کاهش تمرکز تنش، از جوش نفوذی استفاده شود. بجای این جوش می توان از جوش گوشه با بعدی به اندازه ۷۰٪ ضخامت ورق جان پروفیل، برای انتقال تمام ظرفیت برشی جان استفاده نمود.

۲-۴- برشگیرها

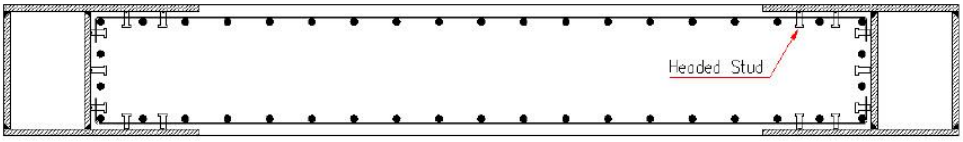
با توجه به عدم وجود ضوابط مناسب در آئین نامه‌های طراحی آمریکا برای محاسبه برشگیرهای از نوع ناودانی، نبشی و دیگر برشگیرهای متداول در ایران و همچنین امکان عدم نفوذ بتن در بخش زیرین این نوع برشگیرها، تنها استفاده از برشگیر نوع گلمیخ برای ستون مجاز می‌باشد. مقاومت برشی گلمیخ می‌تواند مطابق مفاد مبحث دهم مقررات ملی ایران و یا بر اساس ضابطه بند I8.3a آئین‌نامه AISC 360-10 محاسبه شود. برشگیرهای مورد استفاده بایستی حداکثر در فاصله ۲,۵ برابر بعد حداقل پروفیل فولادی و ۴۰ سانتیمتر از هم قرار داشته باشند. در حالتی که از ستون فولادی بصورت مدفون در دیوار برشی استفاده می‌شود، برشگیرهای اطراف ستون بایستی حداقل در دو وجه آن و به صورت متقارن تعبیه شوند. برشگیرها می توانند در صورت وجود فضای کافی، بر روی قسمت خارجی بال ستون فولادی و در غیر این صورت، در دو سمت جان و یا بر روی وجه داخلی بال ستون نصب گردند. اگر تنها از یک برشگیر بر روی وجه داخلی هر بال ستون استفاده شود، این برشگیرها بایستی در طرفین جان (بصورت چپ و راست) قرار گیرند.

برای محاسبه مقار برش در محل اتصال دیوار و ستون، ابتدا بایستی بر اساس زلزله تشدید یافته، مقدار نیروی برشی افقی دیوار مورد نظر را به دست آورده و سپس با استفاده از رابطه q=VQ/I مقدار جریان برش (مقدار نیروی برشی قائم به ازای واحد ارتفاع دیوار) را محاسبه نمود. توصیه می‌شود برشگیرها حداقل ظرفیتی به اندازه مجموع عکس العمل تیرهای متصل به

www.SID.ir

Archive of SID

آن ستون در تراز طبقه را داشته باشند (AISC Design Guide 6). در مواردی که تعداد زیادی برشگیر مورد نیاز بوده، لیکن فضای کافی برای تعبیه آنها وجود نداشته باشد (عمدتاً در حالت ستون فولادی نیمه مدفون این حالت ممکن است پیش آید)، همچنین مقطع ستون فولادی به شکل Box باشد، دیتایل شکل شماره (۷) برای ایجاد فضای مناسب جهت اجرای گلمیخ‌ها و همچنین جهت افزایش ظرفیت کششی و فشاری ستون، پیشنهاد می‌شود. مضاف بر اینکه این دیتایل محصوریت مناسبی برای بتن دیوار در ناحیه پرفشار نزدیک به المان مرزی ایجاد می‌نماید.



شکل ۷: دیتایل مربوط برای افزایش تعداد گلمیخ‌های ستون فولادی

۵- نتیجه‌گیری

با نیروهای جانبی مؤثر بر یک سازه (در اثر باد یا زلزله) به روش‌های مختلفی مقابله می‌شود که اثر زلزله بر ساختمان‌ها از سایر اثرات وارد بر آنها کاملا متفاوت است. ویژگی اثر زلزله در این است که نیروهای ناشی از آن به مراتب شدیدتر و پیچیده‌تر از سایر نیروهای مؤثر می‌باشند. عناصر مقاوم در مقابل نیروهای فوق شامل قاب خمشی، دیوار برشی و یا ترکیبی از آن دو می باشند. استفاده از قاب خمشی به عنوان عنصر مقاوم در مقابل نیروهای جانبی به‌خصوص اگر نیروهای جانبی در اثر زلزله باشند احتیاج به جزئیات خاصی دارد که شکل پذیری کافی قاب را تأمین نماید. این جزئیات از لحاظ اجرایی غالبا دست و پاگیر بوده و در صورتی می‌توان از اجرای دقیق آنها مطمئن شد که کیفیت اجرا و نظارت در کارگاه خیلی بالا باشد از لحاظ برتری می‌توان گفت که دیوار برشی اقتصادی تر از قاب می باشد و تغییر مکانها را کنترل می‌کند در حالی‌که برای سازه‌های بلند قاب به تنهایی نمی تواند در این زمینه جوابگو باشد.

چنان‌چه دیوارهای برشی دارای بازشو به نحوی طراحی شوند که تیرهای کوپل قبل از دیوارها جاری شوند، این تیرها نه تنها نقطه ضعف دیوارها نیستند، بلکه در مقابل بارهای جانبی بزرگ به منزله فیوز عمل می‌کنند و قبل از آنکه دیوار که وظیفه انتقال بار جانبی و قائم را دارد صدمه قابل توجهی ببیند می‌شکنند، که این موضوع موجب استهلاک انرژی زیاد و شکل‌پذیری بالاتر در حرکات رفت و برگشتی در برابر زلزله می‌شود که ویژگی بسیار مطلوبی در رفتار سازه است.

بنابراین با اینکه سازه‌های دیوار برشی در ۳۰ سال اخیر، از فولاد کمتر از مقدار توصیه شده توسط آئین‌نامه‌های فعلی آمریکا برخوردار بوده‌اند اما با این وجود در برابر زلزله‌های این سه دهه به‌خوبی مقاومت کرده‌اند. بررسی‌های انجام شده از سال ۱۹۶۳ به بعد روی عملکرد این سازه‌ها، هنگام وقوع زلزله، نشان داده‌اند که با وجود مشاهده ترک‌های مختلف، حتی یک مورد ویرانی یا تلفات جانی در سازه‌های با دیوار برشی گزارش نشده است. اغلب خسارات ساختمان‌های با سیستم قاب، در اثرپیچش طبقات (در نتیجه گسیختگی برشی ستون‌ها) بوده است. البته این دلیل بر عدم مقاومت سازه‌های قابی طرح شده به روش‌های جدید، در برابر زلزله نمی‌باشد بلکه هدف نمایش قابلیت بالای دیوارهای برشی حتی در صورت آرماتورگذاری با شیوه‌های قدیمی و غیر علمی است. با مشاهده ویرانی ساختمان‌ها تحت زلزله‌های اخیر (۱۹۷۲ نیکاراگوئه و ۱۹۸۵ مکزیک و ۱۹۸۸ ارمنستان)، تأکید بر استفاده از دیوارهای برشی (مخصوصاً در ساختمان‌های مسکونی) امری معقول به‌نظر می‌رسد و نشان

www.SID.ir

Archive of SID

می‌دهد که ساخت سازه‌های بدون دیوار برشی در مناطق با زلزله‌خیزی شدید یک نوع ریسک محسوب شده که با توجه به عواقب ناگوار آن قابل توصیه نمی‌باشد.

مراجع

[۱] خیرالدین، ع، خیرالدین، ا. رسم دیاگرام تداخلی بار ممان خمشی دیوار برشی بتن آرمه با فولاد گذاری یکنواخت، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ۱۳۹۳.

[۲] کفاش بازاری، م ر، کرم الدین، ع. طراحی لرزه‌ای و آنالیز سیستم دیوارهای برشی فولادی کوپل، چهارمین کنفرانس ملی سازه و فولاد، ۱۳۹۳.

[۳] باقری، م. تحلیل غیرخطی دیوار برشی فولادی و کاربرد آن در ساختمان‌های فولادی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، ۱۳۸۳.

[۴] درویش، آ، محمدی، م. ر. مقایسه رفتار دیوار برشی فولادی با فولاد نرمه و مقاومت پایین LYP با و بدون بازشو تقویت شده بوسیله الیاف پلیمری کربن، کنفرانس ملی معماری و منظر شهری پایدار، موسسه بین‌المللی مطالعات معماری و شهرسازی مهراز شهر، ۱۳۹۳.

[۵] ناصرنیا، س. بررسی آزمایشگاهی اثرات بازشو بر روی دیوارهای برشی فولادی وسط دهانه با مهاربند جانبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ۱۳۹۲.

[۶] صبوری، س. سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی: مقدمه‌ای بر دیوارهای برشی فولادی، تهران: انتشارت انگیزه، ۱۳۸۳.

[۷] Roberts, T. Sabouri-Ghomi S. Hysteretic Characteristics of Unstiffened Plate Shear Panels, Thin Walled Structures, 12, 145–162, 1991.

[۸] Sabouri-Ghomi, S. Gholhaki, M. Ductility of Thin Steel Plate Shear Walls, Asian Journal of Civil Engineering (BHRC), 9(2), 153–166, 2008.

[۹] Astaneh-Asl, A. (2000). Steel plate shear walls, U. S.-Japan Workshop onSeismic Fracture Issues in Steel Structure, San Francisco.

[۱۰] Vian, D. Bruneau, M. Testing of Special LYS Steel Plate Shear Walls, Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, British Columbia, Canada, Paper No. 978, August 1-۶, ۲۰۰۴.

www.SID.ir